

Diplomarbeit

Planung und Bemessung von Niederschlagswasser- Versickerungsanlagen
--

Vorgelegt am:	09.09.2011
von:	Tristan Schumann Cainsdorfer Straße 13 08112 Wilkau-Haßlau
Studiengang:	Bauingenieurwesen
Studienrichtung:	Straßen-, Ingenieur-, und Tiefbau
Seminargruppe:	BI 2008 / 2
Matrikelnummer:	4080394
Praxispartner:	C.T.G. Chemnitzer Tiefbau GmbH & Co.KG Jagdschänkenstraße 17 09117 Chemnitz
Gutachter:	Herr Dipl.-Ing. Rainer Schumann Herr Dr.-Ing. Peter Rott (BA Glauchau)

Freigabeerklärung

Hiermit erklären wir uns einverstanden/~~nicht einverstanden~~*), dass die ~~Bachelor-~~
~~Thesis~~ / Diplomarbeit *) ~~der~~/des Studenten/in

Name, Vorname: ...**Schumann, Tristan**.... SG :**BI 08/2**.....

zur öffentlichen Einsichtnahme durch den Dokumentenserver der Bibliothek der
Staatlichen Studienakademie Glauchau bereitgestellt wird.

Thema der Arbeit:

Planung und Bemessung von Niederschlagswasser-Versickerungsanlagen

Wilkau-Haßlau, 09.09.2011

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift Student/in

.....

Stempel, Unterschrift Bildungsstätte

*) Nichtzutreffendes bitte streichen

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Formelverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1. Einleitung	1
2. Gesetzesgrundlagen und Regelwerke	2
2.1. Europäisches Recht.....	2
2.2. Bundesrecht.....	2
2.2.1. Wasserhaushaltsgesetz des Bundes (WHG).....	2
2.2.2. Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG)	3
2.3. Länderspezifische und Kommunale Gesetzgebung.....	3
2.4. Technische Regelwerke.....	5
3. Anlagen der Versickerung.....	6
3.1. Allgemein	6
3.2. Flächenversickerung	7
3.3. Muldenversickerung.....	9
3.4. Mulden-Rigolen-Versickerung.....	11
3.4.1. Allgemein	11
3.4.2. Mulden-Rigolen-System.....	14
3.4.3. Ausführungsbeispiele Mulden-Rigolen-Versickerung.....	14
3.5. Rigolen- und Rohr-Rigolen-Versickerung	16
3.5.1. Allgemein	16
3.5.2. Ausführungsbeispiele Rohr-Rigolen-Versickerung.....	17
3.6. Beckenversickerung.....	18
3.7. Schachtversickerung.....	21
4. Physikalische Grundlagen des Bodens.....	23
4.1. Das Dreistoffsystem.....	23
4.2. Wasserdurchlässigkeit von Böden	24
4.3. Filtergeschwindigkeit und Sickerwassermenge	27
4.4. Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (<i>k_f</i> -Wert).....	28
5. Schadstoffbelastungen und Schadstoffbehandlung	29
5.1. Schadstoffe im Regenabfluss	29
5.1.1. Allgemein	29
5.1.2. Grenzwerte von Schadstoffen in Sicker- und Grundwasser.....	31
5.1.3. Bewertung von Regenwasserabflüssen nach DWA-A 138	32

5.1.4.	Bewertung von Regenwasserabflüssen nach DWA-M 153.....	33
5.2.	Schadstoffe im Boden.....	36
5.2.1.	Allgemein	36
5.2.2.	Grenzwerte von Schadstoffbelastungen in Böden	36
5.3.	Schadstoffabbau im Boden	40
5.4.	Anlagen zum Schadstoffabbau	42
5.4.1.	Notwendigkeit und allgemeine Hinweise.....	42
5.4.2.	Belebte Bodenzone: Bodenpassagen und Gründach	43
5.4.3.	Biologische Vorbehandlung von Regenwasserabflüssen	46
5.4.3.1.	Absetzteiche und Absetzbecken	46
5.4.4.	Physikalische Vorbehandlung von Regenwasserabflüssen	47
5.4.4.1.	Allgemein	47
5.4.4.2.	Absetzschächte.....	48
5.4.4.3.	Regenklärbecken	52
5.4.4.4.	Geotextiler Filtersack für Versickerungsschächte	53
5.4.4.5.	Leichtstoffabscheider	54
5.5.	Besonderheiten bei Schutzgebieten	56
6.	Flächen- und Volumenbedarf.....	58
6.1.	Grundlagen der hydraulischen Bemessung	58
6.1.1.	Ziel der Bemessung	58
6.1.2.	Verfahren zur Bestimmung des Bemessungsregens	58
6.1.3.	Ermittlung der Regenspende und Regendauer.....	59
6.1.4.	Ermittlung der Regenhäufigkeit.....	60
6.1.5.	Abflussermittlung	60
6.1.6.	Wasserdurchlässigkeit und Versickerungsrate	61
6.1.7.	Hydraulisches Gefälle	62
6.1.8.	Einstauzeiten	63
7.	Geotechnische Risiken	64
7.1.	Wasser im Baugrund	64
7.2.	Einfluss durch Sickerwasser	65
7.3.	Einfluss durch Grundwasser	67
8.	Topografische Einflüsse.....	68
8.1.	Allgemein	68
9.	Landschaftsplanerische Gestaltung	69
9.1.	Anpassung und Nutzung.....	69
10.	Kosten.....	70
10.1.	Allgemein	70
11.	Auswahlmatrix.....	71
12.	Praxisbeispiel Steinbruch Bernbruch	72

12.1.	Ausgangssituation.....	72
12.2.	Baubeschreibung	73
12.3.	Planungsziel.....	74
12.4.	Gesetzesgrundlagen und Regelwerke	75
12.5.	Beschreibung Versickerungsanlage Steinbruch Bernbruch	77
12.6.	Geotechnische Risiken	79
12.7.	Schadstoffbelastungen	80
12.7.1.	Regenwasserabfluss.....	80
12.7.2.	Boden	81
12.8.	Topografische Einflüsse.....	81
12.9.	Landschaftsplanerische Gestaltung	82
12.10.	Bemessung am Beispiel Steinbruch Bernbruch	82
12.10.1.	Grundlagen und Ergebnisse.....	82
12.10.2.	Mehrbelastung durch Längsneigung	83
12.10.3.	Bemessung einer Alternativlösung	87
12.11.	Kosten.....	88
13.	Schlussfolgerung	90
Literaturverzeichnis.....		91

Abbildungsverzeichnis

Bild 1	Einsatzmöglichkeiten von Versickerungsanlagen.....	7
Bild 2	Versickerungsmulde	10
Bild 3	Regelform des Straßengrabens.....	10
Bild 4	Regelform einer Rasenmulde	10
Bild 5	Längsschnitt einer Mulden-Rigolen-Versickerungsanlage.....	13
Bild 6	Mulden-Rigolen-Versickerung zur Parkplatzentwässerung.....	14
Bild 7	Mulden-Rigolen-Versickerung mit Muldenüberlauf, Rigole als Sickerrohrleitung	14
Bild 8	Mulden-Rigolen-Versickerung, Rigole als Tunnelsystem aus Polyethylen	15
Bild 9	Mulden-Rigolen-System, Rigole als mehrsträngige Sickerrohrleitung mit Verbindungsrohr und Kontrollschächte am Ende der Anlage.....	15
Bild 10	Mulden-Rigolen-Versickerung (Draufsicht), Rigole als Blockelement aus Kunststoff mit gedrosselter Ableitung.....	15
Bild 11	Rohr-Rigolen-Versickerung (Draufsicht), Rigole aus 3-strängigen Sickerrohrleitungen.....	17
Bild 12	Rohr-Rigolen-Versickerung, Rigole als Tunnelsystem aus Polyethylen.	17
Bild 13	Rohr-Rigolen-Versickerung, Rigole als Blockelement aus Kunststoff....	18
Bild 14	Blockelement mit Inspektionskanal	18
Bild 15	Kamerainspektion in einem Blockelement.....	18
Bild 16	Versickerungsbecken mit vorgeschaltetem Absetzbecken.....	20
Bild 17	Versickerungsbecken mit integriertem Absetzbecken.....	20
Bild 18	Versickerungsschacht Typ A.....	22
Bild 19	Versickerungsschacht Typ B	22
Bild 20	Schematische Darstellung des Dreiphasen-Systems Boden – Wasser – Luft.....	24
Bild 21	Ausführungsbeispiel Absetzbecken mit Tondichtung und Ölsperre.....	47
Bild 22	Ausführungsbeispiel Absetzbecken mit Tondichtung.....	47
Bild 23	Prinzip des Absetzschachts.....	49
Bild 24	Beispiel Absetzschacht als Straßeneinlauf	49
Bild 25	Sedimentationsanlage mit nachgeschalteter Versickerungsrigole und Strömungstrenner	50
Bild 26	Prinzipdarstellung Strömungstrenner bei Normal- und Starkregen.....	51
Bild 27	Beispiel System aus Absetzschächten und Sedimentationsstrecke.....	52
Bild 28	Prinzip des Regenklärbeckens	53

Bild 29	Ausführungsbeispiel Geotextiler Filtersack	54
Bild 30	Prinzip des Leichtstoffabscheiders	56
Bild 31	Beispiel Bestimmung Regendauer und erforderliche Rigolenlänge.....	59
Bild 32	Bankettausbildung bei frostunempfindlichem Untergrund.....	66
Bild 33	Beispiel Landschaftsgestaltung Mulden-Rigolen-Versickerung.....	69
Bild 34	Versickerungsmulde an Böschung	78
Bild 35	Natürlicher Versickerungsteich	78
Bild 36	Blick auf Fläche für geplantes Gleis A3 von Station 0+000,000 m in Stationierungsrichtung	78
Bild 37	Prinzipskizze (Draufsicht) zur Ermittlung der Mehrbelastung Versickerungsanlage am Tiefpunkt	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Einteilung der Porengrößenbereiche und der Wasserleitfähigkeit.....	25
Tabelle 2	Durchlässigkeitsbeiwerte von wassergesättigten Böden.....	26
Tabelle 3	Korrekturfaktoren zur Festlegung des Bemessungs-kf-Wertes.....	28
Tabelle 4	Mittlere frachtgewogene Konzentrationen im Straßenabfluss verschiedener Messprogramme.....	30
Tabelle 5	Vorsorgewerte für Metalle – max. zulässige Belastung.....	38
Tabelle 6	Vorsorgewerte für organische Stoffe	39
Tabelle 7	Zulässige zusätzliche jährliche Frachten an Schadstoffen	39
Tabelle 8	Bewertung der stofflichen Belastung anhand der hydraulischen Belastung	45

Formelverzeichnis

Formel 1	Bestimmung Durchlässigkeitsbeiwert	24
Formel 2	Bestimmung Durchlässigkeitsbeiwert in ungesättigter Bodenzone...	26
Formel 3	Bestimmung Filtergeschwindigkeit für gesättigte und ungesättigte Bodenzone.	27
Formel 4	Bestimmung Sickerwassermenge/Versickerungsrate.....	27
Formel 5	Bestimmung Emissionswert	34
Formel 6	Bestimmung Abflussbelastung.....	34
Formel 7	Bestimmung maximal zulässiger Durchgangswert	35
Formel 8	Verhältnis Abfluss zu Versickerungsrate und Speichervermögen...	58
Formel 9	Bestimmung Abfluss eines Gebietes	60
Formel 10	Bestimmung mittlerer Abflussbeiwert	61
Formel 11	Beispiel Zuschlagsfaktor f_z in Bestimmungsgleichung für Rigolenlänge	62
Formel 12	Bestimmung Versickerungsrate	62
Formel 13	Bestimmung Entleerungszeit oberirdischer Versickerungsanlagen..	63
Formel 14	Anteiliger Zufluss in Querrichtung	84
Formel 15	Anteiliger Zufluss in Längsrichtung	84

Abkürzungsverzeichnis

ATV	Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen
ATV	Abwassertechnische Vereinigung
Au	undurchlässige Fläche
As	versickerungswirksame Fläche
BBodschG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodschV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
DWD	Deutscher Wetterdienst
EG	Europäische Gemeinschaft
ErlFreih VO	Verordnung über die Erlaubnisfreiheit von bestimmten Benutzungen des Grundwassers
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
PAK	Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe
RAS-Ew	Richtlinie für die Anlage von Straßen – Straßenentwässerung
RiStWag	Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten
RIL	Richtlinien der Deutschen Bahn AG
RStO	Richtlinien zur Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
SächsBO	Sächsische Bauordnung
SächWG	Sächsisches Wassergesetz
StB	Straßenbau
TL	Technische Lieferbedingungen
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TP	Technische Prüfbedingungen
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VO	Verordnung
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft
ZTV	Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinie

1. Einleitung

Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Form von Versickerungsanlagen ist eine bedeutsame Alternative zur Entwässerung über die öffentliche Kanalisation.

Hierbei stehen Ziele wie Grundwasserneubildung, Erhaltung der Trinkwasserqualität, Entlastung der Kanalnetze, Hochwasserdämpfung und Klimaverbesserung im Vordergrund.

Die Auswahl an Versickerungsanlagen ist groß. Hydraulischen Kapazitäten sowie Reinigungsleistungen sind sehr unterschiedlich.

Deshalb kommt es bei der Auswahl auf eine sorgfältige Abwägung von verschiedenen Entscheidungskriterien an. Zu beachten sind dabei zunächst die gesetzlichen Voraussetzungen, die Baugrundvoraussetzungen, geotechnische Risiken, Grundwasserverhältnisse, Schutzgebiete, Schadstoffe im Regenwasserabfluss und Boden, Flächenbedarf, geplante Flächennutzung sowie Topografie.

In dieser Diplomarbeit werden diese Entscheidungskriterien erläutert und die Handhabung an einem Praxisbeispiel aufgezeigt.

Am Ende der Ausarbeitung soll ein Überblick über Versickerungsanlagen mit den dazugehörigen Einflussfaktoren in Form einer Auswahlmatrix entstehen.

2. Gesetzesgrundlagen und Regelwerke

In der Bundesrepublik Deutschland werden die wesentlichen rechtlichen Regelungen hauptsächlich durch Landesgesetze und kommunale Ortssatzungen festgesetzt, die sich auf das deutsche Bundesrecht stützen. Das Bundesrecht wiederum baut auf dem Recht der Europäischen Union auf.

2.1. Europäisches Recht

Die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft (WRRL, EG-Richtlinie 2000/60/EG) verkörpert seit dem 23.10.2000 als wichtigste Quelle einen Ordnungsrahmen für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Gewässerpolitik zum Schutz der Binnenoberflächengewässer, der Übergangsgewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers.

Insgesamt werden 7 ältere EG-Richtlinien, die auf einen sektoralen, nutzungsspezifischen Gewässerschutz abzielen, nach Übergangsfristen (7 bzw. 13 Jahre) aufgehoben.

Ein wesentliches Hauptziel der WRRL ist „der Schutz und die Verbesserung des Zustandes aquatischer Ökosysteme und des Grundwassers einschließlich von Landökosystemen, die direkt vom Wasser abhängen“.¹

Insbesondere beim Grundwasser gelten als Zielstellung ein guter quantitativer und chemischer Zustand sowie die Verhinderung bzw. Begrenzung von Schadstoffeinträgen.

2.2. Bundesrecht

2.2.1. Wasserhaushaltsgesetz des Bundes (WHG)

Hier wurde durch umfangreiche Änderungen die WRRL in nationales Recht umgesetzt und im § 55 der Grundsatz der langsamen und dezentralen Wasserbewirtschaftung auf den Grundstücken verankert:

¹ online: BMU, Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie und ihre Umsetzung in Deutschland

„§ 55 Grundsätze der Abwasserbeseitigung

(2) Niederschlagswasser soll 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.“²

Jedoch gilt für jede Person, die Maßnahmen mit Einwirkungen auf ein Gewässer veranlasst, eine Sorgfaltspflicht. Dabei soll

- eine nachteilige Veränderung der Gewässereigenschaften vermieden,
- eine mit Rücksicht auf den Wasserhaushalt gebotene sparsame Verwendung des Wassers sichergestellt,
- die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts erhalten und
- eine Vergrößerung und Beschleunigung des Wasserabflusses vermieden werden.³

2.2.2. Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodschG)

Als Schutz für das Umweltmedium Boden gilt seit dem 01.03.1999 bundesweit das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodschG). Zur Umsetzung des Gesetzes wurde die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodschV) erlassen. Ziel dieses Gesetzes ist es, schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, den Boden und Grundwasserverunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen natürliche Funktionen des Bodens zu treffen. Auf die Anforderungen der BBodschV wird im **Abschnitt 6.2.1** eingegangen.

2.3. Länderspezifische und Kommunale Gesetzgebung

Das WHG verlagert die Regelung von nachfolgenden Detailfragen, deren Notwendigkeit aus den umfangreichen Vorgaben der WRRL resultiert, weitestgehend auf die Länder- und Kommunenebene.

a.)

Zum Beispiel unterliegt nach § 18 a Abs. 2 WHG die Abwasserbeseitigungspflicht den zuständigen Körperschaften des öffentlichen Rechts, also i. d. R. den Gemeinden. Unter dem Begriff Abwasser fallen sowohl das Schmutzwasser aus häuslichen oder gewerblichen Abflüssen als auch das Niederschlagswasser, was von

² § 55 WHG, 2010

³ vgl. § 5, Abs. 1 WHG 2010

bebauten oder befestigten Flächen abfließt. Grundsätzlich besteht deshalb seitens des Grundstückseigentümers eine Überlassungspflicht für das Niederschlagswasser in die Kanalisation (Anschluss- und Benutzungszwang). Durch die jeweilige Landesgesetzgebung (Gemeindeordnungen der Länder) können die Gemeinden von der Pflicht zur Niederschlagswasserbeseitigung befreit werden. Jedoch wird den Gemeinden trotzdem ein Ermessensspielraum eingeräumt, wonach sie durch Satzungen oder Einzelfallentscheidungen einen Anschluss- und Benutzungszwang für den Grundstückseigentümer festlegen können. Dieser Spielraum bezieht sich meist auf den Vorbehalt der Allgemeinwohlverträglichkeit oder die Wahrung sonstiger öffentlicher Belange. Wenn die Gemeinde keine ortsnahe Versickerung vorsieht, ist ein Antrag auf Befreiung vom Anschluss- und Benutzungszwang erforderlich.

b.)

Gemäß § 33 Abs. 2 Nr. 3 WHG können die Länder ihre zuständigen Ministerien (oberste Wasserbehörden) ermächtigen, die Einleitung von Niederschlagswasser in das Grundwasser zum Zweck seiner schadlosen Versickerung durch Rechtsverordnungen erlaubnisfrei stellen bzw. auch die Voraussetzungen dafür festlegen. In Sachsen ist dies zum Beispiel durch die „VO über die Erlaubnisfreiheit von bestimmten Benutzungen des Grundwassers – ErlFreih VO 2001“ erfolgt. Diese Verordnungen enthalten u. a. Anforderungen an die schadlose Beschaffenheit der Regenwasserabflüsse, an die zu entwässernden Flächen und an die Art und Weise der Versickerung. In einigen Bundesländern werden die erlaubnisfreien Flächen begrenzt.

c.)

Eine Beteiligung von Wasserbehörden, unabhängig von der Erlaubnisfreiheit, wird in einigen Ländergesetzen gefordert. Dabei spielt die Größe der zu entwässernden Fläche oftmals keine Rolle.

d.)

Sehr unterschiedlich wird bei den Bundesländern auch die Genehmigungspflicht für Abwasseranlagen auf der Ebene des Wasserrechts geregelt. Während es zum Beispiel in Sachsen für dezentrale Regenwasserbewirtschaftung keiner Genehmigung bedarf (§ 67 Abs. 2 Nr. 5a SächWG), hängt die Genehmigungspflicht in anderen Ländern von der Größe der befestigten Fläche ab bzw. sind Abwasseranlagen immer genehmigungspflichtig.

e.)

Auf Ebene des Bauordnungsrechts (Landesbauordnungen wie z. B. SächsBO) gelten Anlagen der Versickerung in Form von Leitungen, Rigolen und Sickerschächten sowie Mulden (Abgrabung) als bauliche Anlagen. Sie sind somit grundsätzlich genehmigungspflichtig, wobei es in allen Ländern Bagatellgrenzen für Aufgrabungen und Aufschüttungen gibt, die sich meist auf die Tiefe oder Fläche beziehen. Auch für die anderen Versickerungsanlagen existieren in einigen Landesbauordnungen Ausnahmeregelungen. Im Zweifel sollte immer die zuständige Baubehörde herangezogen werden, um Planungssicherheit zu erlangen.

§ 2 Abs. 1 SächsBO:⁴

„Bauliche Anlagen sind mit dem Erdboden verbundene, aus Bauprodukten hergestellte Anlagen. Eine Verbindung mit dem Boden besteht auch dann, wenn die Anlage durch eigene Schwere auf dem Boden ruht oder auf ortsfesten Bahnen begrenzt beweglich ist oder wenn die Anlage nach ihrem Verwendungszweck dazu bestimmt ist, überwiegend ortsfest benutzt zu werden.“

Es ist darauf zu achten, dass die Regelungen von Bundesland zu Bundesland bzw. auch von Gemeinde zu Gemeinde sehr unterschiedlich sein können. Eine sorgfältige Analyse der zutreffenden Vorschriften ist im Vorfeld einer Planung unabdingbar.

2.4. Technische Regelwerke

Für die Bemessung von Versickerungsanlagen gilt das Arbeitsblatt DWA-A 138 (Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser) der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Es trifft zusätzlich Aussagen zur Bewertung von Niederschlagsabflüssen, zu Planungsgrundsätzen und zu den baulichen Anlagen.

Ergänzend kommt für den Straßenbau die FGSV - Richtlinie für die Anlage von Straßen – Teil: Straßenentwässerung (RAS-Ew) zur Anwendung, welche Planungsgrundsätze und Regelungen für die Versickerung bei der Straßenentwässerung konkretisiert.

Weitere technische Vorschriften und Hinweise, wie zum Beispiel zur Wahl von Regenwasserbehandlungsanlagen oder Bemessung von Regenrückhalteräumen werden im **Anlage 4** aufgelistet.

⁴ § 2 Abs. 1 Sächsische Bauordnung 2009

3. Anlagen der Versickerung

3.1. Allgemein

Versickerungsmaßnahmen sind ein Teil der Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Diese umfasst die Entwässerungselemente Versickerung, Speicherung und Ableitung. Auch Lösungen mit Teilversickerung und begrenzter Weiterleitung sind dafür geeignet. Anlagen zur Versickerung von Niederschlagsabflüssen lassen sich nach folgenden Kriterien unterscheiden⁵:

- **Dezentrale Versickerungsanlage**

Anlage zur Versickerung der auf einem Grundstück anfallenden Niederschlagsabflüsse.

- **Zentrale Versickerungsanlage**

Anlage zur Versickerung der auf mehreren Grundstücken anfallenden Niederschlagsabflüsse.

- **Speicherfähigkeit**

Sie bezieht sich auf die anlagenspezifische Fähigkeit, Niederschlagsabflüsse bis zur allmählichen Versickerung zwischen zu speichern. Bei einer Flächenversickerung entfällt die Speicherfähigkeit.

- **Flächenbedarf**

Zur Versickerung durch den bewachsenen Boden wie Flächen- oder Muldenversickerung ist der Flächenbedarf naturgemäß höher als bei „unterirdischen“ Anlagen, wie der Schacht- oder Rigolenversickerung. Erstere sind jedoch aus der Sicht des Grundwasserschutzes immer zu bevorzugen.

- **Hydraulische Beschickung**

Dies ist ein weiteres Kriterium, um zwischen oberirdischen dezentralen und zentralen Anlagen zu differenzieren. Stofflich und hydraulisch hoch belastet werden solche Anlagen genannt, bei denen das Verhältnis $A_u : A_s > 15$ ist. Daraus ergeben sich für die Einsatzmöglichkeiten unterschiedliche Bedingungen.

⁵ vgl. DWA A-138, 2008, S. 23

- **Versickerungsfähigkeit**

Geologische und hydrogeologische Gegebenheiten (Durchlässigkeit des anstehenden Bodens, Grundwasserabstand) sind für die Versickerungsfähigkeit maßgebend. Bei günstigen Durchlässigkeitsbeiwerten (k_f – Wert) ist eine vollständige Versickerung erreichbar, während bei geringer Durchlässigkeit der Aspekt der Rückhaltung und zeitverzögerten Ableitung in den Vordergrund rückt.

Die technischen Lösungen für Versickerungsanlagen werden entsprechend ihrer Reinigungskraft wie folgt gegliedert:

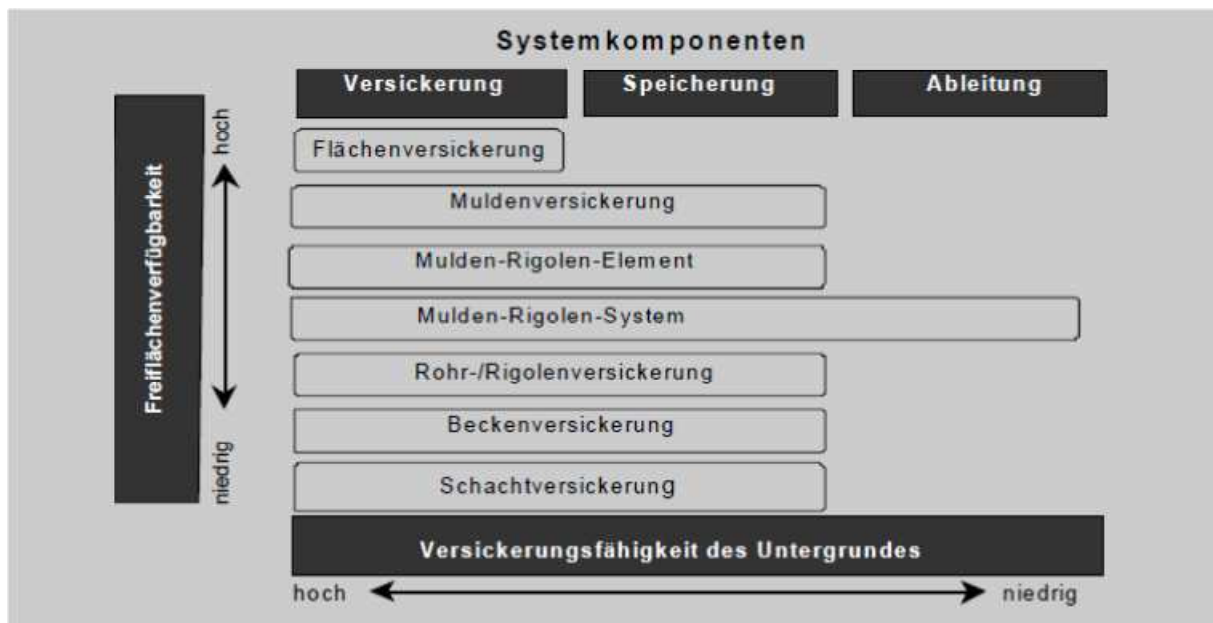


Bild 1

Einsatzmöglichkeiten von Versickerungsanlagen

(DWA-A 138, S. 24)

3.2. Flächenversickerung

Darunter ist die flächenhafte Versickerung von Niederschlagsabflüssen ohne zeitweilige Speicherung zu verstehen. Das Sickerwasser passiert dabei großflächig belebte Bodenschichten. Der Flächenbedarf hierfür ist groß, jedoch bringt die Flächenversickerung eine sehr gute Reinigungsleistung mit sich, weshalb keine qualitativen Anforderungen an das zu versickernde Wasser gestellt werden. Der technische Aufwand ist ebenfalls gering.

Aus den Erfahrungen der Vergangenheit wird heute eine Flächenversickerung nur noch über bewachsenen Boden definiert, sei es über

Rasenflächen, Böschungsflächen von Verkehrswegen oder Ähnliches. Durchlässig befestigte Flächen wie z. B. Rasengittersteine werden von der Fachwelt nicht mehr als reine Versickerungsflächen angesehen, da mittlerweile bekannt ist, dass bei durchlässig befestigten Flächen im Laufe der Zeit die Versickerungsrate deutlich abnimmt und somit Abflüsse von durchlässig befestigten Flächen zu erwarten sind.⁶ Im Allgemeinen wird diese Ausführungsart jedoch in der Praxis nach wie vor häufig angewendet. Die Erkenntnis über die auf Dauer sich verminderten Versickerungsrate, kann bereits im Vorfeld bei der Planung berücksichtigt werden. So kann z. B. parallel eine Versickerungsmulde eingebaut werden, welche die auftretenden Abflüsse auffängt und dort versickern lässt.

Anforderung an die Ausführung und Untergrund (DWA-A 138 und RAS-EW):

- a) Es sollte mindestens einen Oberboden mit einer Stärke von 20 cm gewährleistet werden, damit wird dauerhaft eine belebte Oberbodenschicht durch Bewuchs gefördert.
- b) Es ist besonders auf einen linienhaften gleichmäßigen Übergang des Wassers auf die Versickerungsfläche zu achten.
- c) Durch Unterhaltungsarbeiten muss gewährleistet sein, dass die Versickerungsfläche auf Dauer gleichmäßig beschickt wird.
- d) Die Wasserdurchlässigkeit des Untergrund sollte nicht geringer als $1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ sein. Darunter wird eine Flächenversickerung selten noch den Anforderungen an eine geordnete Entwässerung gerecht.

Beispiel für Flächenversickerungsanlagen im Straßenbau:

- Böschungsversickerung
- Bankettversickerung
- Rasengittersteine (Bauklasse V, VI, Geh- und Radwege)
- Dränpflaster (Bauklasse V, VI, Geh- und Radwege)
- Porenpflaster (Bauklasse V, VI, Geh- und Radwege)

⁶ vgl. DWA A-138, 2008, S. 24

3.3. Muldenversickerung

Bei einer Muldenversickerung handelt es sich um eine Versickerungsanlage mit oberirdischer Speicherung, welche als flache Geländemulde hergestellt wird. Sie kommt im Allgemeinen dann zur Anwendung, wenn die verfügbare Versickerungsfläche oder Durchlässigkeit des Untergrundes für eine Flächenversickerung nicht ausreicht.

Abflüsse von kurzfristigen Niederschlagsereignissen können in der Mulde gespeichert werden, weil für die Versickerung ein größerer Zeitraum zur Verfügung steht. Das Sickerwasser passiert dabei belebte Bodenschichten und bringt eine gute Reinigungsleitung mit sich, weshalb nur geringe qualitative Anforderungen an das zu versickernde Wasser gestellt werden.

Der Flächenbedarf ist trotzdem groß aber der technische Aufwand ist gering. Es ist eine vielfältige Bepflanzung bzw. Gestaltung möglich.

Die Funktion der Versickerungsmulde kann durch ihre offene Bauweise jederzeit überprüft werden. Schnee und Frost beeinträchtigen die Funktion der Mulde. Beides ist bei der Muldenbemessung zu berücksichtigen.

Anforderung an die Ausführung und Untergrund (DWA-A 138 und RAS-EW):

- a) Die Bemessung ist so zu erfolgen, dass ein Einstau nur kurzfristig und nicht dauerhaft entsteht. Dabei sollte eine Einstauhöhe von nicht mehr als 30 cm eingehalten werden. Darüber hinaus besteht die Gefahr der Verschlickung sowie Verdichtung der Oberfläche und der Boden wird nicht ausreichend durchlüftet. Dass heißt der Querschnitt sollte flach und das Längsgefälle klein gewählt werden.
- b) Die wasseraufnehmende Schicht muss eine ausreichende Durchlässigkeit k_f – Wert $> 1 * 10^{-5} \text{ m/s}$, besitzen.
- c) Die Beschickung erfolgt direkt von befestigten Flächen über möglichst offene Leitungsrinnen, welche oberirdisch angeordnet sind. Hierbei ist ein gleichmäßiges Überfließen längs der Flächenkante zu gewährleisten. Eine Beschickung der Versickerungsmulden kann aber auch über Rohrleitungen oder Pflasterrinnen, z. B. bei der Versickerung von Dachabflüssen erfolgen.

- d) Sohlebenen und Sohllinien der Mulden sollten horizontal liegend hergestellt und unterhalten werden, um eine möglichst gleichmäßige Verteilung des zu versickernden Wassers zu erreichen.
- e) Es sollte mindestens einen Oberboden mit einer Stärke von 20 cm aufgetragen werden, damit wird dauerhaft eine belebte Oberbodenschicht durch Bewuchs gefördert.
- f) Für die in einer Mulde notwendige Vegetation sollte eine Rasenmischung gewählt werden, die längere Nässeperioden ertragen kann und gleichzeitig ein flaches, großflächiges Wurzelwerk entwickelt. Die Porengänge des Oberbodens werden dadurch offen gehalten.
- g) Förderung bzw. Gewährleistung von umströmten Vegetationsbestandteilen (Gras, Schilf, Ried) zur Vermeidung von Erosionen und zur Unterstützung der Reinigung des Regenwassers.



Bild 2

Versickerungsmulde

(DWA-A 138, Ausgabe 2008, Seite 25)

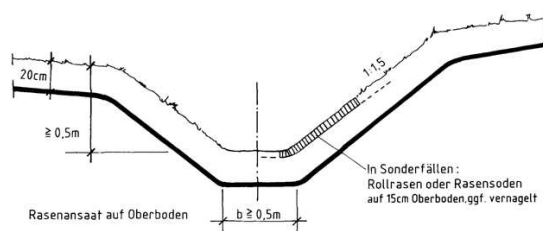


Bild 3

Regelform des Straßengrabens ohne Sohlbefestigung

(RAS-Ew, FGSV, 2005, Blatt 20)

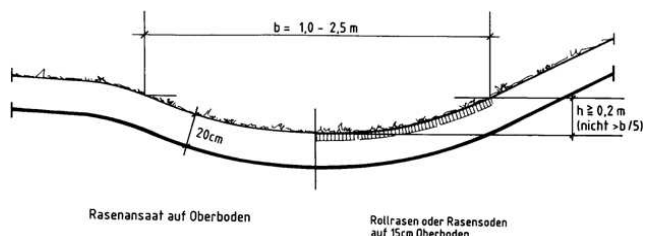


Bild 4

Regelform einer Rasenmulde

(RAS-Ew, FGSV, 2005, Blatt 19)

3.4. Mulden-Rigolen-Versickerung

3.4.1. Allgemein

Besitzt der zur Verfügung stehende Untergrund für z. B. eine Muldenversickerung keine ausreichende Durchlässigkeit, also spätestens bei einem k_f Wert $< 1 * 10^{-5} m/s$, so kann die geringe Versickerungsrate durch ein vergrößertes Speichervolumen ausgeglichen werden. Die Mulden-Rigolen-Versickerung stellt die Kombination der Mulden- mit der Rigolenversickerung dar.

Die Rigolen sind grundsätzlich mit verwitterungsbeständigem Material (meist Kies oder Lava) gefüllte Gräben, deren nutzbares Porenvolumen als unterirdischer Speicherraum dient. Sie erhöhen also die versickerungswirksame Fläche deutlich und stellen einen zusätzlichen Speicherraum zur Verfügung. Die Kunststoffindustrie bietet mittlerweile alternativ zur Kiesrigole eine Vielzahl von Elementen an, die als Füllkörper für die Rigole bzw. auch als Stützkörper für die darüber liegende Mulde dienen (Füllkörper-Rigolen). Vorteil dieser Elemente ist das verhältnismäßig kleine Aushubvolumen, wobei ein Optimum an Speicher für Sickerwasser zur Verfügung gestellt wird. In der Regel beträgt der Hohlraumanteil innerhalb dieser Füllkörper zwischen 95% und 100%. Bei Kiesrigolen, also ohne Füllkörper, ist mit einem Hohlraumgehalt zwischen 30% und 35% des Kiesvolumens auszugehen.

Die Mulde und die Rigole sind zwei getrennte Speicher mit jeweils eigenen Füll- und Entleerungsprozessen, die vom Abflussgeschehen und von den Versickerungsraten beider Bestandteile bestimmt werden. Zusammen bilden sie einen großen ober- bzw. unterirdischen Speicherraum. Bei gering durchlässigen Böden entstehen gegenüber anderen Versickerungsanlagen lange Entleerungszeiten.

Das Niederschlagswasser wird zunächst meist oberirdisch durch offene Zuleitungen der Versickerungsmulde zugeführt und versickert durch den Muldenboden in die darunter liegende Rigole. Aus dieser erfolgt dann wiederum die Versickerung in den anstehenden Untergrund. Während der Sickerpassage zwischen Mulde und Rigole unterliegt das Wasser den Reinigungsprozessen in der bewachsenen Bodenzone. Um die Reinigungswirkung durch die Bodenzone zu gewährleisten, ist der Direktanschluss von Abflussflächen an die Rigolen zu vermeiden.

In den meisten Fällen wird die Rigole mit einer durchgehenden Sickerrohleitung hergestellt, über welche der (evtl.) nicht versickernde Anteil des Wassers gedrosselt abgeleitet werden kann. Diese Ableitung macht das Mulden-Rigolen-System unabhängig von der Durchlässigkeit des örtlich anstehenden Bodens anwendbar.

Die reine Speicherung und anschließende gedrosselte Ableitung ist dabei auch eine Einsatzmöglichkeit.

Der Sickerflächenbedarf für die Mulden bei der Mulden-Rigolen-Versickerung liegt bei ca. 10 % der Größe der angeschlossenen befestigten Fläche. Die erforderliche Rigolenausdehnung ist von der Durchlässigkeit des anstehenden Untergrundes und des nutzbaren Speichervolumens der Rigole abhängig und somit nicht generell mit der Muldensickerfläche identisch.

Anforderung an die Ausführung und Untergrund (DWA-A 138 und RAS-EW):

- a) Es sollte mindestens einen Oberboden mit einer Stärke von 20 cm und einem $k_f - \text{Wert} > 1 * 10^{-5} \text{ m/s}$ aufgetragen werden, damit wird dauerhaft eine belebte Oberbodenschicht durch Bewuchs gefördert.
- b) Der Schichtaufbau zwischen Mulde und Rigole muss ebenfalls eine Durchlässigkeit von größer als $1 * 10^{-5} \text{ m/s}$ aufweisen. Er muss sowohl häufiges, schnelles Überfluten als auch lang dauernde Trockenphasen tolerieren.
- c) Es sollte eine Einstauhöhe in der Mulde von nicht mehr als 30 cm eingehalten werden, um eine Schädigung der Vegetation sowie eine Verdichtung des Oberbodens zu vermeiden und die Durchlüftung des Bodens zu gewährleisten.
- d) Da eine Durchwurzelung der Versickerungsanlage zum Schutz des Geotextiles und der Rigole zu vermeiden ist, dürfen in der Nähe von Versickerungsanlagen nur flachwurzelnde Pflanzen angepflanzt werden.
- e) Abhängig von der Bemessung in Bezug auf die Überlaufhäufigkeit der Mulde und Rigole, ist eine Entlastungsmöglichkeit der Mulden durch einen Überlauf zwischen beiden Elementen vorzusehen. Dieser erhöht die Betriebssicherheit und verringert die Gefahr einer Überflutung, auch bei gefrorenem Boden.
- f) Die Durchlässigkeit der wasseraufnehmenden Schicht darf nicht kleiner als $1 * 10^{-6} \text{ m/s}$ sein.
- g) Die Rigole wird mit gewaschenem Kies (8/16 oder 16/32) gefüllt.
- h) Die Kiespackung sollte mindestens 60 cm hoch sein, das Kiesauflager für Rohre sollte 10 cm nicht unterschreiten.

- i) Die Rigole ist mit einem ausreichend und dauerhaft durchlässigen Geotextil zu ummanteln, um das Einspülen von Feinanteilen aus den angrenzenden Bodenschichten in die Rigole zu verhindern sowie eine ausreichende Stabilität sicherzustellen.
- j) Die Mindestbreite für einsträngige Rigolen sollte 60 cm betragen. Bei mehrsträngigen Rigolen ist ein Randabstand größer 30 cm und ein Achsabstand von 1 bis 1,5 m einzuhalten.
- k) Die Rigole sollte frostsicher eingebaut werden.
- l) Bei Sickerrohrleitungen und Füllkörpern sind die Mindestüberdeckungshöhen sowie die maximalen Einbautiefen lt. Herstellerangaben bzw. Rohrstatiken zu beachten.
- m) Füllkörper-Rigolen müssen gegen die dauerhaft einwirkenden Erd- und Verkehrslasten ausreichende Tragfähigkeit besitzen. Die Standsicherheit einer Füllkörper-Rigole ist nach DIN 1054 unter Berücksichtigung von Sicherheitsbeiwerten nachzuweisen.
- n) Für den Fall, dass eine Sickerrohrleitung eingebaut wird, ist der Einsatz eines Spül- und Kontrollschachtes zu empfehlen.
- o) Rigolen mit Sickerrohrleitungen benötigen bis 25 m Länge 1 Schacht pro Rohrstrang. Bei einer Rigolenlänge bis 50 m sollten 2 Schächte pro Strang jeweils am Anfang und am Ende angeordnet werden. Für größere Anlagen werden zusätzliche Kontrollschächte empfohlen.

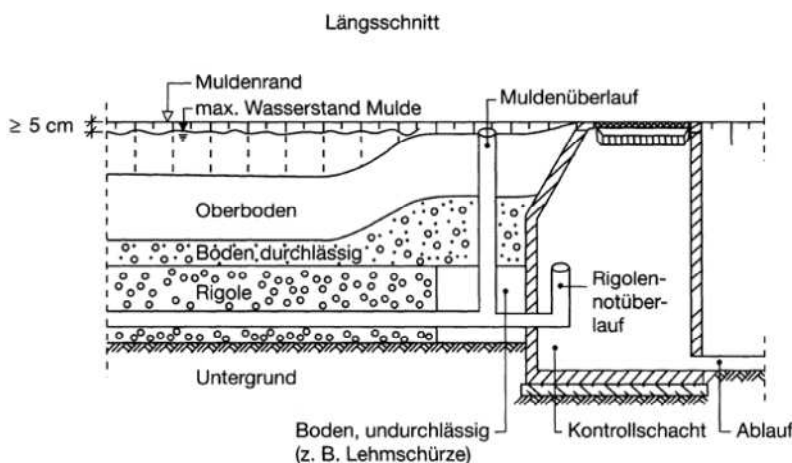


Bild 5

Längsschnitt einer Mulden-Rigolen-Versickerungsanlage

(Hinweise zur Versickerung von Niederschlagswasser im Straßenraum, FGSV, 2002, Blatt 5)



Bild 6

Mulden-Rigolen-Versickerung zur Parkplatzentwässerung
(Handbuch zur Regenwasserbewirtschaftung, Fränkische Rohrwerke, 2010, Seite 37)

3.4.2. Mulden-Rigolen-System

Bei der Vernetzung von Mulden-Rigolen-Elementen zu einem System handelt es sich um eine dezentrale Konzeption, wobei die mögliche Netzstruktur des Systems zentrale Merkmale aufweist. Sie lässt i. d. R. eine sehr große Speicherfähigkeit entstehen. Dadurch können sie auch zur gedrosselten Ableitung des Wassers aus den Rigolen eingesetzt werden, wenn z. B. die Versickerung aus den Rigolen in den Untergrund eine zeitnahe Entleerung nicht gewährleistet.

3.4.3. Ausführungsbeispiele Mulden-Rigolen-Versickerung

Beispiel 1

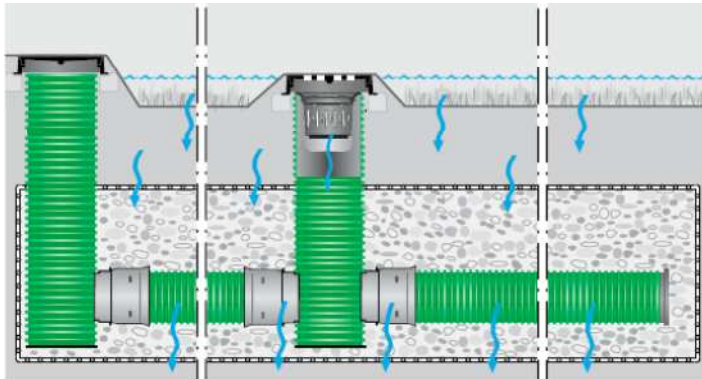


Bild 7

Mulden-Rigolen-Versickerung mit Muldenüberlauf, Rigole als Sickerrohrleitung
(Handbuch zur Regenwasserbewirtschaftung, Fränkische Rohrwerke, 2010, Seite 11)

Beispiel 2

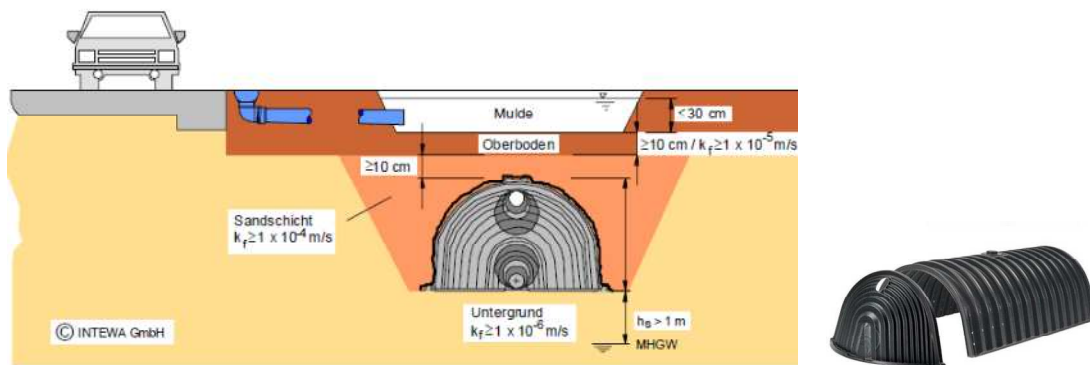


Bild 8

Mulden-Rigolen-Versickerung, Rigole als Tunnelsystem aus Polyethylen
(Grundlagen-Planung-RWV-0309, INTEWA GmbH)

Beispiel 3

Bild 9

Mulden-Rigolen-System, Rigole als
mehrsträngige Sickerrohrleitung mit
Verbindungsrohr und Kontrollschächte am
Ende der Anlage
(Handbuch zur Regenwasserbewirtschaftung, Fränkische
Rohrwerke, 2010, Seite 35)



Beispiel 3

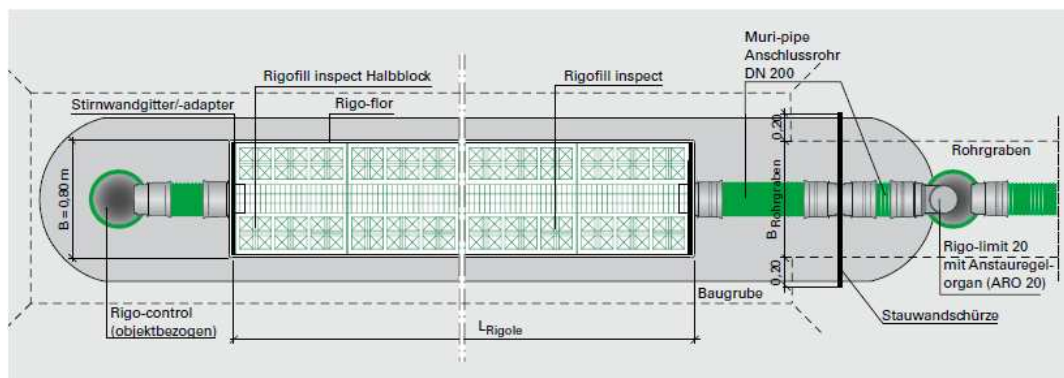


Bild 10

Mulden-Rigolen-Versickerung (Draufsicht), Rigole als Blockelement aus Kunststoff mit gedrosselter Ableitung
(Handbuch zur Regenwasserbewirtschaftung, Fränkische Rohrwerke, 2010, Seite 39)



3.5. Rigolen- und Rohr-Rigolen-Versickerung

3.5.1. Allgemein

Bei der Rigolenversickerung wird das Niederschlagswasser oberirdisch in die Rigole geleitet, meist ohne vorher eine belebte Bodenschicht zu passieren. Dort wird es zwischengespeichert und entsprechend der Durchlässigkeit des umgebenden Bodens verzögert in den Untergrund abgegeben.

Die Rohr-Rigolen-Versickerung unterscheidet sich grundsätzlich von der Mulden-Rigolen- und der Rigolen-Versickerung darin, dass die Beschickung der Rigolen unterirdisch über Zuleitungen erfolgt, die direkt an die zu entwässernde Fläche angeschlossen sind.

Das Niederschlagswasser passiert dabei keine bewachsene Bodenzone und muss, wenn es Verunreinigungen enthält, vorgereinigt werden (siehe Abschnitt 6.4.)

Die Rohr-Rigolen-Versickerung kommt im Allgemeinen dann zur Anwendung, wenn die zur Verfügung stehende Fläche für eine Muldenversickerung nicht ausreicht. Sie ist aber auch von Bedeutung, wenn der zur Verfügung stehende Platz auf einem Grundstück klein ist und die Versickerung zusammen mit anderen baulichen Anlagen, wie z.B. PKW-Stellplätze, genutzt werden soll. Die Tragfähigkeit bzw. Standsicherheit des Untergrundes sowie der Versickerungsanlage muss dabei beachtet werden.

Die Speicherkapazität ergibt sich aus den Querschnittsabmessungen der Rigole, aus dem Porenvolumen des Füllmaterials und der beabsichtigten oder zur Verfügung stehenden Längsentwicklung des Versickerungsstranges. Die Speicherkapazität und damit die anschließbare undurchlässige Fläche sind in weiten Grenzen variierbar, da die Querschnittsabmessungen und die Längsentwicklung variable Größen sind.

Anforderung an die Ausführung und Untergrund (DWA-A 138 und RAS-EW):

- a) Die Anforderungen gemäß Abschnitt 5.4.1 sind auch bei der Rigolen- und Rohr-Rigolen-Versickerung zu beachten.
- b) Sohlebenen und Sohllinien der Mulden sollten horizontal liegend hergestellt und unterhalten werden, um eine möglichst gleichmäßige Verteilung des zu versickernden Wassers zu erreichen.

- c) Bei partikulären Verunreinigungen aus der zu entwässernden Fläche, sollte stets eine Absetzeinrichtung vorgeschaltet werden.
- d) Um z. B. Spülgut entnehmen zu können, ist ein Spülschacht am Ende der Rigole sinnvoll.

3.5.2. Ausführungsbeispiele Rohr-Rigolen-Versickerung

Beispiel 1

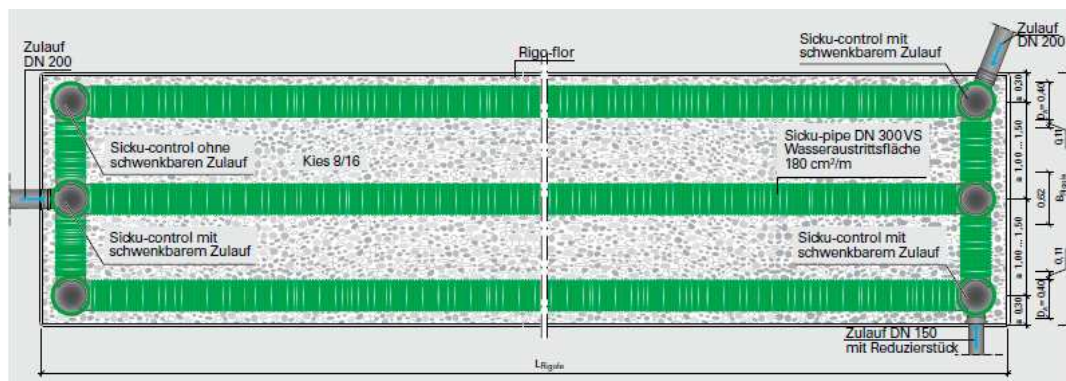


Bild 11

Rohr-Rigolen-Versickerung (Draufsicht), Rigole aus 3-strängigen Sickerrohrleitungen (Handbuch zur Regenwasserbewirtschaftung, Fränkische Rohrwerke, 2010, Seite 34)

Beispiel 2

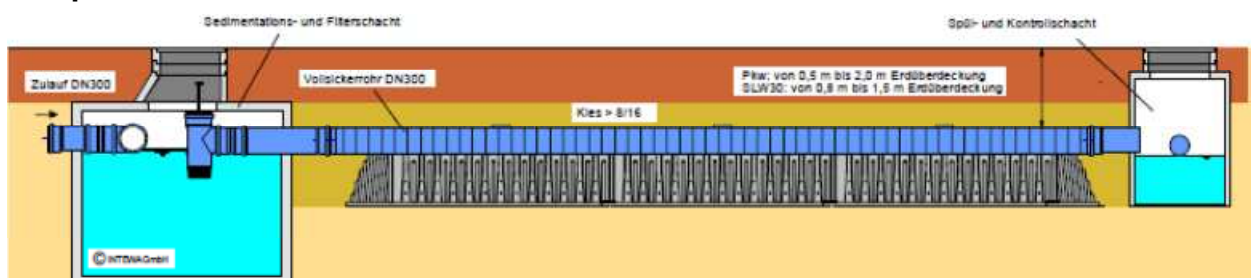


Bild 12

Rohr-Rigolen-Versickerung, Rigole als Tunnelsystem aus Polyethylen (Grundlagen-Planung-RWV-0309, INTEWA GmbH)

Beispiel 3

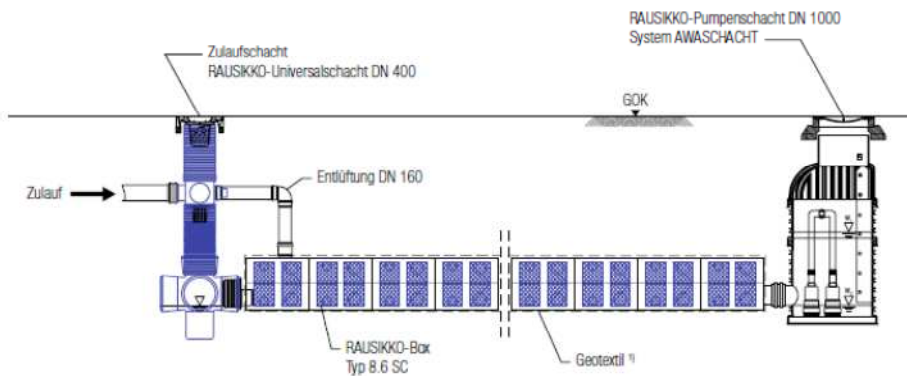


Bild 13

Rohr-Rigolen-Versickerung, Rigole als Blockelement aus Kunststoff

(Katalog Regenwasserbewirtschaftung, Rehau, 2011, Seite 19)

Die vorgenannten Tunnelsysteme lassen sich unter Verwendung von Vollsickerrohren auch als spülbare Rigolen ausführen. Bei den Blockelementen können Inspektionsgänge verbaut werden, durch welche sich eine regelmäßige Kontrolle der Rigole mittels Kamerabefahrung durchführen lässt.



Bild 14

Blockelement mit Inspektionskanal

(Handbuch zur Regenwasserbewirtschaftung, Fränkische Rohrwerke, 2010, Seite 74)



Bild 15

Kamerainspektion in einem Blockelement

(Katalog Regenwasserbewirtschaftung, Rehau, 2011, Seite 16)

3.6. Beckenversickerung

Reichen Flächen für Flächenversickerung oder Muldenversickerung nicht aus bzw. ist eine ortsnahe und dezentrale Versickerung nicht möglich, können zentrale Versickerungsbecken angelegt werden. In diese werden die von befestigten Flächen abfließenden Wassermengen gesammelt zugeleitet.

Dabei ist die versickerungswirksame Fläche kleiner als 7% der angeschlossene versiegelte Fläche (Verhältnis beider Flächen 1:15).

Versickerungsbecken neigen erfahrungsgemäß zur Selbstdichtung. Ursache hierfür sind in erster Linie die in den Niederschlagswasserabflüssen mitgeführten Stoffe, die sich im Versickerungsbereich ablagern und dort dichtende Auflagen (äußere Kolmation) bilden. Becken, die über Rohrleitungen beschickt werden, weisen im Allgemeinen mehr Ablagerungen auf.

In der Regel wird dem Versickerungsbecken eine Absetzanlage vorgeschaltet. Diese sollte auch mit Einrichtungen zum Rückhalt von Leichtstoffen ausgerüstet sein, z. B. einer Tauchwand. Alternativ besteht auch die Möglichkeit das Versickerungsbecken in Absetzzone und Versickerungszone mittels Hoch- und Tiefpunkten oder durch eine geneigte Beckensohle zu unterteilen. Ohne Vorschaltung eines Absetzbeckens sollte die Durchlässigkeit der Sohlfläche auf ein Fünftel verringert bemessen werden. Damit wird eine Kolmation der Beckensohle während des Betriebes bei der Bemessung berücksichtigt.

In den Reinigungsflächen können Wasserpflanzen zur Reinigung des Wassers beitragen. Durch die Oberfläche und die Bepflanzung verdunstet ein Teil des Wassers. Dies wirkt sich positiv auf die kleinklimatischen Verhältnisse aus.

In der Regel liegt die Sohltiefe 2 m unterhalb Geländeoberkante, da es sich bei Versickerungsbecken um zentrale Versickerungsanlagen handelt und das Entwässerungsgebiet meist durch eine konventionelle Kanalisation entwässert wird. Somit sind auch die Zuleitungen in einer entsprechenden Tiefe verlegt.

Anforderung an die Ausführung und Untergrund (DWA-A 138 und RAS-EW):

- a) Wegen der hohen hydraulischen Belastung müssen Standorte, an denen diese zentralen Versickerungsanlagen eingebaut werden sollen, entsprechend gute Wasserdurchlässigkeiten, $k_f - \text{Wert} > 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$, aufweisen. Andernfalls würden sich zu lange Einstauzeiten ergeben.
- b) Versickerungsbecken sollten nie mit horizontaler Sohle angelegt werden, da sich sonst die Sedimente schon bei kleinen Zuflüssen über die gesamte Sohlfläche verteilen.
- c) Der Bereich der Absetzbecken muss nach unten abgedichtet werden, um Schadstoffeinträge in den Boden zu vermeiden.

- d) Im Versickerungsbereich ist eine Bepflanzung mit z. B. Schilf, Röhricht oder Binsen zu verwenden. Eine Rasensohle ist aufgrund der langen Einstauzeiten nicht sinnvoll.
- e) Die Böschungsneigungen sind nach den erdstatischen bzw. nach den landschaftsgestalterischen Erfordernissen zu wählen, sie sollten im Regelfall flacher als 1:2 sein.
- f) Im Bereich der Zuläufe sind Böschungen und Sohle zu sichern, z. B. durch Steinwurf.

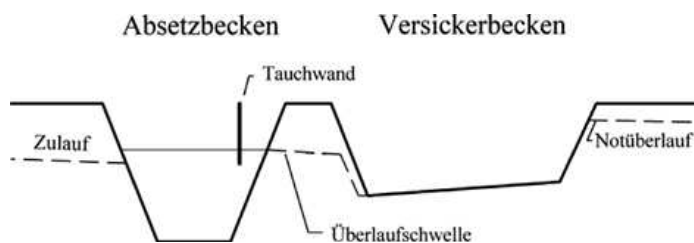


Bild 16

Versickerungsbecken mit vorgeschaltetem Absetzbecken

(RAS-Ew, FGSV, 2005, Blatt 37)

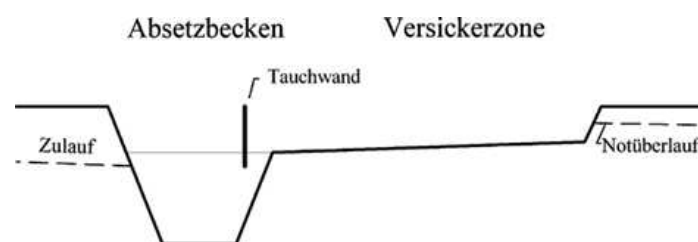


Bild 17

Versickerungsbecken mit integriertem Absetzbecken

(RAS-Ew, FGSV, 2005, Blatt 37)

3.7. Schachtversickerung

Unter einer Schachtversickerung versteht man eine punktförmige unterirdische Versickerung von Niederschlagsabflüssen in einem Schacht mit durchlässiger Sohle und/oder Wandung. Es ist eine deutlich geringere Reinigungsleistung zu erwarten als in Becken und Mulden, da die für die Reinigung so wichtige bewachsene Bodenzone fehlt.

Oftmals werden die Sickerschächte aufgrund ihrer Bauform sehr tief in den Untergrund eingebunden. Gering durchlässige Schichten können dabei durchstoßen werden und damit der Schacht in gut durchlässige Sandschichten eingebaut werden. Bezüglich des Grundwasserschutzes ist dies keine gute Praxis, da durch das ungereinigte Niederschlagswasser Stoffeinträge in das Grundwasser sowie auch in Boden- und Auffüllbereiche die Folge sind. Auch wenn diese Schächte mit Filtersäcken bzw. Filterschichten ausgestattet werden müssen, erfordern diese einen hohen Wartungsaufwand. Das Risiko der Kolmation und Verstopfung ist sehr hoch

Anforderung an die Ausführung und Untergrund (DWA-A 138 und RAS-EW):

- a) Der Minstdurchmesser von DN 1000 darf nicht unterschritten werden.
- b) Versickerungsschächte dürfen gering durchlässige Schichten mit guter Schutzwirkung für das Grundwasser nur in begründeten Ausnahmefällen durchstoßen.
- c) Der Abstand zwischen der Oberkante der Filterschicht und dem mittleren höchsten Grundwasserstand darf i. d. R. 1,5 m nicht unterschreiten.
- d) Als Material für die Filterschicht ist karbonathaltiger Sand mit einer Körnung 0,25 - 4 mm und einer Wasserdurchlässigkeit von $> 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ zu verwenden.

Es werden zwei verschiedene Arten von Versickerungsschächten unterschieden:

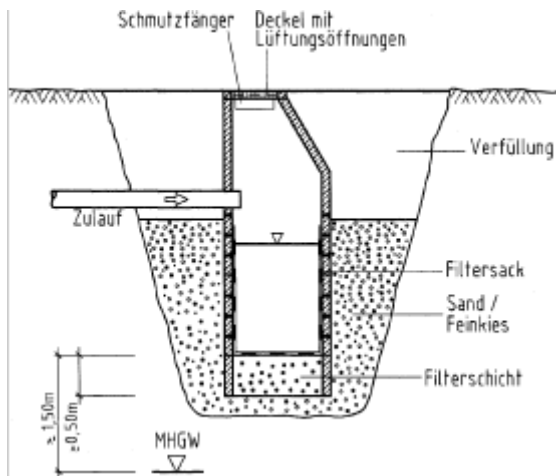


Bild 18

Versickerungsschacht Typ A

(DWA-A 138, S. 27)

Beim Schacht Typ A haben die Schachtringe, die oberhalb der Filterschicht des Sohlbereichs liegen, seitliche Durchtrittsöffnungen. Zum Schutz des Grundwassers und zur Erhaltung der Versickerungsfähigkeit ist es erforderlich,

einen Filtersack in den Sickerschacht einzuhängen (siehe Abschnitt 6.4.4.4). Das gesamte Niederschlagswasser muss vor der Versickerung diesen Filtersack passieren. In dem Sack werden absetzbare und abfiltrierbare Stoffe aus dem Niederschlagswasser vor der Versickerung zurückgehalten.

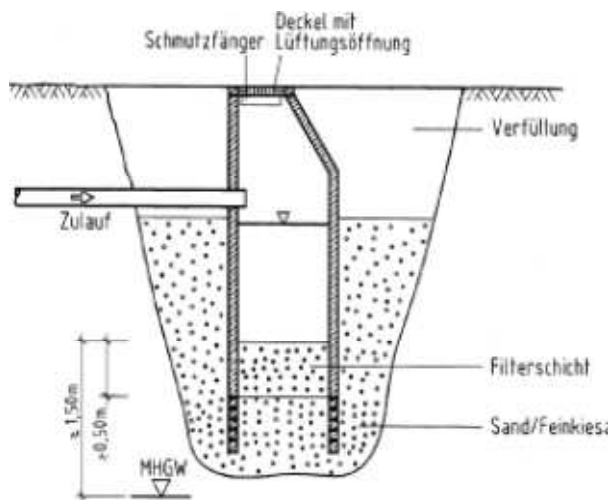


Bild 19

Versickerungsschacht Typ B

(DWA-A 138, S. 27)

Beim Schacht Typ B, der mit dem Sickerschacht nach DIN 4261-1 identisch ist, liegen demgegenüber die seitlichen Durchtrittsöffnungen ausschließlich unterhalb der Filterschicht des Sohlbereichs. Die Durchsickerung verläuft nur durch die Filterschicht. Die

absetzbaren und abfiltrierbaren Stoffe werden auf der Oberfläche der Filterschicht zurückgehalten.

4. Physikalische Grundlagen des Bodens

4.1. Das Dreistoffsystem

Das Grundgebirge der Erdkruste besteht aus Festgestein (Fels). Es wird großflächig von Lockergestein (Boden) überlagert, das als Verwitterungsprodukt aus Festgestein entstanden ist. Beeinflusst wird dieses durch Verlagerungen im Laufe längerer Zeiträume (z. B. eiszeitliche Verschiebungen). Jedes Lockergestein besteht aus den Komponenten Feststoff und Hohlräume (Poren), die teilweise oder ganz mit Luft oder Wasser gefüllt sein können.

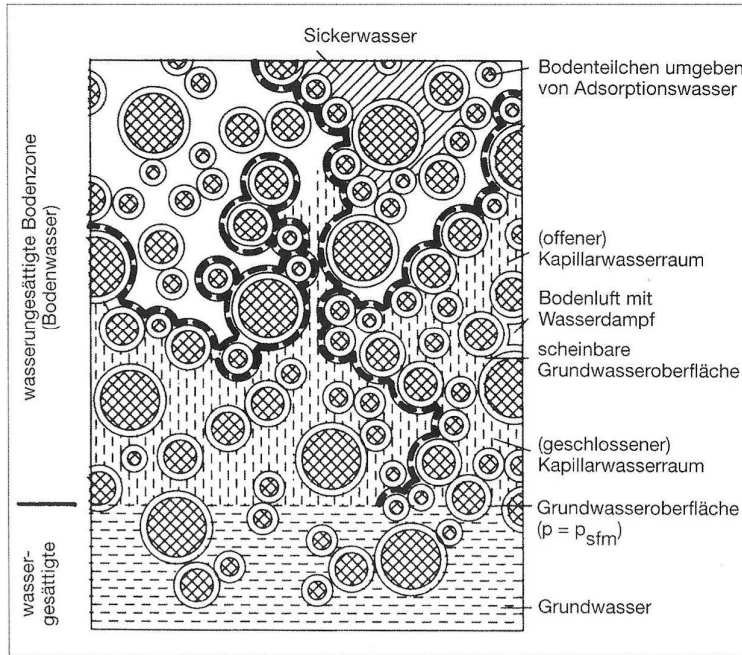
Das Bodenwasser wird in verschiedene Bindungsarten unterschieden:

- Sickerwasser: Anteil des Niederschlags, der in den anstehenden Baugrund eindringt und mit Hilfe der Schwerkraft bis zum Grundwasserhorizont absickert.
- Haftwasser: Das im Boden gegen die Schwerkraft gehaltene Wasser. Es ist wesentlich an der Bildung und Erhaltung der Erdfeuchtigkeit beteiligt. (Adsorptions- und Kapillarwasser)
- Adsorptionswasser: Der Teil des Haftwassers, der sich an den festen Bodenpartikeln anlagert, ohne Menisken (Wölbungen) zu bilden.
- Kapillarwasser: Ist Teil des Haftwassers, der durch Menisken, die sich an den Grenzflächen Wasser-Boden-Luft bilden, gehalten wird.⁷

Entsprechend der o. g. Reihenfolge nimmt die Bindung von Wasser und Boden zu.

Der Bereich, in dem alle Poren mit Kapillarwasser gefüllt sind, heißt geschlossener, der darüber liegende Bereich, in dem die Poren Wasser und Luft enthalten, offener Kapillarwasserraum.

⁷ vgl. Geiger/Dreiseitl, 1995, S. 39


Bild 20

Schematische Darstellung des Dreiphasen-Systems Boden – Wasser – Luft

(Geiger/Dreiseitl, 2009, S. 33)

4.2. Wasserdurchlässigkeit von Böden

Die Wasserdurchlässigkeit eines Bodens drückt sich in dem Durchlässigkeitsbeiwert k_f [cm/s oder m/s] aus. Es ist die Geschwindigkeit, in der Wasser den Boden durchsickert. Dieser Beiwert kann durch Versuche nach DIN 18130-1 und mit Hilfe nachfolgender Gleichung nach dem Gesetz von Darcy ermittelt werden:

$$k_f = \frac{Q * l}{A * h}$$

Formel 1 Bestimmung Durchlässigkeitsbeiwert

Hierbei sind

k_f	Durchlässigkeitsbeiwert	[m/s]
Q	durchströmende Wassermenge	[m³/s]
l	Länge des Sickerweges (Länge Versuchszylinder)	[m]
h	Druckhöhendifferenz	[m]
A	Querschnitt des Versuchszylinders	[m²]

Zur Bestimmung des k_f – Wertes wird der Boden mit der für das Untersuchungsfeld relevanten Lagerungsdichte in einen Versuchszylinder eingebaut. Dann wird die Wassermenge gemessen, die bei konstantem Druck die Probe durchströmt. Weitere

Möglichkeiten die Wasserdurchlässigkeit zu bestimmen, sind im Abschnitt 4.4 aufgeführt.

Die Durchlässig- bzw. Sickerfähigkeit hängt von folgenden Faktoren ab:

- Porengröße,
- ihrer Kontinuität,
- der Porenform,
- der Porenzahl,
- der Geometrie der Porenkanäle,
- und dem Flurabstand

Diese Faktoren sind wiederum abhängig von der Kornzusammensetzung, Kornform und von der Dichte des Kornhaufwerkes.

Zwischen Porengröße und Wasserleitfähigkeit besteht ein direkter Zusammenhang. Dazu werden Poren in Abhängigkeit zu ihrem Durchmesser in Grobporen, Mittelporen und Feinporen unterschieden.

Bezeichnung	Porendurchmesser [mm]	Wasserleitfähigkeit	Baugrund/Boden
Grobporen, weite	> 0,05	schnelldränend	
Grobporen, enge	0,05 – 0,01	langsamdränend	
Mittelporen	0,01 – 0,0002	wasserhaltend	
Feinporen	< 0,0002	wasserbindend	feinkörnig

Tabelle 1 Einteilung der Porengrößenbereiche und der Wasserleitfähigkeit nach dem Porendurchmesser und der Bodenart

(eigene Darstellung in Anlehnung an Geiger/Dreiseitl, 1995, S. 41)

Dabei gilt, je bindiger der Boden, desto länger benötigt das Wasser für die Durchsickerung, denn die einzelnen Poren zwischen Kornteilchen des bindigen Bodens sind so eng, dass der Strömungswiderstand groß und die Durchlässigkeit klein ist.

Zu beachten ist die Tatsache, dass häufig innerhalb von Stadtgebieten und ehemaligen Industriestandorten sehr unterschiedliche Böden auf engem Raum gegenüber denen aus unbebauten Gebieten anstehen. Diese stammen meist aus Abriss- und Neubaumaßnahmen und enthalten u. a. Schutt, Aschen oder Schlacken.

Handelt es sich zum Beispiel um poröse Materialien wie Kalksandstein oder verwitterter Ziegel, kann die Speicherkapazität des anliegenden Bodens zunehmen.⁸

Weitere Einflussfaktoren für die Durchlässigkeit eines Bodens sind:

- Wassersättigung des Bodens
- Homogenität
- Wurm- und Wurzelgänge
- Schrumpfrisse (Sekundärporen)

Ein wassergesättigter Boden hat einen höheren Durchlässigkeitsbeiwert als ein ungesättigter Boden, da dort nahezu alle Poren an der Wasserbewegung beteiligt sind. Die Durchlässigkeit des wassergesättigten Bodens (k_f -Wert) wird ungefähr doppelt so hoch angesetzt wie die des ungesättigten Bodens ($k_{f,u}$ -Wert).⁹

$$k_{f,u} = k_f / 2$$

Formel 2 Bestimmung Durchlässigkeitsbeiwert in ungesättigter Bodenzone

Demnach ist die Durchlässigkeit von Böden in ausgetrocknetem Zustand (z. B. nach langen Trockenwetterperioden) wesentlich geringer als im wassergesättigten Zustand, was unter Umständen zu stärkeren Oberflächenabflüssen führen kann.

Grundsätzlich sind die Durchlässigkeitsbeiwerte k_f in den Böden sehr unterschiedlich. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über k_f – Werte in wassergesättigten Böden.

Bodenart	k_f [m/s]	k_f [m/d]
Sandböden	$\approx 4 * 10^{-3}$ bis $1 * 10^{-5}$	$\approx 3 * 10^2$ bis $3 * 10^0$
Schluffböden	$\approx 4 * 10^{-3}$ bis $5 * 10^{-7}$	$\approx 3 * 10^2$ bis $4 * 10^{-2}$
Lehmböden	$\approx 4 * 10^{-3}$ bis $1 * 10^{-7}$	$\approx 3 * 10^2$ bis $1 * 10^{-2}$
Tonböden	$\approx 4 * 10^{-3}$ bis $1 * 10^{-9}$	$\approx 3 * 10^2$ bis $1 * 10^{-4}$

Tabelle 2 Durchlässigkeitsbeiwerte von wassergesättigten Böden verschiedener Körnungen (Geiger/Dreiseitl, 2009, S. 35 Tab. nach Scheffer/Schachtschabel 2002)

⁸ vgl. Geiger/Dreiseitl, 2009, S.33

⁹ vgl. Geiger/Dreiseitl, 2009, S. 34

Die Spannbreiten der k_f -Beiwerte zeigen die Einflüsse der bereits erwähnten Faktoren auf. Zum Beispiel gilt bei Ton- und Schluffböden mit vielen Sekundärporen (z.B. Trockenrisse) der größere k_f -Wert in Tabelle 2, bei sekundärfreien Ton- und Schluffböden der kleinere Wert.¹⁰

Die o. g. unterschiedlichen Eigenschaften machen eine gründliche Untersuchung des anstehenden Bodens (Bodengutachten) vor der Planung und die sorgfältige Berücksichtigung der erlangten Erkenntnisse durch den Planer unumgänglich.

4.3. Filtergeschwindigkeit und Sickerwassermenge

Die objektbezogene Geschwindigkeit des Wassers im Boden lässt sich als Filtergeschwindigkeit nach dem Gesetz von Darcy bezeichnen.

$$v_f = k_f * i \quad \text{bzw.} \quad v_{f;u} = \frac{k_f}{2} * i$$

Formel 3 Bestimmung Filtergeschwindigkeit für gesättigte und ungesättigte Bodenzone

Hierbei sind

v_f	Filtergeschwindigkeit (der wassergesättigten Zone)	[m/s]
$v_{f;u}$	Filtergeschwindigkeit (der ungesättigten Zone)	[m/s]
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert	[m/s]
i	hydraulisches Gefälle = h/l	[m/m]

Mit Hilfe der Wassergeschwindigkeit im Boden lässt sich die Sickerwassermenge bzw. Versickerungsrate berechnen.

$$Q = v_f * A \quad \text{bzw.} \quad Q_s = v_{f;u} * A$$

Formel 4 Bestimmung Sickerwassermenge/Versickerungsrate

Hierbei sind

Q	Sickerwassermenge	[m³/s]
Q_s	Versickerungsrate nach DWA-A 138	[m³/s]
v_f	Filtergeschwindigkeit (der wassergesättigten Zone)	[m/s]
A	durchströmender Querschnitt/Versickerungsfläche	[m²]

¹⁰ vgl. Geiger/Dreiseitl, 2009, S. 35 nach Scheffer/Schachtschabel 2002

4.4. Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert)

Zusätzlich zur bereits erwähnten Labormethode nach DIN 18130-1 (Permeameter) gibt es weitere Möglichkeiten die Wasserdurchlässigkeit des anstehenden Bodens zu bestimmen.

- Überschlägige Abschätzung mit Hilfe der Bodenansprache nach DIN 4022-1 und existierenden Erfahrungswerten wie z. B. Tabelle 2.
- Labormethode: Bestimmung mit Hilfe der Kornverteilung (Sieblinienauswertung).
- Feldmethode 1: Bestimmung der Infiltrationsrate bzw. -kurve (Versickerungsrate) mit dem Doppelzylinder-Infiltrrometer nach DIN 19682-7. Aus der Infiltrationsrate wird der durchschnittliche Durchlässigkeitsbeiwert abgelesen.
- Feldmethode 2: Bestimmung mit der Bohrlochmethode nach DIN 19682-8
- Feldmethode 3: Auffüllversuche in Bohrlöchern „open-end“-Test

Bei den letzten drei Methoden werden die Infiltrationsrate gemessen und somit die örtlichen Bedingungen wie Körnung, Bodengefüge und Speichervorgängen im Boden berücksichtigt. Deshalb kommen diese Versuche den realen Verhältnissen am nächsten.

Die unterschiedlichen Methoden zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit führen zu unterschiedlichen Ergebnissen, da sie von nicht vergleichbaren Randbedingungen (z. B. gesättigte oder ungesättigte Bodenzone) ausgehen. Für die Bemessung von Versickerungsanlagen sind deshalb nach DWA-A 138 die methodisch-spezifisch ermittelten k -Werte mit Korrekturfaktoren (siehe Tabelle 3) zu multiplizieren. Damit werden die unterschiedlichen Randbedingungen bei der Festlegung des k_f -Beiwerts berücksichtigt.

Bestimmungsmethode		Korrekturfaktor
Abschätzung nach Bodenansprache		1
Labormethoden	Sieblinienauswertung	0,2
	Permeameter (ungestörte Probe, vertikale Probenahme)	1
Feldmethoden		2

Tabelle 3 Korrekturfaktoren zur Festlegung des Bemessungs- k_f -Wertes (DWA-A 138, S. 57)

5. Schadstoffbelastungen und Schadstoffbehandlung

5.1. Schadstoffe im Regenabfluss

5.1.1. Allgemein

Bereits durch das Auswaschen von Staubpartikeln aus der Atmosphäre enthält das Niederschlagswasser anorganische und organische Stoffe. Diese sind u. a. Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, Stickoxide oder Kohlenwasserstoffverbindungen. Diese lagern sich in der Trockenperiode ab und werden dann im Niederschlag gelöst transportiert. Die Emissionen können von weit entfernten Emittenten sowie lokalen Einflüssen im Einzugsgebiet resultieren. Bei Überschreitung bestimmter Konzentrationen können diese Stoffe schädlich für Mensch, Natur und Tier wirken. Sie treten mengenmäßig, örtlich und jahreszeitlich sehr unterschiedlich auf.

Niederschlagswasser enthält vorwiegend Chlorid, Sulfat, Nitrat, Natrium, Kalium, Ammonium, Calcium und Magnesium. Diese Ionen liegen zumeist in Konzentrationen unter 10 mg/l vor. Außerdem ist Niederschlagswasser mit organischen Substanzen, vor allem flüchtigen Verbindungen belastet.

Zusätzlich treten im Niederschlagsabfluss zahlreiche nutzungsbedingte anorganische und organische Stoffe auf¹¹:

- Reinigungs- und Pflanzenschutzmittel
- natürliche organische Ablagerungen: Vegetationsbestandteile, Tierkot
- Dacheindeckungen, Dachrinnen und Fallrohren
(Blei, Cadmium, Kupfer, Zink)
- Reifen- und Bremsbelagabrieb
(Kohlenstoff, Eisen, Schwefel, Chlor, Calcium, Silicium, Natrium, Magnesium, Kupfer, Blei, Cadmium, Barium, Titan, Chrom, Vanadium, Nickel)
- Kraftstoffverbrennung und Tropfverluste
(u. a. PAK, MKW, Blei, Schwefel, Chlor, Magnesium, Natrium, Kupfer, Zink, Stickstoffoxide, Kohlenstoffoxide, Öle, Kraftstoffe, Bremsflüssigkeit, Frostschutzmittel, Fette)
- Stoffe von Katalysatoren
(Platin, Rhodium, Palladium)
- Korrosionsprodukte von Kraftfahrzeugen
(Eisen, Cadmium, Zink, Kupfer)

¹¹ vgl. Hütter, Remmler, 1997

- Fahrbahnabrieb und Auswaschungen
(Titan, Nickel, Silicium, Mangan, Blei, Chrom, Kupfer, Zink, PAK)
- Streugut und Straßenunterhaltung
(Natrium, Chlor, Sulfate, Calcium, Kalium, Magnesium, Tenside, Herbizide)

Letztendlich wären die zu erwartenden Schadstoffkonzentrationen und die Bindungsform dieser Stoffe für jedes Bauvorhaben zu ermitteln. Die Messungen müssen über längere Zeiträume durchgeführt werden, um ein gewogenes Mittel zu erhalten. Der damit verbundene Aufwand steht oftmals in keinem wirtschaftlichen Verhältnis. Bereits bekannte Ergebnisse aus der Literatur bzw. aus der nachfolgenden Tabelle sind bei der Planung hilfreich. Zusätzlich zu diesen Erfahrungswerten sollten projektbezogene Besonderheiten berücksichtigt werden. Zum Beispiel ist bei Industrie- bzw. Gewerbeanlagen eine Analyse der dort zu verarbeitenden Stoffe und deren Auswirkung auf das Grundwasser bei Havariefällen sinnvoll.

Die Tabelle gibt einen Überblick über die zu erwartenden Konzentration bei Straßenabflüssen:

Parameter	Einheit	Anzahl Messprogramme	Minimum	25 % Quantil	Median	75 % Quantil	Maximum
AFS	[mg/l]	10	85	125	155	234	564
CSB	[mg/l]	10	37	77	99	121	141
P _{ges}	[mg/l]	6	0,25	0,29	0,31	0,34	0,49
NH ₄ -N	[mg/l]	10	0,20	0,50	0,60	0,76	2,31
Blei ¹⁾	[mg/l]	10	0,06	0,09	0,18	0,29	0,34
Cadmium	[µg/l]	10	1,0	1,8	3,6	5,5	6,4
Kupfer	[mg/l]	10	0,04	0,07	0,11	0,12	0,14
Zink	[mg/l]	10	0,25	0,33	0,46	0,52	0,62
PAK (TVO)	[µg/l]	7	0,24	2,08	2,54	2,79	3,39
PAK (EPA)	[µg/l]	2	4,4	-	5,2	-	5,98
MKW (H18) ²⁾	[mg/l]	8	0,02	0,21	1,44	4,75	7,02
pH-Wert	[-]	4	7,1	7,1	7,35	7,6	7,6
Anmerkungen							
1) Bleikonzentration ist durch das bleifreie Benzin gesunken: Mittelwert Messprogramme seit 1993: 0,08 mg/l							
2) In den jüngsten Messprogrammen an der BAB A4 und BAB A59 ist eine deutliche Abnahme der MKW zu verzeichnen, die dort bei < 0,1 mg/l bis 0,25 mg/l liegt							

Tabelle 4 Mittlere frachtgewogene Konzentrationen im Straßenabfluss verschiedener Messprogramme
(Kommentar DWA-A 138 S.18)

Wegen ihrer humantoxikologischen und ökotoxikologischen Relevanz sind besonders die Schwermetalle, die Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und die Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) bei der potenziellen Grundwasserbeeinträchtigung zu nennen.

Zu beachten sind die unterschiedlichen Bindungsformen von Schadstoffen im Straßen- und Dachabfluss. Während im Straßenabfluss die Stoffe zum Großteil partikulär gebunden sind und nur ein geringer Teil gelöst ist, treten die meisten Schadstoffe in Dachabflüssen in gelöster Form auf.

Die pH-Werte des Niederschlagswassers liegen in Deutschland im Allgemeinen im sauren Bereich (0 bis 6). Niederschlagsabflüsse hingegen haben pH-Werte im schwach sauren bis neutralen Bereich (5 bis 7). Die Ursache hierfür ist in den Oberflächen wie z. B. Dacheindeckungen aus Betondachsteinen, Betonkanalrohre, betonierte Flächen, carbonathaltige Stäube, zu finden. Auf die Bedeutung der pH-Werte bei der Versickerung wird in Abschnitt 6.2.2 eingegangen.

5.1.2. Grenzwerte von Schadstoffen in Sicker- und Grundwasser

Grundwasser gilt als „nicht verunreinigt“, wenn im oder durch das Grundwasser keine ökotoxikologischen Wirkungen auftreten können und wenn die Qualität des Wassers den Anforderungen der Trinkwasserverordnung entspricht.

In der **Anlage 6** sind Konzentrationswerte aus verschiedenen Vorschriften bezüglich der Wasserqualität gegenüber gestellt. Dabei sind folgende Definitionen bzw. Bedeutungen der Werte zu beachten:

Grenzwerte TrinkwV 2001:

Werte zur Gewährleistung der Genusstauglichkeit und Reinheit von Trinkwasser, welche nicht überschritten werden dürfen.

Normal- und Mindestanforderungen DVGW:

Werte als Anforderung für die Eignung von Wasser aus Fließgewässern als Rohstoff für die Trinkwasserversorgung, welches aufbereitet wird.

→ Normalanforderungen = Aufbereitung im natürlichen Verfahren

→ Minimalanforderungen = Aufbereitung im physikalisch-chemischen Verfahren

Richtwert DWA M 115:

Anforderungen für Einleitung nicht häuslichen Abwassers in öffentliche Abwasseranlagen.

Geringfügigkeitsschwelle LAWA / Prüfwert BBodschV:

Grenze, bei welcher eine Grundwasserverunreinigung vorliegt bzw. bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung der Bodennutzung eine einzelfallbezogene Prüfung durchzuführen und festzustellen ist, ob eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast vorliegt.

Die Prüfwerte der BBodschV aus **Anlage 6** gelten am Übergang von der ungesättigten zur gesättigten Bodenzone (Ort der Beurteilung), also beim Übergang des Sickerwassers in das Grundwasser. Im BBodschG werden Kapillar- und Sickerwasser in der ungesättigten Bodenzone als Teil des Bodens angesehen und unterliegen somit den Regelungen dieses Gesetzes. Für eine vorsichtige Auswertung können diese Prüfwerte als Grenzwerte für den Regenwasserabfluss angewendet werden.

In der **Anlage 6** sind bei einzelnen Parametern unterschiedliche Anforderungen bei den Werten nach LAWA und BBodschV enthalten. Diesbezüglich sollten im Zweifelsfall die zuständigen Behörden, z. B. untere Wasserbehörde, für eine Anweisung zur weiteren Verfahrensweise herangezogen werden.

5.1.3. Bewertung von Regenwasserabflüssen nach DWA-A 138

Nach Arbeitsblatt DWA-A 138 werden Regenabflüsse hinsichtlich der Schadstoffkonzentration und Beeinflussung des Grundwassers wie folgt untergliedert:

- **Unbedenkliche Niederschlagsabflüsse** können ohne Vorbehandlung durch die ungesättigte Zone versickert werden. Dennoch besitzen diese Abflüsse geringfügige Stoffkonzentration, die keine schädlichen Auswirkungen haben.
- **Tolerierbare Niederschlagsabflüsse** können nach geeigneter Vorbehandlung oder unter Ausnutzung der Reinigungsprozesse in der Versickerungsanlage versickert werden.

- **Nicht tolerierbare Niederschlagsabflüsse** „sollten in das Kanalnetz eingeleitet oder nur nach einer geeigneten Vorbehandlung versickert werden“.¹²

Die Prüfwerte der BBodschV und Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA wurden dabei für das Sickerwasser im Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Zone berücksichtigt.

In **Anlage 7** aus dem Merkblatt DWA-A 138 wird eine Zuordnung zwischen den abflussliefernden Flächen und der zu erwartenden Belastung entsprechend den o. g. Kategorien vorgenommen. „Ihr liegen die bislang veröffentlichten Messergebnisse zu Stoffkonzentrationen in Niederschlagsabflüssen und im Grundwasser zugrunde“.¹³

Diese Tabelle berücksichtigt im Wesentlichen

- die hydraulische Belastung,
- die Belastung aus der Luft (Zusatzinformationen zum Umfeld),
- die erfahrungsgemäß zu erwartende Reinigungsleistung der Versickerungsanlagen,
- die Nutzung der Flächen und
- die Verkehrsbelastung (DTV-durchschnittlich tägliche Verkehrsstärke) bzw. Frequentierung der Fläche incl. der davon abhängigen Unfallwahrscheinlichkeit.

Es ist im Einzelfall jedoch immer notwendig die Tolerierbarkeit von Abflüsse nach branchen-, orts- und nutzungsspezifischen Gesichtspunkten genau zu prüfen sowie Versickerungs- und evtl. Vorbehandlungsanlagen projektbezogen auszuwählen.

5.1.4. Bewertung von Regenwasserabflüssen nach DWA-M 153

Ein anderes Verfahren Regenabflüsse zu bewerten bietet das Merkblatt DWA-M 153. Hier erfolgt die Bewertung nach einem Punktesystem. Im Ergebnis kann die Notwendigkeit und der Umfang einer Behandlungsanlage abgeschätzt werden.

Hierbei ist, wie auch bei dem Verfahren nach DWA-A 138, zu beachten, dass die Ergebnisse keine unumstößliche Grundlage zur Planung einer Regenwasserbehandlungsanlage darstellen. Sie müssen projektbezogen hinterfragt und die Bemessung individuell durchgeführt werden.

¹² DWA-A 138, S. 12

¹³ DWA-A 138, S. 12

Grundlage des Verfahrens:

Ist der Regenabfluss aus der Summe der Einleitungen eines Siedlungsgebietes stärker belastet, als dem Schutzbedürfnis des aufnehmenden Gewässers angemessen ist, so muss er vor der Einleitung ausreichend gereinigt werden.

Emissionswert $E \leq$ Gewässerpunktezahl G (**Anlage 8**)

Der Emissionswert E von abflusswirksamen Flächen ergibt sich aus der Verschmutzung des abfließenden Regenwassers (Abflussbelastung B) multipliziert mit dem Durchgangswert D der Behandlungsmaßnahme. „Findet keine Regenwasserbehandlung statt, wird der Durchgangswert $D = 1$ “.¹⁴

$$E = B \cdot D$$

mit:

E Emissionswert

B Abflussbelastung

D Durchgangswert (**Anlagen 9 + 10**)

Formel 5 Bestimmung Emissionswert

Die Abflussbelastung B setzt sich aus Einflüssen aus der Luft L_i und der Verschmutzung der befestigten Flächen F_i zusammen. Unterschiedlich genutzte Flächen, $A_{u,i}$, werden entsprechend ihrem Anteil f_i an der Gesamteinzugsfläche A_u einer Behandlungsanlage gewichtet:

$$B = \sum f_i (L_i + F_i)$$

mit

$$f_i = A_{u,i} / \sum A_{u,i}$$

L = Einflüsse aus Luft (**Anlage 11**)

F_i = Einflüsse aus Verschmutzung befestigte Fläche (**Anlage 11**)

Formel 6 Bestimmung Abflussbelastung

Die so ermittelte Abflussbelastung B des Regenwassers wird mit den Gewässerpunkten G verglichen. Ist B größer als G , so ist die Notwendigkeit einer Regenwasserbehandlung i. d. R. gegeben:

¹⁴ DWA-M 153, S. 16

- $B > G$ in der Regel ist eine Behandlung erforderlich,
 $B \leq G$ keine Behandlung erforderlich.

Die Durchgangswerte D von Behandlungsmaßnahmen sind unterschiedlich hoch. Wird die maximal zulässige Restverschmutzung nach einer Behandlung auf das angenommene Schutzbedürfnis des Grundwassers oder oberirdischen Gewässers abgestimmt, so ergibt sich für den größten zulässigen Durchgangswert:

$$D_{\max} = \text{Gewässerpunkte } G / \text{Abflussbelastung } B.$$

Formel 7 Bestimmung maximal zulässiger Durchgangswert

„Die Durchgangswerte D sind Kenngrößen, mit deren Hilfe eine vergleichende Wertung einzelner Behandlungsmaßnahmen möglich wird. Sie haben keine physikalische oder chemisch-biologische Grundlage, mit der auf eine messbare Reinigungsleistung einer Behandlungsanlage geschlossen werden könnte. Dazu ist die Wirkung beim Rückhalt einzelner Stoffe zu unterschiedlich“.¹⁵

Jedoch kann pauschal festgestellt werden, dass mit abnehmendem Durchgangswert die Ansprüche an die Reinigungsleistung zunimmt, da die Belastung durch Schadstoffe ebenfalls steigt.

In **Anlage 11** sind für die einzelnen Oberflächen Nutzungen und Beschaffenheiten aufgelistet, die im Allgemeinen einen bestimmten Verschmutzungsgrad zur Folge haben. Grundlage für die Zuordnung sind die tatsächlichen und die geplanten Nutzungen der Flächen, ggf. auch die Merkmale des Einzugsgebietes anhand der Bauleitplanung. Begründete abweichende Zuordnungen sind zulässig. Zur groben qualitativen Bewertung können drei Bereiche unterschieden werden:¹⁶

- geringe Belastung = 1 bis 15 Punkte
- mittlere Belastung = 16 bis 30 Punkte
- starke Belastung = 31 bis 45 Punkte

Die Verdünnung oder Vermischung von Abwasser mit deutlich unterschiedlicher Verschmutzung ist unerwünscht und ersetzt nicht eine eventuell notwendige Vorbehandlung. Bei der Ermittlung der Behandlungsbedürftigkeit darf sie nur

¹⁵ DWA-M 153, S. 15 nach Golwer 1991

¹⁶ DWA-M 153, S. 14

eingeschränkt berücksichtigt werden. Im Bewertungsverfahren dürfen daher grundsätzlich nur vier benachbarte Flächentypen, z. B. F2, F3, F4 und F5 miteinander kombiniert werden, wenn das Wasser derselben Regenwasserbehandlungsanlage zugeführt werden soll (siehe Anlage 11). „Bei der Feststellung der maßgebenden Abflussbelastung einer Mischfläche, in der auch stark verschmutzte Flächen (F6) enthalten sind, müssen die gering belasteten Flächen F1 und F2 außer Acht bleiben. Dies gilt auch bei der Ermittlung der Einzelflächenanteile und der Summenbildung nach Formel 6“.¹⁷

5.2. Schadstoffe im Boden

5.2.1. Allgemein

Es ist sicherzustellen, dass sich im hydraulischen Einflussbereich keine Verunreinigungen befinden, z. B. Altlasten. Im Zweifelsfall ist durch eine geeignete Vorerkundung nachzuweisen, dass keine anthropogenen (durch den Menschen verursacht) oder geogenen (erdgeschichtliche Ursachen) Stoffanreicherungen mit hohem Freisetzungspotenzial in die geplante Maßnahme einbezogen werden.

Speziell im innerstädtischen Bereich finden sich Bauschutt aus dem industriellen und gewerblichen Bereich ebenso wie Schlacken, Aschen und sonstige Abfälle, die zum Teil mit erheblichen Anteilen von Schadstoffen belastet sind.

Im Zweifelsfall oder bei konkreten Vermutungen müssen im Vorfeld der Planung Informationen zum Beispiel aus Bau- und Flächennutzungsplänen, Altlastenkataster oder aus Befragungen der Firmen und Behörden gesammelt und ausgewertet werden. Anschließend ist eine detaillierte Untersuchung auf Schadstoffe (Bodengutachten bzw. Bodenanalyse) durch einen Sachverständigen notwendig, um eine Beurteilung hinsichtlich des Gefahrenpotentials für das Grundwasser zu erstellen.

5.2.2. Grenzwerte von Schadstoffbelastungen in Böden

Nach der aktuellen Fachliteratur, wie z. B. GEIGER/DREISEITL oder WIEDERSPAHN,M., ist eine genaue quantitative Abschätzung der Reinigungsleistung von Böden wegen der heterogenen Untergrundbeschaffenheit und den komplizierten Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Reaktionen

¹⁷ DWA-M 153, S. 14

nicht möglich. Deshalb ist eine Analyse der leicht mobilisierbaren Schadstoffe, die die größten ökologischen Auswirkungen haben, besser als die Bestimmung der Gesamtgehalte aller Schadstoffe im Boden.¹⁸

Die Löslichkeit der Schwermetalle hängt vor allem vom pH-Wert der Sickerwässer bzw. Böden ab. Der pH-Wert (Säuregrad) beschreibt die Konzentration an Säure H_3O^+ in einer Lösung, die als Resultat der Reaktion zweier H_2O -Molekülen neben der Base OH^- entsteht. Bei niedrigen pH-Werten können bei sonst gleicher Bodenbeschaffenheit im Allgemeinen deutlich weniger Schwermetalle im Boden gebunden werden als bei höheren pH-Werten. Innerhalb eines pH-Wert-Bereiches von 6 bis 8 sind die meisten Schwermetalle im Boden wenig mobil. Cadmium beispielsweise wird bereits ab pH-Werten von 6 löslich, Blei hingegen erst unterhalb eines pH-Wertes von 4 (siehe Tabelle 5).

Für die Beurteilung von Schadstoffbelastungen im Boden können die in **Tabelle 5** angeführten Vorsorgewerte aus der BBodSchV verwendet werden.

Hierbei handelt es sich um Bodenwerte (Feststoffwerte), „bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht.“¹⁹

¹⁸ vgl. Geiger/Dreiseitl, 2009, S.41 nach Golwer 1991

¹⁹ § 8 BBodSchG 1998

Böden	Cadmi- um	Blei	Chrom	Kupfer	Queck- silber	Nickel	Zink
	in mg/kg Trockenmasse für Feinboden						
Bodenart Ton	1,5	100	100	60	1	70	200
Bodenart Lehm/ Schluff	1	70	60	40	0,5	50	150
Bodenart Sand	0,4	40	30	20	0,1	15	60
Böden mit naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrund- gehalten	unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge nach § 9 Abs. 2 und 3 BBodschV keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen						
Grenz-pH Werte in Böden für Löslichkeit von Schwermetallen nach Kommentar DWA- A 138	6	4	4,5	4,5	-	5,5	5,5
Bei Böden mit pH-Wert < 6 gelten für Cd, Ni, Zn die Vorsorgewerte der jeweils nächstniedrigeren Bodenart Bei Böden mit pH-Wert < 5 gilt für Blei der Vorsorgewert der jeweils nächstniedrigeren Bodenart							

Tabelle 5 Vorsorgewerte für Metalle – max. zulässige Belastung

(eigene Darstellung in Anlehnung an BBodschV, Anhang 2, Absatz 4, 1999)

Böden	Polychlorierte Biphenyle (PCB₆)	Benzo (a)pyren	Polycycl. Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK₁₆)
	in mg/kg Trockenmasse für Feinboden		
Humusgehalt > 8%	0,1	1	10
Humusgehalt ≤ 8%	0,05	0,3	3

Tabelle 6 Vorsorgewerte für organische Stoffe

(BBodschV, Anhang 2, Absatz 4, 1999)

In diesem Zusammenhang dürfen die nachfolgenden zulässigen Zusatzbelastungen und Anforderungen zur Vermeidung oder Verminderung von Stoffeinträgen nicht überschritten werden.

Element	Fracht (g/ha x a)
Blei	400
Cadmium	6
Chrom	300
Kupfer	360
Nickel	100
Quecksilber	1,5
Zink	1200

Tabelle 7 Zulässige zusätzliche jährliche Frachten an Schadstoffen

(BBodschV, Anhang 2, Absatz 5, 1999)

Diese Werte gelten für alle Wirkungspfade der BBodschV („= Weg eines Schadstoffs von der Schadstoffquelle bis zu dem Ort einer möglichen Wirkung auf ein Schutzgut“²⁰):

- Boden-Mensch (direkter Kontakt)
- Boden-Pflanze
- Boden-Grundwasser

²⁰ Schneider, 18. Auflage, S. 13.142

Sinnvoll ist jedoch auch die Überprüfung des anstehenden Bodens im Eluat mit den Prüfwerten der BBodschV aus **Anlage 6**. Dabei gelten auch hier die Werte am Übergang von der ungesättigten zur gesättigten Bodenzone.

5.3. Schadstoffabbau im Boden

Die Reinigungsleistung von Böden basiert auf folgenden Vorgängen:

- **Filtration**

Feststoffe werden zum einen an der von Vegetation bedeckten Oberfläche abgelagert (Oberflächenfilter). Weiterhin werden partikulär gebundene Schadstoffe mechanisch im Boden gebunden, indem sie in den Mittel- und Feinporen zurückgehalten werden. Vor allem sandige bis sandig-schluffige Böden sind für eine mechanische Filterung geeignet.

Gefiltert werden insbesondere die in Niederschlagsabflüssen häufig partikulär gebundenen Teile des Phosphats, der Schwermetalle und auch der hydrophoben PAK.

- **Adsorption**

Physikalische Kräfte bewirken, dass sich gasförmige und gelöste Stoffe an der Oberfläche von Böden anhaften und dort anreichern. Unterschieden wird zwischen der spezifischen Adsorption, bei welcher die Stoffe relativ fest im Boden vorliegen, und der unspezifischen Adsorption an der Oberfläche, bei der die Mobilisierung von Stoffen in die Bodenlösung möglich ist.

„Bei der Adsorption ist die freie Oberfläche des Bodenskeletts von Bedeutung, die durch Tonminerale, Eisen- und Manganhydroxide sowie Huminstoffe und mikrobielle Schleime gebildet wird. Da Fe-, Al- und Mn-Oxide vor allem die Tonmineraloberfläche bedecken, weisen Böden mit hohen Tongehalten in der Regel hohe Pufferkapazitäten für Schwermetalle auf.“²¹

Wie bereits im Abschnitt 6.2.2 erwähnt, ist die Adsorption von Schwermetallen vom pH-Wert abhängig. Sinkt dieser im Filtermaterial, so bewirkt dies eine Remobilisierung sowie den Austrag von zuvor adsorbierten Schwermetallen und verhindert eine Anhaftung von neu hinzukommenden Schwermetallen aus dem Sickerwasser.

²¹ Geiger/Dreiseitl, 2009, S. 40

- **Chemische Vorgänge**

Steht freier gelöster Sauerstoff im Boden zur Verfügung, so fallen schwerlösliche Verbindungen (u. a. Metalloxide und –hydroxide) aus. Für die Reinigung spielen anorganische Komplexbildner mit Schwermetallen eine wichtige Rolle, um diese als metallorganische Komplexe zu binden (immobilisieren).

Bei der Komplexbildung gruppiert sich eine bestimmte Anzahl von Molekülen oder Ionen in einer definierten geometrischen Anordnung um ein zentrales Metallatom bzw. –ion. Es entsteht eine komplexe Baugruppe, die auch bei Dissoziation (lat. dissociato Trennung) der Verbindung in wässriger Lösung als solche erhalten bleibt.²²

Je höher der Humusgehalt eines Bodens ist, desto stärker ist sein Vermögen, Metalle in metallorganische Komplexe zu immobilisieren.

Weiterhin sind organische Komplexe an der Dekontamination von Schadstoffen beteiligt. Beim Abbau von Vegetationsresten und organischen Abfällen werden organische Komplexbildner freigelegt, bei mikrobiellen Stoffwechselvorgängen gebildet und von Pflanzenwurzeln ausgeschieden.²³

- **Biologische Vorgänge**

Entsprechend dem Sauerstoffgehalt werden organische Schadstoffe durch Bakterien und Pilze im Boden mittels Umwandlung in anorganische Substanzen abgebaut. Die Endprodukte sind Kohlenstoffdioxid und Wasser. Auch Pflanzen können durch Ihre Wurzeln Schadstoffe wie Cadmium, Kupfer, Nickel und Zink dem Boden entziehen. Hohe Konzentrationen an Schwermetallen können die mikrobiellen Lebewesen im Boden langfristig und dauerhaft schädigen. Der pH-Wert des Bodens sowie der Ton- und Humusanteil beeinflussen die Toxizität ebenso.²⁴

Im Gegensatz zu den Schwermetallen, werden organische Stoffe von Böden also nicht nur adsorbiert und gepuffert, sondern von den Bodenorganismen auch umgewandelt und abgebaut.

Bei der Bodenpassage können partikulär gebundene Stoffe allein durch die Filtrationswirkung des Bodens besser zurückgehalten werden als gelöste

²² vgl. Benedix, 2008, S. 173

²³ vgl. Geiger/Dreiseitl, 2009, S.40 nach Golwer 1991

²⁴ vgl. Geiger/Dreiseitl, 2009, S.40 nach Golwer 1991

Inhaltsstoffe. Damit sind Straßenabflüsse mit hohen Gehalten an partikulär gebundenen Stoffen bei ähnlicher Konzentration besser zu reinigen als Dachabflüsse mit hohen gelösten Stoffanteilen.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass bindige Böden besser zum Schadstoffrückhalt geeignet sind als grobkörnige Böden. Eine grobe Bodenstruktur lässt das Wasser schnell durch die Porenkanäle fließen, weshalb gelöste und feinkörnig suspendierte Stoffe nicht genügend Zeit haben, sich an die Bodenpartikel anzulagern. Ein verringerter Schadstoffrückhalt kann aber auch bei bindigen Böden auftreten, wenn diese mit vielen Klüften oder Sekundärporen (Schrumpfrisse, Wurm- und Wurzelgänge) durchsetzt sind (z. B. bei hohen Ton- und Schluffanteilen).

5.4. Anlagen zum Schadstoffabbau

5.4.1. Notwendigkeit und allgemeine Hinweise

Entspricht die Qualität des einzuleitenden Niederschlagswassers nicht den o. g. Anforderungen zum Schutz des aufnehmenden Gewässers bzw. der vorgesehenen Nutzung des Grundwassers, so ist eine Vorbehandlungsanlage notwendig. Sie ist auch notwendig, wenn die unterirdische Versickerungsanlage vor Kolmation durch mitgeführte Schwebstoffe geschützt werden soll.

Jeder Vorbehandlung von Regenwasser liegen eine oder mehrere der folgenden Funktionsprinzipien zugrunde:

- Sedimentation
- Filtration
- Sorption
- Leicht- und Schwebstoffabscheidung
- Biochemischer Abbau in der belebten Bodenzone beziehungsweise in der Schlammschicht am Boden von Versickerungs- bzw. Absetzbecken

Die Gestaltung und Funktionsweise der Behandlungsanlage sollte den übrigen Anlagenbestandteilen angepasst sein und sich ggf. in die Freiflächengestaltung einfügen.

5.4.2. Belebte Bodenzone: Bodenpassagen und Gründach

Auch beim Versickern wird von einer Behandlungsmaßnahme gesprochen, wenn das Niederschlagswasser ausreichend mächtige Bodenschichten passiert.

Die Form der Vorreinigung ist bei Flächen-, Mulden- und Mulden-Rigolen-Versickerung gegeben.

Eine andere Möglichkeit für diese Art der Reinigung ist das Gründach. Hierbei wird das Regenwasser durch Bepflanzung auf speicherfähigem Substrat zwischengespeichert und gereinigt. Dabei reduziert es gleichzeitig Schadstoffe in der Luft und reichert Sauerstoff an. Im Dachgeschoß des Hauses wird die Temperatur reguliert. Die zusätzlichen Auflasten sind in der Bauwerksstatik zu berücksichtigen. Eine ausreichende Abdichtung auf dem Dach muss gewährleistet werden.

Der bewachsene Oberboden weist eine deutlich wirksamere Reinigungsleistung als eine unbewachsene Bodenzone auf. Dort finden durch die Auflockerung im Wurzelbereich ein erhöhter Abbau und eine Adsorption verschiedener Schmutzstoffe statt. Die belebte bzw. bewachsene Bodenzone ist die obere Bodenschicht (Oberboden oder auch Mutterboden), welche in der Regel bis zu 20 cm dick ist.

„Filtrations- und Adsorptionsprozesse laufen zwar auch in tieferen Bodenschichten ab. Für den Abbau der meisten organischen Schadstoffe und für den Abbau sauerstoffzehrender Substanzen ist jedoch eine ausreichende Bodenbelüftung notwendig. Diese ist an der Bodenoberfläche höher als in größeren Bodentiefen.“²⁵ In diesem Zusammenhang ist bei der Bemessung auf eine regelmäßig trocken fallende Versickerungsanlage zu achten und ein Dauerstau (z. B. zu klein bemessene Mulde) zu vermeiden. Damit wird die notwendige Belüftung des Oberbodens gewährleistet.

Zwischen Oberkante Oberboden und dem mittleren höchsten Grundwasserstand sollte die Dicke der ungesättigten Bodenschicht mindestens 1 m betragen. Somit wird die Nutzung des Bodens als Filter zur Regenwasserbehandlung gesichert.

Die Dicke des Sickerraums sollte bei hoher Belastung der Niederschlagsabflüsse möglichst groß sein, da die Reinigungsleistung bei zeitabhängigen Reinigungsvorgängen (biologischer und chemischer Abbau) mit zunehmender Verweildauer im Boden steigt. Zum Beispiel sind Straßendämme dafür gut geeignet.

²⁵ Kommentar DWA-A 138, S. 23

Für eine gute Reinigung der Niederschlagsabflüsse ist auch die Durchlässigkeit des Bodens relevant. Bei k_f -Werten größer $1 * 10^{-3} \text{ m/s}$ sickern die Abflüsse so schnell dem Grundwasser zu, dass keine ausreichende Aufenthaltszeit zur Reinigung der Sickerwassers gewährleistet wird. Sind die k_f -Werte kleiner als $1 * 10^{-6} \text{ m/s}$, wird die Reinigungsleistung ebenfalls negativ beeinflusst, da ein Dauerstau im Sickerraum entsteht und der Boden nicht ausreichend belüftet wird.

Die Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung kann in Abhängigkeit der Durchlässigkeit des Bodens nach **Anlage 12** ermittelt werden.

Bezüglich der Einflussnahme durch die Körnung eines Bodens wird auf den Abschnitt 6.3 verwiesen.

Wie bereits schon in den Abschnitten 6.2.2 und 6.3 angesprochen, wirken sich pH-Wert, Ton- und Humusgehalt im Boden auf die Reinigungswirkung aus. Demnach kann es sinnvoll sein, wenn z. B. im Rahmen einer sowieso notwendigen Bodenbewegung eine Zumischung von Kalk, Humus oder Ton erfolgt. Dabei sind die Auswirkungen auf die Bodendurchlässigkeit zu beachten. Nach DWA-A 138 und DWA-M 153 sollte der natürliche Oberboden folgende Werte aufweisen:

- pH-Wert 6-8
 - o Um den pH-Wert eines Oberbodens auf > 6 einzustellen, kann die Zugabe von Kalk erfolgen. Empfohlen wird im Kommentar zum Arbeitsblatt DWA-A 138 die Zugabe von Hütten- oder Dolomitmalk mit Korngröße $< 2 \text{ mm}$ ($60\% < 0,125 \text{ mm}$).
 - o Leicht lösliche Kalke sind nicht ratsam, da diese schnell als Hydrogenkarbonat wieder ausgewaschen werden.
- Humusgehalt 1% bis 3%
 - o Bei Einhaltung dieser Obergrenzen wird ein Nährstoffaustrag durch verstärkte Mineralisierung der organischen Substanzen verhindert.
- Tongehalt unter 10%
 - o Bei höheren Gehalten besteht die Gefahr der verringerten Bodendurchlässigkeit sowie der Ausbildung eines Grobporengefüges (siehe Abschnitt 6.3)

- o Bei Zugabe in sandige Böden vermischt sich der Ton nicht homogen. Die Sandkörner verklebt er zu Kügelchen (Rollaggregate); eine gleichmäßige Durchströmung des Bodens ist nicht mehr gegeben.

Fein- und Mittelsande sind ein guter Kompromiss zwischen hydraulischer Leitfähigkeit und Filterwirkung. Oberböden aus grobsandigem und kiesigem Material sind nicht geeignet.

Je höher die hydraulische Belastung einer Versickerungsanlage mit belebter Bodenzone ist, desto höher ist auch die eingetragene Stofffracht. Böden weisen aber gerade gegenüber nicht abbaubaren Stoffen (z. B. Schwermetalle) ein endliches Aufnahmevermögen auf.

$A_u : A_s < 5$	Belastung hydraulisch und stofflich: gering; i. d. R. breitflächige Versickerung; hoher Grundwasserschutz
$5 < A_u : A_s < 15$	Belastung hydraulisch und stofflich: mittel; i. d. R. dezentrale Flächen- und Muldenversickerung sowie Mulden-Rigolen-Elemente; Grundwasserschutz z. T. nur mit weiterer Vorbehandlung
$A_u : A_s > 15$	Belastung hydraulisch und stofflich: hoch; i. d. R. zentrale Mulden- und Beckenversickerung; Grundwasserschutz nur mit Vorbehandlung
A_u = undurchlässige Fläche A_s = versickerungswirksame Fläche	

Tabelle 8 Bewertung der stofflichen Belastung anhand der hydraulischen Belastung
(eigene Darstellung in Anlehnung an DWA-A 138, S.14)

Grundsätzlich sind immer hydraulisch gering belastete dezentrale Versickerungsanlagen (siehe Abschnitt 5.2, 5.3, 5.4) mit Oberbodenpassage allen anderen vorzuziehen.

Dennoch sollten die bei hohen Schadstoffkonzentrationen angereicherten Stoffe in regelmäßigen Abständen (z. B. alle 10 Jahre) entfernt werden, indem z. B. das Bankettmaterial von Straßen abgeschält wird. Dies trägt dazu bei, die Funktion des Bodens als Filter, Puffer und Transformator zu erhalten.

5.4.3. Biologische Vorbehandlung von Regenwasserabflüssen

5.4.3.1. Absetzteiche und Absetzbecken

Eine gezielte biologische Behandlung wird durch Teichanlagen mit Bepflanzung und Vegetationspassagen realisiert. Dabei erfolgt die Behandlung in Verbindung mit mechanischen Verfahren. Ähnlich wie in der belebten Bodenzone, findet in der Schlammschicht am Boden von Absetzbecken ein Abbau von organischen Schadstoffen statt. Im Wasser gelöste Stoffe werden durch den Pflanzenbestand zum Teil abgebaut. Partikel $> 0,1 \text{ mm}$ setzen sich am Beckenboden ab (Sedimentation).

Die Absetzteiche dienen gleichzeitig der Rückhaltung von Niederschlagsabflüssen (siehe Abschnitt 5.7). Sie sind gegen den Untergrund abgedichtet und besitzen einen Ab- bzw. Überlauf. Dieser mündet z. B. in einer Versickerungsanlage. Durch die anschließende Versickerung mit Bodenpassage erfolgt dann die Reinigung der noch übrigen im Wasser gelösten Schadstoffe. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichend mächtige Bodenschicht zwischen Beckenboden und Grundwasserspiegel (siehe Abschnitt 6.4.2).

Zur Anwendung kommen diese Anlagen bei Niederschlagswasser mit hohem Anteil an absetzbaren Stoffen vor der Versickerung sowie bei nicht ausreichendem Platz für eine Flächenversickerung.

Weitere Merkmale von Absetzteichen:

- a.) Der Platzbedarf ist trotzdem nicht gering, weshalb sie häufig in Randgebieten mit entsprechender Flächenverfügbarkeit anzutreffen sind.
- b.) Der Wartungsaufwand ist hoch und die Zugänglichkeit muss zu jeder Zeit gewährleistet sein.
- c.) Bei diesen Anlagen ist ggf. eine Einfriedung notwendig, da sie eine Unfallgefahr für spielende Kinder sein können.
- d.) Die Möglichkeit zur Klimaverbesserung und Freiraumgestaltung in Stadt- und Siedlungsgebieten sowie die Möglichkeit zur Rückhaltung (Retention) von Niederschlagsabflüssen sind weitere Merkmale von Absetzteichen.
- e.) Diese Anlagen sind mit weiteren Behandlungsanlagen kombinierbar.

Die Größe und das Volumen eines Absetzteiches hängen vor allem von der angeschlossenen befestigten Fläche, der hydraulischen Belastung und dem Korndurchmesser der abzusetzenden Stoffe und der davon abhängigen Absinkgeschwindigkeit ab. Je größer die angeschlossene Fläche und je kleiner die Korndurchmesser, desto größer wird die benötigte Teich- bzw. Beckenfläche.



Bild 21

Ausführungsbeispiel Absetzbecken mit Tondichtung und Ölsperre

(C.T.G. – BV: RRB Barsbüttel)

→ Vorreinigung (Absetzung, biologische Reinigung, Leichtstoffrückhaltung) und Regenwasserrückhaltung



Bild 22

Ausführungsbeispiel Absetzbecken mit Tondichtung

(C.T.G. – BV: RRB Günthersdorf)

→ Vorreinigung (Absetzung, Leichtstoffrückhaltung) und Regenwasserrückhaltung

5.4.4. Physikalische Vorbehandlung von Regenwasserabflüssen

5.4.4.1. Allgemein

Bei dieser Art der Vorbehandlung handelt es sich im Wesentlichen um die Sedimentation von Feststoffen sowie von gelösten Schadstoffen, da diese sich an den absinkenden Schwebeteilchen anlagern. Zusätzlich können, je nach Anlagenart, auch gelöste Schadstoffe wie Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe gefiltert werden. Eine Rückhaltung von leichtflüssigen Substanzen (z. B. Benzin oder Öl) ist ebenfalls möglich.

Vorgänge wie die Sedimentation benötigen Zeit. Gerade die schadstoffbelasteten Feinstpartikel sinken langsam zu Boden. Deshalb sind die Fließgeschwindigkeit zu reduzieren und ein ausreichendes Speichervolumen in Abhängigkeit zur der zu entwässernden Fläche zu schaffen, um diese Prozesse sicherzustellen.

Grundsätzlich ist besonders bei der Sedimentation darauf zu achten, dass möglichst keine Turbulenzen des Wassers auftreten. Diese bewirken eine Aufwirbeln der bereits abgesetzten Schadstoffe und das Einspülen in die nachgeschaltete Versickerungsanlage. Eine Kolmation und die daraus folgende Abnahme der Sickerleistung der Anlage ist dann die Folge. Turbulenzen treten speziell am Ein- und Ablauf der Behandlungsanlage auf und müssen durch konstruktive Maßnahmen, wie eine Prallplatte (siehe Bild 23) minimiert werden.

5.4.4.2. Absetzschächte

Absetzschächte werden unterirdisch eingebaut und nutzen die Schwerkraft, um gebundene Schadstoffe aus dem zwischengespeicherten Regenwasser abzuscheiden. Das Sediment lagert sich im unteren Teil der Sedimentationsanlage ab. Durch Dauerstaubetrieb bleibt das Sediment in der Schlammphase. Damit ist die Reinigung der Anlage mit herkömmlicher Spül- und Absaugtechnik möglich. Reicht die Sedimentation der partikular gebundenen Schadstoffe nicht aus, um die für eine Versickerung akzeptablen Grenzwerte zu unterschreiten, können auch Schwimm- und Leichtstoffe aus dem Niederschlagswasser mittels Tauchwand oder Siebplatten zurückgehalten werden.

Weitere Merkmale von Absetzschächten:

- a.) Sehr geringer Flächenbedarf und somit minimale Nutzungsbeschränkungen des Grundstücks.
- b.) Hoher Wartungsaufwand wegen der geringen Speicherkapazitäten.
- c.) Die Sedimentation bezieht sich auf Stoffe $\geq 0,1$ mm Korndurchmesser.
- d.) Es findet kein Abbau von organischen Schadstoffen statt.
- e.) Die Absetzschächte sind mit weiteren Behandlungsanlagen kombinierbar.

- f.) Sie können je nach Bauart, Größe und Abflussbelastung (hydraulisch und stofflich) für Kleinflächen von 50 m² bis hin zu Großflächen von 3000 m² eingesetzt werden.
- g.) Jedoch sind gegenüber Absetzbecken nur geringe hydraulische Belastungen möglich.

Bei der Dimensionierung des Absetzvolumens spielen die hydraulische Belastung und die Belastung des Zuflusses sowie der gewünschte Sedimentationsgrad eine entscheidende Rolle. Je größer die angeschlossene Fläche und je höher der Sedimentationsgrad, desto größer wird das notwendige Volumen des Absetzschachtes.

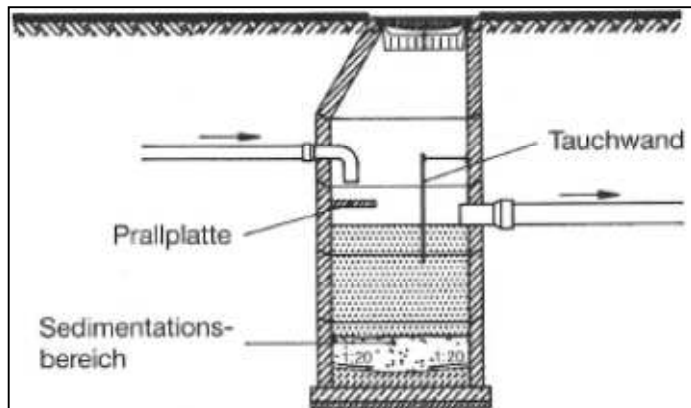
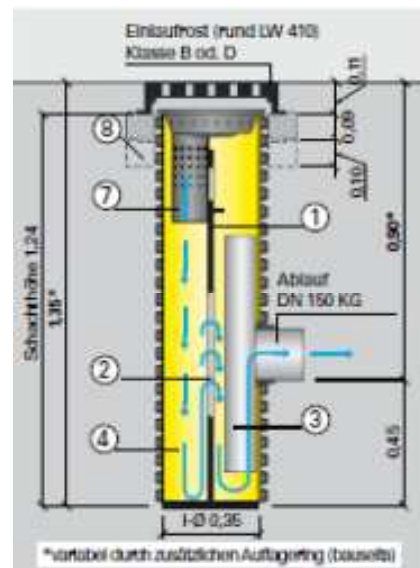


Bild 23

Prinzip des Absetzschachts
(Geiger/Dreiseitl, 2009, S.121)

Bild 24

Beispiel Absetzschacht als Straßeneinlauf
(oberen Zulauf) mit Schmutzfang für
Grobschmutz
(Handbuch zur Regenwasserbewirtschaftung
Fränkische Rohrwerke, 2010, Seite 17)



Eine von vielen Möglichkeiten die Reinigungsleistung zusammen mit geringem Flächenbedarf zu optimieren zeigt das nachfolgende, aus dem umfangreichen Markt der Entwässerungssysteme gewählte Beispiel der Fränkischen Rohrwerke AG.

Beispiel Absetzschacht mit Sedimentationsstrecke

In einem mit Gegengefälle langgestrecktem Rohr zwischen zwei Absetzschächten setzen sich schadstoffbelastete Feinstpartikel ab (Sedimentationsstrecke). Der in dem Rohr zur Verfügung stehende Sinkweg ist klein, weshalb sich diese Partikel schneller absetzen. Ein im Rohr fest eingebauter Strömungstrenner bildet einen strömungsberuhigten Raum und verhindert somit die Remobilisierung von sich abgesetzten Schadstoffen bei Starkregenereignissen, bei denen die Anlage hydraulisch stark belastet wird.

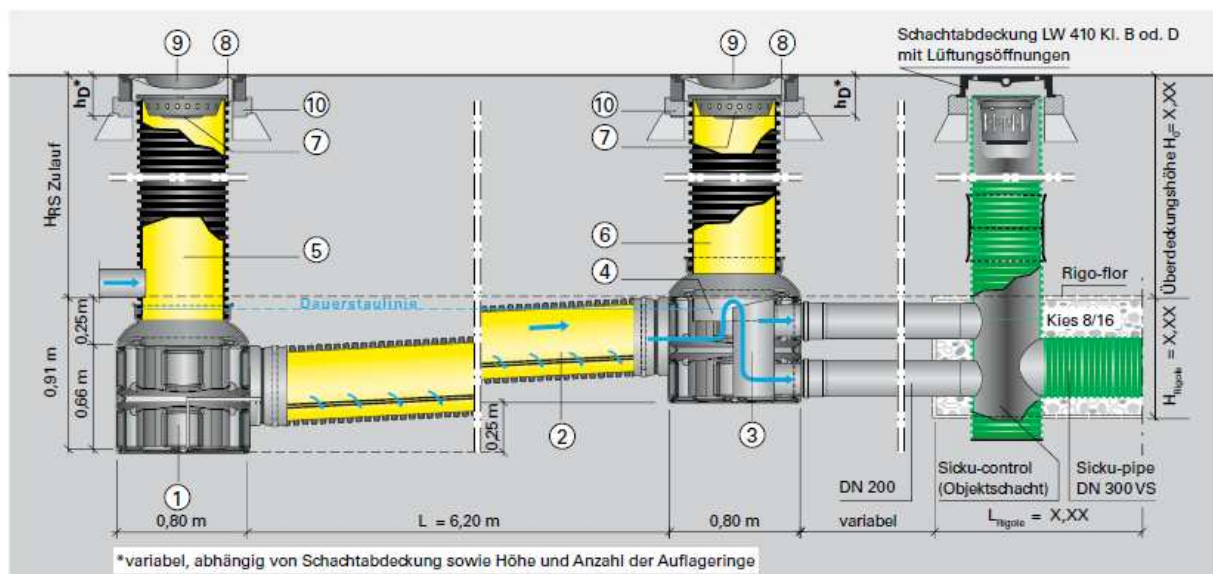


Bild 25

Sedimentationsanlage mit nachgeschalteter Versickerungsrigole und Strömungstrenner
(Handbuch zur Regenwasserbewirtschaftung, Fränkische Rohrwerke, 2010, Seite 18)

- ① Startschacht mit Wartungskonsole
- ② Sedimentationsstrecke mit Strömungstrenner
- ③ Zielschacht
- ④ Tauchwand
- ⑤ Schachtaufsetzrohr mit Zulauf, 360° schwenkbar
- ⑤a Schachtaufsetzrohr objektbezogen
- ⑥ Schachtaufsetzrohr ohne Zulauf
- ⑥a Schachtaufsetzrohr objektbezogen
- ⑦ Feststoffsammler groß
- ⑧ Domdichtring
- ⑨ Schachtabdeckung LW610 mit Lüftungsöffnungen
- ⑩ Betonauflagering

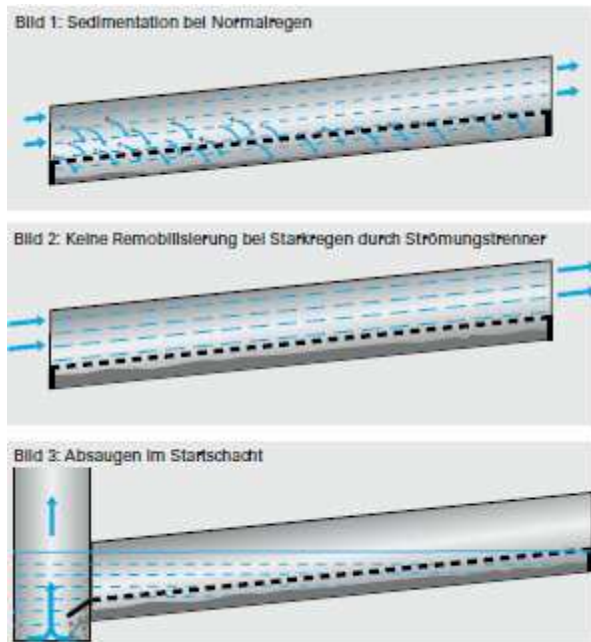


Bild 26

Prinzipdarstellung Strömungstrenner bei Normal- und Starkregen

(Handbuch zur Regenwasserbewirtschaftung, Fränkische Rohrwerke, 2010, Seite 22)

Nach Herstellerangaben werden Partikel mit Korngrößen zwischen 0,002 mm und 0,2 mm zurückgehalten. Auch sollen zum Teil bessere Wirkungsgrade als die von Regenkläranlagen erreichbar sein, da bei gleichem Schmutzstoffrückhalt ein erheblich geringeres Stauvolumen benötigt wird. Bei ca. dreifach geringerem Stauvolumen sollen vor allem bei größeren Durchflüssen deutlich bessere Wirkungsgrade erzielt werden können.

Wesentliche Vorteile bestehen in der variablen Größe von Rohr- und Schachtdimensionen, der Rohrstrecke und der Möglichkeit mehrere Sedimentationsrohre und Absetzschächte als ganzes System zu betreiben. Somit steigt auch die mögliche Größe der zu entwässernden Fläche. Die Anlagen werden unterirdisch in geringer Tiefe eingebaut, somit bleibt an der Oberfläche eine nutzbare Fläche, z. B. für PKW-Stellplätze, erhalten.



Bild 27

Beispiel System aus Absetzschächten und Sedimentationsstrecke

(Handbuch zur Regenwasserbewirtschaftung Fränkische Rohrwerke, 2010, Seite 15)

Eine weitere Neuentwicklung für dieses System ist die Zwischenschaltung einer künstlichen belebten Bodenzone. Dies erfolgt mittels einer Substratpatrone, welche noch vorhandene Feinstpartikel herausfiltert und weitere Schadstoffe, insbesondere gelöste Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe bindet. Die dazu verwendete Substratpatrone ist austauschbar.

Aufgrund der mittlerweile großen Palette von verschiedenen Absetzschächten und –anlagen der Fertigteilindustrie, sind die jeweiligen Herstellerangaben zu qualitativer und quantitativer Reinigungsleistung mit den Anforderungen aus dem Planungsprojekt genau zu vergleichen. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass die jeweiligen Systeme nach den Grundsätzen der DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) geprüft sind und eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung besitzen.

5.4.4.3. Regenklärbecken

Bei Regenklärbecken handelt es sich um zentrale Rückhalteinlage in Kombination mit Reinigungswirkung, welche viel Platz benötigen. Die Sedimentation wird hier durch eine Aufweitung des Fließquerschnittes zu einem Becken (meist rechteckiger Querschnitt) oder Rückhaltekanal (runder Querschnitt) und der damit verbundenen Fließgeschwindigkeitsreduzierung erreicht. Leichtstoffe schwimmen auf und werden an der Tauchwand zurückgehalten.

Weitere Merkmale der Regenklärbecken:

- a.) Bei der Dimensionierung des Absetz- und Retentionsvolumens spielt der gewünschte Sedimentationsgrad eine entscheidende Rolle.

- b.) Regenklärbecken sind zentrale Vorbehandlungsanlagen im Trennsystem am Gebietsauslass vor Einleitung in ein Gewässer oder eine Versickerungsanlage.
- c.) Es werden Niederschlagswasser mit hohem Anteil an absetzbaren Stoffen bei stark schwankendem Wasserfall behandelt.
- d.) Bei diesen Anlagen ist eine Einfriedung notwendig, da sie eine Unfallgefahr für Mensch und Tier sein können.
- e.) Der Wartungsaufwand ist hoch, da die Sedimente regelmäßig abgepumpt werden müssen.
- f.) Regenklärbecken sind mit weiteren Behandlungsanlagen kombinierbar.

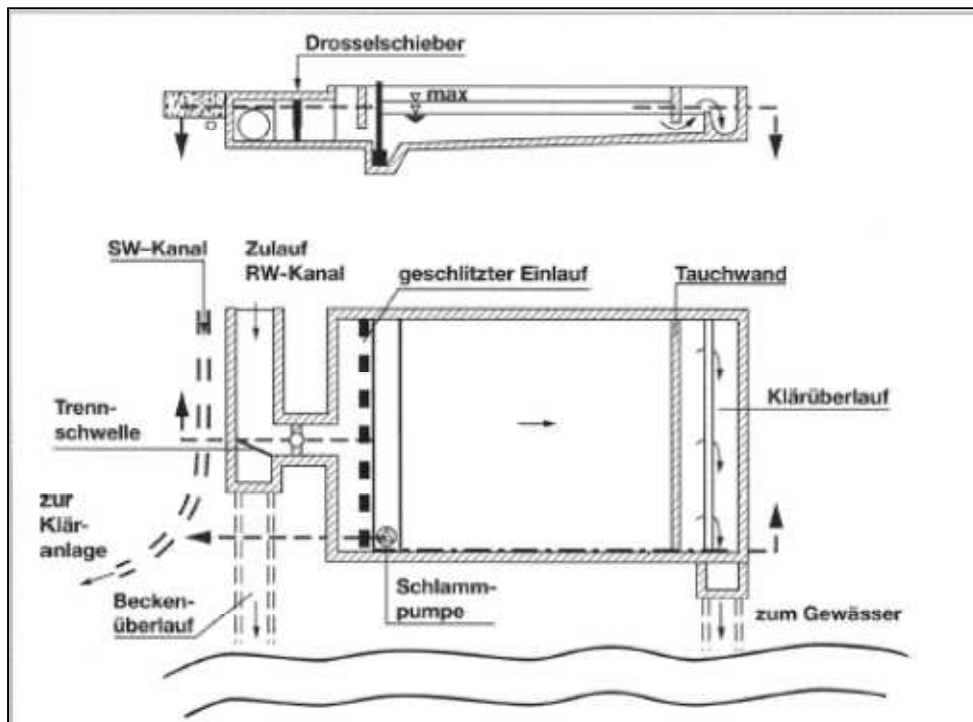


Bild 28

Prinzip des Regenklärbeckens

(Geiger/Dreiseitl, 2009, S.99)

5.4.4.4. Geotextiler Filtersack für Versickerungsschächte

Der in Abschnitt 5.8 aufgeführten Versickerungsschacht Typ A benötigen einen Filtersack. Dieser besteht aus vernähtem Vlies (Spezial-Geotextil aus 70 % PES- und 30 % PP-Fasern), welcher das durchströmende Wasser mechanisch reinigt.

Es werden Staubpartikel und Partikel mit Korngröße $\geq 0,002$ mm (Schlämmkorn) zurückgehalten.

Weitere Merkmale der Filtersäcke:

- a.) Um die Sickerleistung des Schachtes nicht zu reduzieren, ist ein k_f -Wert des Filtersacks größer $1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ notwendig.
- b.) Die Filtersäcke benötigen keinen zusätzlichen Platz, da sie im Sickerschacht integriert sind. Der Schacht ist platzsparend und deshalb auch im innerstädtischen Bereich einsetzbar.
- c.) Die Filtersäcke können nach einer Reinigung wiederverwendet werden und beeinträchtigen das Speichervolumen des Schachtes nicht.
- d.) Gelöste Stoffe werden nicht zurückgehalten.



Bild 29

Ausführungsbeispiel Geotextiler Filtersack

(Geiger/Dreiseitl, 2009, S.125)

5.4.4.5. Leichtstoffabscheider

Bei dieser Behandlungsanlage werden mechanisch abscheidbare, wassergefährdende Stoffe und leichtflüssige Substanzen durch die Kombination von Schlammfang, Benzin- bzw. Ölabscheider und Koaleszenzabscheider sowie Probenahmeschacht in Fließrichtung zurückgehalten.

Schlammfang:

Hier setzen sich Feststoffe wie Sand und Schlamm ab, welche im Abfluss enthalten sind.

Benzin- bzw. Ölabscheider:

Mineralische Leichtstoffe steigen aufgrund ihrer geringeren Dichte gegenüber Wasser an die Oberfläche auf und trennen sich dabei vom gesammelten Abflusswasser. Es bildet sich eine Schwimmschicht, die bei entsprechendem Füllstand abgezogen werden muss.

Koaleszenzabscheider:

Nach dem Benzin- und Ölabscheider bleiben noch ca. 3 % Leichtflüssigkeit übrig. Kleine Tröpfchen dieser noch verbleibenden Flüssigkeiten lagern sich an eingebauten, großflächigen Tropfkörpern (z. B. Metallgitter oder V-förmigen Metallbleche) ab und bilden auf diesen Flächen zusammen große Tropfen. Diese haben mehr Auftrieb, steigen an die Oberfläche auf und trennen sich vom gesammelten Abflusswasser; sie koaleszieren. Es bildet sich eine Schwimmschicht, die bei entsprechendem Füllstand abgezogen werden muss.

Probenahmeschacht:

Die erreichte Abwasserqualität wird hier kontrolliert.

Weitere Merkmale von Leichtstoffabscheidern:

- a.) Sie werden vor allem zur Vorbehandlung von Regenabflüssen aus Flächen mit hoher Verschmutzungsgefährdung durch Treibstoff- oder Mineralölprodukte verwendet.
- b.) Das Leistungsvermögen und die Dimensionierung richten sich nach Art und Menge des Zuflusses sowie dem geforderten Reinheitsgrad nach DIN 1999. Je größer die angeschlossene Fläche und je strenger der Reinheitsgrad, desto größer wird das notwendige Volumen des Abscheiders.
- c.) Bei Stoßbelastungen kann die Reinigungswirkung stark nachlassen, da u. a. die notwendige Zeit für die Absetzprozesse fehlt.

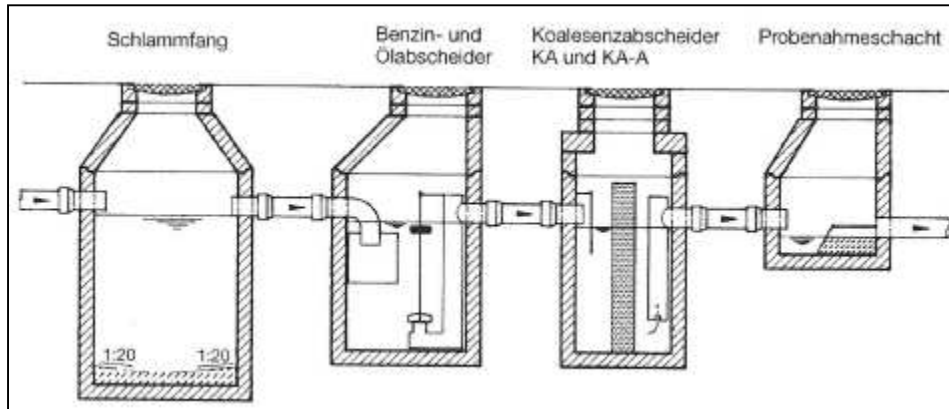


Bild 30

Prinzip des Leichtstoffabscheiders

(Geiger/Dreiseitl, 2009, S.126)

5.5. Besonderheiten bei Schutzgebieten

Zu den Schutzgebieten in Deutschland gehören nach RiStWag vor allem:

- Trinkwasserschutzgebiete und
- Heilquellenschutzgebiete sowie
- Gebiete, die keine Schutzzonen besitzen, aber der öffentlichen Wassergewinnung dienen

Schutzgebiete für Trinkwassergewinnung aus Talsperren und Grundwasser werden in nachfolgende Schutzzonen gegliedert.

Zone I: Fassungsbereich (bei Grundwassergewinnungsanlagen)
Stauraum mit Uferzone (bei Trinkwassertalsperren)

Zone II: Engere Schutzzone

Zone III: Weitere Schutzzone

Staatliche anerkannte Heilquellen werden in drei Schutzzonen (Zone I bis III) gegen qualitative und zwei Schutzzonen (Zone A und B) gegen quantitative Beeinträchtigungen untergliedert.

„Nach den DVGW-Arbeitsblättern W 101 und W 102 für Trinkwasserschutzgebiete und den LAWA-Richtlinien für Heilquellenschutzgebiete ist das Versickern von gesammeltem Niederschlagswasser in den Zonen I und II in der Regel nicht tragbar.“²⁶ „Wird eine Versickerungsanlage in einem Trinkwasser- oder Heilquellenschutzgebiet geplant, sind die Anforderungen der jeweiligen Schutzgebietsverordnung maßgebend, die sich auf die DVGW-Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete, die Arbeitsblätter W 101 (1995), W 102 (2002) sowie auf die LAWA-Richtlinien für Heilquellenschutzgebiete (1998) stützen“.²⁷

Außerdem gelten für Verkehrsflächen in diesen Gebieten folgende Regelungen:

- RiStWag 2002 i. V. m. RAS-Ew 2005
- Hinweise für Maßnahmen an bestehenden Straßen in Wasserschutzgebieten
- Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen
- Merkblatt für die Entwässerung von Flugplätzen

In diesen Regelwerken werden besondere Anforderungen an die Versickerungs- und Behandlungsanlagen gestellt wie z. B.

- Art der Versickerung (meist Flächenversickerung)
- Mächtigkeiten des Sickerraums
- Vorgaben zur Anordnung und Beschaffenheit von Abdichtungen im Boden
- Bauliche Gestaltung und Abmessungen von Behandlungsanlagen
- Bemessungsgrundsätze für Behandlungsanlagen
- Wartung und Prüfung von Behandlungsanlagen
- Grenzwerte für Schadstoffkonzentrationen

Befindet sich die zu planende Versickerungsanlage in einem der o. g. Schutzgebiete, kommen die strengeren Regelungen zur Anwendung. Verantwortliche Aufsichtsbehörden, wie u. a. die untere Wasseraufsichtsbehörde sind bei solchen Vorhaben immer mit einzubeziehen und die entsprechenden Hinweise und Anweisungen zu beachten.

²⁶ DWA-A 138, S. 8

²⁷ DWA-A 138, S. 6

6. Flächen- und Volumenbedarf

6.1. Grundlagen der hydraulischen Bemessung

6.1.1. Ziel der Bemessung

Die erforderliche Größe einer Versickerungsanlage in Form von Flächen- und/oder Volumenbedarf hängt von verschiedenen Faktoren bei der Bemessung ab, die nachfolgend aufgeführt sind. Die Bemessung von Versickerungsanlagen erfolgt grundsätzlich nach dem Arbeitsblatt DWA-A 138 sowie nach RAS-Ew 2005.

Ziel bei der Größenermittlung ist das Verhältnis

$$Q_R \leq Q_s + Q_{sp}$$

Q_R	Oberflächenabfluss	[l/s]
Q_s	Versickerungsrate in Abhängigkeit von versickerungswirksamer Fläche und Durchlässigkeit	[l/s]
Q_{sp}	Speichervermögen in Abhängigkeit von Speichervolumen und Speicherkoeffizient	[l/s]

Formel 8 Verhältnis Abfluss zu Versickerungsrate und Speichervermögen

6.1.2. Verfahren zur Bestimmung des Bemessungsregens

Eine wesentliche Grundlage ist der Bemessungsregen. Aus diesem ergibt sich letztendlich die rechnerisch hydraulische Belastung der Anlage. Für die Ermittlung dieser Werte existieren zwei Verfahren. Bei dem einfachen Näherungsverfahren werden aktuelle statistische Regenwerte (Regenreihen) vom Deutschen Wetter Dienst (KOSTRA-DWD-2006) oder örtlich gewonnene Regenreihen herangezogen. Hieraus lassen sich alle Regenspenden $r_{D;n}$ [l/(s*ha)] beliebiger Dauer D von 5 Minuten bis 72 Stunden und für Wiederkehrzeiten von 0,5 (n = 2) bis 100 Jahre (n = 0,01) direkt ablesen oder interpolieren. Diese Variante enthält gewisse Sicherheitszuschläge und wird für Flächen-, Mulden-, Rigolen- und Mulden-Rigolen-Versickerungen angewendet.

Das zweite Verfahren ist die Langzeitsimulation mit detaillierten Nachweisen und bezieht sich auf zentralen Versickerungsanlagen mit Zuleitungsnetzen und Mulden-Rigolen-Systeme. Dieses Verfahren enthält keine Sicherheitszuschläge und ermöglicht die Abstimmung von vernetzten Ableitungs- und Speicherelemente sowie

die Ermittlung von Jahresmittelwerten für Regenhäufigkeit, Regendauer und Abflussvolumen. Die Berechnung erfolgt computergestützten Simulationsprogrammen. Dabei werden Niederschlagsreihen von mindestens 10 Jahren zugrunde gelegt.

6.1.3. Ermittlung der Regenspende und Regendauer

Die Regenspenden $r_{D,n}$ werden aus den Regenreihen abgelesen. Dabei ist D die Niederschlagsdauer und n die Regenhäufigkeit. Letztere gibt an, wie oft im Durchschnitt eine Regenstärke oder Regenspende jährlich erreicht oder überschritten wird.

Beispiel:

$n = 1$ → Regenspende einmal im Jahr

$n = 2$ → Regenspende zweimal im Jahr

$n = 0,2$ → Regenspende alle 5 Jahre

$r_{20;n=1} = 60 \text{ l/(s * ha)}$ → Die Regenspende von $\geq 60 \text{ l/(s*ha)}$ eines 20 min-Regens kommt jährlich einmal vor.

Für das zu planende Projekt sind repräsentative Regenreihen zu wählen.

Aus den Regenreihen lässt sich erkennen, dass die Regenspende mit zunehmender Dauer abnimmt (Anlage 13). Das Arbeitsblatt DWA-A 138 gibt deshalb für das einfache Näherungsverfahren bei Flächenversickerung eine maßgebende Regendauer $D = 10 \text{ min}$ vor. Bei Anlagen mit Zwischenspeicherung (Mulden, Rigolen) wird die Regendauer schrittweise bestimmt. Dass heißt, die Regendauer, aus der das größte erforderliche Volumen bestimmt wird, ist maßgebend.

Regendauer D [min]	Regenspende für $n = 0,2$ $r_{D;n=0,2}$ [l/(s*ha)]	Rigolenlänge [m]
5,00	334,00	71,26
10,00	241,80	99,48
15,00	194,50	115,88
20,00	164,20	126,07
30,00	127,00	137,10
45,00	96,30	142,55
60,00	78,50	142,68
90,00	58,10	136,76
120,00	47,00	129,78

Bild 31

Beispiel Bestimmung Regendauer und erforderliche Rigolenlänge l_R
(aus Anlage 17)

Bei der Langzeitsimulationen entfällt die Bestimmung einer maßgeblichen Regendauer.

6.1.4. Ermittlung der Regenhäufigkeit

Für das Näherungsverfahren gilt das Regenereignis der Jährlichkeit $T_n = 5a$ ($n = 0,2$), welches also einmal in 5 Jahren auftritt. Bei besonders gefährdeten Gebieten kann der Wert $T_n = 10a$ ($n = 0,1$) gewählt werden. Im Gegensatz dazu ist bei geringem Schadenspotenzial (Kleingärten, Spielplätze) auch $T_n = 2a$ ($n = 0,5$) möglich. Das gewünschte Maß an Sicherheit spielt bei der Wahl der Häufigkeit eine wichtige Rolle.

Die RAS-Ew 2005 empfiehlt für Versickerung im Straßenbereich folgende Häufigkeitswerte:

Entwässerung von Straßen über Mulden, Seitengräben oder Rohrleitungen	$n = 1$
Versickermulden	$n = 1$

Bei der Langzeitsimulation wird durch das Arbeitsblatt DWA-A 138 eine Häufigkeit $n \leq 0,1$ bis $\leq 0,2$ empfohlen.

6.1.5. Abflussermittlung

Für zu entwässernde Fläche sind Abflussbeiwerte, welche den Abflussverlust durch Verdunstung, Rückhaltung oder Versickerung auf der Fläche berücksichtigen, zu ermitteln und bei der Berechnung des Abflusses einzubeziehen:

$$Q_{zu} = \psi_m * A_{ges} * r_{D;n} * 10^{-4}$$

Q_{zu}	Oberflächenabfluss	[l/s]
ψ_m	mittlerer Abflussbeiwert	[-]
A_{ges}	Gesamtfläche des Gebietes	[m ² oder ha]
$r_{D;n}$	Regenspende	[l/(s*ha)]

Formel 9 Bestimmung Abfluss eines Gebietes

Der Abflussbeiwert ist das Verhältnis der Abflussspende zur zugehörigen Regenspende. Die Größe des Beiwertes hängt von der Oberflächenbeschaffenheit sowie Neigung der Fläche ab (**Anlage 14**). Bei unterschiedlichen Flächen muss der mittlere Abflussbeiwert ermittelt werden.

$$\psi_m = \frac{\psi_{1*}A_1 + \psi_{2*}A_2 \dots \dots + \psi_{n*}A_n}{A_1 + A_2 \dots \dots + A_n}$$

A_1	Teilflächen	[m ² oder ha]
ψ_1	Abflussbeiwerte der Teilflächen	[-]
ψ_m	mittlerer Abflussbeiwert	[-]

Formel 10 Bestimmung mittlerer Abflussbeiwert

Der Mittelwert berücksichtigt die Tatsache, dass die Versickerungsanlagen i. d. R. Speicherfähigkeiten haben.

Für bewachsene Flächen im Straßenraum (z. B. Seitenstreifen, Böschungen) stehen aufgrund des unterschiedlichen Versickerungspotentials keine direkten Abflussbeiwerte zu Verfügung. Aus umfangreichen Versuchen heraus empfiehlt die RAS-Ew 2005 eine Annahme der Versickerungsrate von 100 l/(s*ha) auf diesen Flächen. Dass heißt, bei Regenspenden $r \leq 100 \text{ l/(s*ha)}$ entsteht kein Oberflächenabfluss. Dieser Wert kann bei entsprechend durchlässigem Boden, wie z. B. Sand, erhöht werden. Ein Nachweis der spezifischen Versickerungsrate ist in diesem Fall erforderlich.

6.1.6. Wasserdurchlässigkeit und Versickerungsrate

Als idealisierte und vereinfachte Annahme werden im Arbeitsblatt DWA-A 138 homogene Baugrundverhältnisse angenommen. Dabei gilt der k_f -Wert als Konstante. Das entspricht meist nicht immer den realen Baugrundverhältnissen, da i. d. R. verschiedene Bodenschichten anstehen und diese unterschiedliche Durchlässigkeiten haben können. Dieses Problem wird mit Zuschlagsfaktoren f_z , welche zwischen 1,1 und 1,2 angesetzt werden, bei der Berechnung der Anlagen ausgeglichen.

$$l_R = \frac{A_u * 10^{-7} * r_{D;n}}{\frac{b_R * h_R * s_R}{D * 60 * f_z} + \left(b_R + \frac{h_R}{2}\right) * \frac{k_f}{2}}$$

Formel 11 Beispiel Zuschlagsfaktor f_z in Bestimmungsgleichung für Rigolenlänge l_R

Im Abschnitt 4.2 wurde bereits der halbierte Durchlässigkeitsbeiwert $k_{f,u}$ und die daraus folgende reduzierte Versickerungsrate für die ungesättigte Bodenzone angesprochen. Diese Werte sind bei der Bemessung maßgebend.

$$Q_s = A_s * \frac{k_f}{2} * 10^3$$

Q_s	Versickerungsrate	[l/s]
A_s	versickerungswirksame Fläche	[m ²]
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert	[m/s]

Formel 12 Bestimmung Versickerungsrate

Die RAS-Ew 2005 schreibt bei abzuschätzender Gefahr der Selbstdichtung (z. B. Versickerungsbecken) eine unabhängig von der Durchlässigkeit des Bodens maximal annehmbare Versickerungsrate von 2 cm/h ($k_{f,u} = 5,6 * 10^{-6} \text{ m/s}$) vor. Kann eine Selbstdichtung durch vorgeschaltete Absetzbecken ausgeschlossen werden, darf die Versickerungsrate auf maximal 5 cm/h ($k_{f,u} = 1,4 * 10^{-5} \text{ m/s}$) erhöht werden.

6.1.7. Hydraulisches Gefälle

Das hydraulische Gefälle für v_f bzw. $v_{f,u}$ wird bei Versickerungsanlagen mit dem Wert $i = 1$ gesetzt, da hier keine signifikanten Druckhöhen anstehen (bei Versickerungsbecken max. 1 bis 2m) bzw. bei Schachtversickerung erfahrungsgemäß mit einer Abnahme der Versickerungsrate zu rechnen ist. Eventuell höhere Versickerungsraten werden durch Ungenauigkeiten bei den Durchlässigkeitsbeiwerten weitestgehend ausgeglichen.

6.1.8. Einstauzeiten

Lange Einstauzeiten bei oberirdischen Anlagen (Mulden-Versickerung, Mulden-Rigolen-Versickerung) sind zu vermeiden. Für ein Ereignis der Häufigkeit $n = 1/a$ sollte eine Entleerungszeit von 24 Stunden nicht überschritten werden.

$$t_E = \frac{2h}{k_f}$$

t_E	Entleerungszeit	[s]
h	Einstauhöhe	[m]
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert	[m/s]

Formel 13 Bestimmung Entleerungszeit oberirdischer Versickerungsanlagen

7. Geotechnische Risiken

7.1. Wasser im Baugrund

Wasser im Baugrund kann Bauwerke schädigen und ihre Standfestigkeit gefährden. Um die Voraussetzungen für eine Versickerungsanlage zu prüfen, ist im Vorfeld immer eine Baugrunduntersuchung notwendig. Hierbei wird nicht nur die Durchlässigkeit des anstehenden Bodens ermittelt. Vielmehr müssen der Verlauf von Bodenschichten, die Grundwasserverhältnisse im Wirkungsbereich der Versickerungsanlage und eventuell Bauwerksgründungen analysiert werden.

Die nachstehenden Beispiele spiegeln nur einen Teil des umfangreichen Spektrums an möglichen Bauwerksschäden dar.

a.)

Im Verkehrswegebau kann es bei Wasser im Unter- bzw. Oberbau bedingt durch Frost-Tauwechsel zu Hebungen und Senkungen kommen, welche große Unebenheiten auf der Straßenoberfläche verursachen. Es entsteht u. U. eine Gefahr für den Straßenverkehr durch Aquaplaning. Zusätzlich können Risse in den Deckschichten entstehen, die das ungewollte Einsickern von Regenwasser in den Oberbau ermöglichen.

b.)

Wasser im Baugrund verursacht bei unterkellerten Gebäuden und Stützwänden im Bereich der Bauwerkshinterfüllung zusätzlichen Wasserdruck. Die Bauwerksteile ohne Abdichtung werden durchnässt und die Standsicherheit gefährdet.

c.)

Wassergesättigte Böden der Hinterfüllung erzeugen eine Auftriebskraft. Sind bauliche Anlagen darauf nicht bemessen, kommt es z. B. zu Rissen durch Bauwerkshebungen.

d.)

Bauwerkssetzungen infolge Dichteverringering durch bauwerksbedingte Lasten sowie infolge Auslaugungen im Tiefenbereich der Bauwerkslasten könne Folgen von durch Versickerungsanlagen verursachter Wassersättigung oder schneller Durchfeuchtung sein. Die Bauwerkslasten müssen über entsprechende eine Fundamentbemessung zuverlässig abgetragen werden.

7.2. Einfluss durch Sickerwasser

Die eigentliche Aufgabe der Versickerung liegt in der Entwässerung der baulichen Anlagen. Dabei können aber nicht nur die Oberflächenabflüsse von Dächern, Straßen oder Planumsschichten betrachtet werden. Es müssen auch die bei der Bemessung zugrundegelegten Wasserverhältnisse im Boden erhalten bleiben. Nachfolgend werden Beispiele von häufig anzutreffenden und zu berücksichtigenden Gefahrenquellen aufgeführt:

a.)

Das einem Bauwerk unterirdisch zufließende Wasser (z. B. aus Hanglagen, Schichtenwasser) muss erfasst und abgeleitet bzw. außerhalb des Wirkungsbereiches der baulichen Anlage versickert werden.

b.)

Die Versickerung und der unterirdische Abfluss müssen sichergestellt sein. Das kann problematisch werden, wenn sich z. B. wasserstauende Bodenschichten im Sickerraum befinden. Hier kann sich das Sickerwasser aufstauen bzw. verstärkt in die horizontale Richtung abfließen und dadurch das Bauwerk gefährden.

c.)

Erfolgt die Versickerung in einer durchlässigen Bodenschicht unterhalb einer bindigen Schicht, wirken die Kapillarkräfte des feinkörnigen Bodens. Es findet zusätzlich zur vertikalen, nach unten gerichteten Sickerbewegung auch eine aufsteigende Wasserbewegung statt. Der negative Einfluss dieses Wassers auf die Standsicherheit muss durch eine entsprechende Frostschutzschicht auf der Gründungssohle verhindert werden, welche die Kapillarwirkung unterbricht (kapillarbrechende Schicht).

d.)

Der Sickerweg kann nicht nur in vertikaler Richtung angenommen werden. Er verläuft zum Teil auch in horizontaler bzw. diagonalen Richtung. Die Bestimmung der realen Ausbreitung ist kaum möglich, da hierfür die Verteilung und Größen der einzelnen Poren maßgebend sind, welche im Detail nicht analysiert werden können. Zur Vermeidung von negativen Auswirkungen auf bauliche Anlagen, werden deshalb im DWA-Arbeitsblatt A 138 und der RAS-EW 2005 folgende Abstände (Erfahrungswerte) von Versickerungsanlagen zu Bauwerken empfohlen, welche aber objektbezogen geprüft werden müssen:

- Abstand zu Gebäude ohne wasserdruckhaltende Dichtung: $\geq 1,50 \text{ m} \cdot h$
mit h = Höhe Baugrube oder Höhe Fundament bei Flachgründung
- Abstand zu Oberkante Baugruben bzw. Bauwerkshinterfüllungen $\geq 0,50 \text{ m}$
- Abstand Beckenrand zentraler Versickerungsanlagen zu Bauwerken $> B/2$
mit B = Beckenbreite
- Abstand zu Grundstücksgrenzen $\geq 0,50 \text{ m}$

Bei der Bemessung von Verkehrswegen, vor allem Straßen und Wege nach RStO 01, werden ungünstige Wasserverhältnisse unter dem Planum durch Zuschläge in den Oberbaudicken berücksichtigt. Bodenbehandlungsmaßnahmen erhöhen zusätzlich die Tragfähigkeit bei hohem Wassergehalt im Boden. Die Versickerung unmittelbar am Rand des Straßenbaukörpers darf nur gleichmäßig verteilt und nicht zentral erfolgen, um keinen Aufstau im Boden zu verursachen.

Versickerungsmulden dürfen nach den Hinweisen zur Versickerung von Niederschlagswasser im Straßenraum (FGSV, 2002) nur mit einem Mindestabstand zur Verkehrsflächenbefestigung hergestellt werden:

- innerorts von 0,75 m und
- außerorts von 1,50 m
- Abstand $\geq D + Z/2$

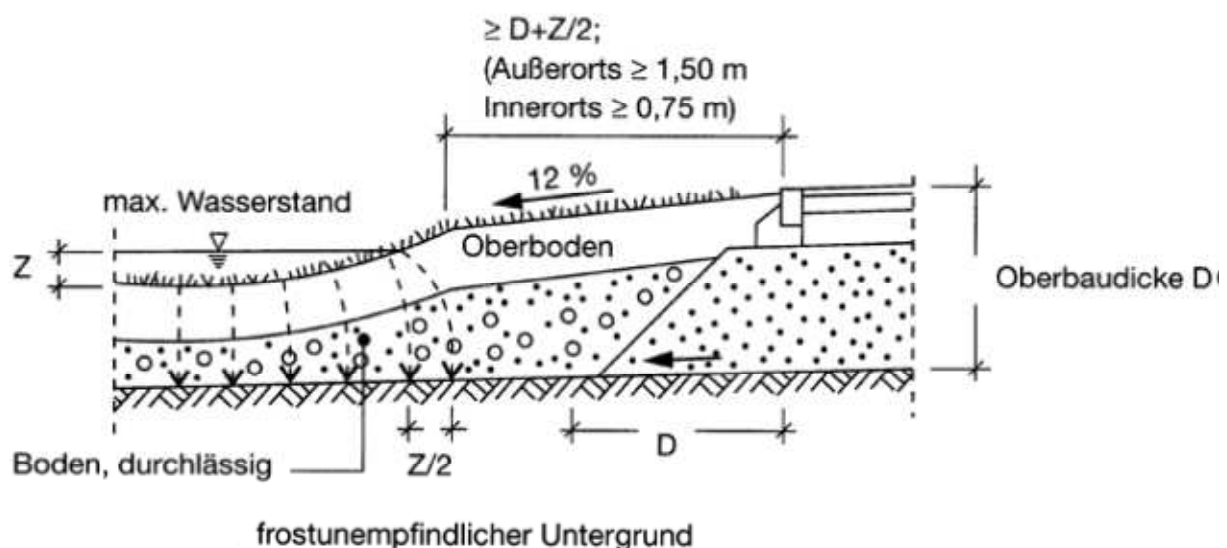


Bild 32

Bankettausbildung bei frostunempfindlichem Untergrund

(Hinweise zur Versickerung von Niederschlagswasser im Straßenraum, FGSV, 2002, Blatt 5)

7.3. Einfluss durch Grundwasser

Das Grundwasser wird durch Versickerung nicht nur im Sinne der Schadstoffbelastung beeinflusst. Es findet u. U. auch eine Erhöhung des Grundwasserspiegels statt. Im Arbeitsblatt DWA-A 138 wird u. a. deshalb ein Mindestabstand von 1 m zum mittleren höchsten Grundwasserstand gefordert.

Wird eine Versickerungsanlage auf einer vorher unbebauten und durchlässigen Fläche errichtet, z. B. im Rahmen eines Neubaus einer Wohnanlage auf der „grünen Wiese“, so ist mit keiner wesentlichen Veränderung des Grundwasserspiegels zu rechnen. Die Menge des zu versickernden Niederschlagswassers ändert sich durch die Bebauung nicht. Eine konzentrierte Versickerung, z. B. zentrale Anlagen wie Versickerungsbecken, bewirkt jedoch in einem bestimmten Umkreis der Anlage eine Anhebung des Grundwasserstandes. Dabei spielt die Durchlässigkeit des Untergrundes und die damit verbundenen Versickerungsdauer zum Grundwasserleiter eine wichtige Rolle. Je größer die Durchlässigkeit des Bodens ist, desto geringer ist die Grundwasseraufhöhung durch die größere und schnellere seitliche Ausbreitung des versickernden Niederschlagswassers. Die Größe des Umkreises der Grundwasseraufhöhung muss für ein jedes entsprechende Bauvorhaben individuell bestimmt werden, z. B. mit einem analytischen Näherungsverfahren. Dies ist mit einem hohen Aufwand verbunden und nur vertretbar, wenn die Grundwasserverhältnisse im Rahmen einer Neuerschließung sowieso untersucht werden müssen oder sich Bauwerke in der Nähe der Versickerungsanlage befinden.

Dezentrale Versickerungsanlagen sollten aus vorgenannten Gründen großflächig angelegt werden, damit eine konzentrierte Einleitung vermieden wird.

Die Auswirkungen auf den Grundwasserstand durch Umstellung der Entwässerung von einem Ableitsystem auf eine Versickerung in einem bebauten Gebiet sind kritisch bei der Planung zu untersuchen. Die Risiken wurden bereits im vorhergehenden Teilabschnitt angesprochen.

8. Topografische Einflüsse

8.1. Allgemein

Bei der Planung von Versickerungsanlagen sind topografischen Bedingungen am Standort und der näheren Umgebung zu berücksichtigen.

Auch in geneigtem Gelände sind die versickerungswirksamen Bauteile möglichst ohne Sohlgefälle herzustellen. Damit sollen eine Fließbewegung verhindert, die gleichmäßig verteilte Versickerung sichergestellt und eine Kolmation an den Tiefpunkten vermieden werden. Große oder lange Mulden sind insbesondere bei vorhandenem Geländegefälle durch Bodenschwellen zu unterbrechen. Ausnahmen sind bei Versickerungsbecken zu beachten (siehe Abschnitt 5.6).

Es ist zu gewährleisten, dass der Zufluss aus natürlichen Flächen in Mulden- und Beckenversickerungsanlagen ohne vorherige Sedimentation unterbleibt oder gering gehalten wird, um zusätzliche Zufluss- und Geschiebebelastungen zu verhindern. Natürliche Geländemulden an Hanglagen sind häufig mit diesen Zuflüssen belastet und daher für eine Versickerung wenig geeignet.

Auch die Auswirkungen der Niederschlagsversickerung an einem Hang auf die darunter liegenden Bereiche sind zu prüfen. Einsickerndes Regenwasser verringert im Regelfall die Standsicherheit von Böschungen.

9. Landschaftsplanerische Gestaltung

9.1. Anpassung und Nutzung

Die Gestaltung von an der Oberfläche wahrnehmbaren baulichen Anlagen ist häufig ein wesentlicher Bestandteil bei der Planung von Entwässerungsanlagen. Vor allem naturnahe Regenwasserbewirtschaftungslösungen, wie die Flächen-, Mulden- oder Beckenversickerung, erfordern bereits bei der Planung eine Anpassung an ihre Umgebung. Dabei ist nicht nur die aktuelle Nutzung und Gestaltung der Flächen maßgebend. Vielmehr sollte auch geprüft werden, wie diese zukünftig entwickelt werden sollen.

Regenwasser wird durch vorgenannte Versickerungsanlagen sichtbar und erlebbar. Bei entsprechend sinnvoller Gestaltung können ihre Umgebungen, z. B. Wohnsiedlungen, aufgewertet und die Lebensqualität in den betreffenden Gebieten erhöht werden.



Bild 33

Beispiel Landschaftsgestaltung bei einer Mulden-Rigolen-Versickerung (Geiger/Dreiseitl, 2009, S. 204)

Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Funktionsfähigkeit der Versickerungsanlage erhalten bleibt. Versickerungsflächen sollten z. B. nicht als Fußballplatz dienen, da der Oberboden hierbei verdichtet und die Durchlässigkeit verringert wird. Topografische Einflüsse gemäß Abschnitt 8.1 und Unfallgefahren, z. B. für Kinder, müssen beachtet werden.

Bei Versickerungsanlagen mit unterirdischem Zulauf, wie Rohr-Rigolen, ist die Nutzungs- und Gestaltungsvielfalt der Geländeoberflächen groß. So können zum Beispiel PKW-Parkplätze, Gehwege oder Sportplätze auf ihnen errichtet werden. Dabei ist jedoch immer auf eine ausreichende Tragfähigkeit des Untergrundes und der Versickerungsanlage zu achten.

10. Kosten

10.1. Allgemein

Die Investitionskosten für eine Entwässerungseinrichtung sind bei der Auswahl der Anlage von entscheidender Bedeutung.

Jedoch kommt es bei der Betrachtung der entstehenden Kosten nicht nur allein auf die Baukosten an. Es sind zusätzlich auch Grunderwerbskosten, Kosten der Unterhaltung und Belastungen bzw. Einsparungen bei den Abwassergebühren zu berücksichtigen.

Diese Bestimmungsgrößen sowie die Kosten für eine Entwässerung über die öffentliche Kanalisation müssen für jedes Bauvorhaben individuell ermittelt werden, um einen direkten Vergleich anstellen zu können. Ein allgemeiner Gegenüberstellung und Bewertung ist aufgrund der verschiedenen örtlichen Einflussfaktoren nicht repräsentativ.

11. Auswahlmatrix

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde eine Auswahlmatrix für Versickerungsanlagen erstellt (**Anlage 15**).

Ziel dieser Matrix ist es, die Option einer Versickerung zu prüfen bzw. eine geeignete Variante der Versickerung anhand der jeweils angegebenen Entscheidungskriterien auszuwählen. Mit Hilfe dieser Übersicht lassen sich auch die Voraussetzungen für eine evtl. im Voraus favorisierte Versickerungsanlage überprüfen.

Bei der Erstellung stand der Grundsatz nach DWA-A 138 „dezentralen Versickerung über belebte Oberbodenzone“ im Vordergrund.

Für die grobe Bewertung von Regenwasserabflüssen wurde eine Unterteilung nach dem Verfahren DWA-A 138 vorgenommen. Dabei ist zu beachten, dass auch die als unbedenklich eingestuften Niederschlagsabflüsse geringfügige Stoffkonzentration inkl. absetzbarer Bestandteile besitzen (siehe Abschnitt 6.1.3). Es sollte deshalb immer entsprechend DWA-M 153 die Reinigungsleistung der Versickerungsanlage inkl. eventueller Vorbehandlungsanlagen geprüft werden ($E \leq D?$).

Gemäß Abschnitt 5.2 existieren verschiedene Formen der Flächenversickerung. In der Auswahlmatrix wurde unterschieden zwischen Flächenversickerung mit bzw. ohne Passage von belebten Oberbodenschichten. Die Varianten wurden entsprechend ihrer Reinigungswirkung den möglichen Schadstoffbelastungskategorien zugeordnet.

Vor der Festlegung auf eine Variante sollte immer ein Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit erfolgen.

Die Kombination mehrerer verschiedener Versickerungsanlagen ist grundsätzlich möglich und soll durch diese Auswahlmatrix nicht ausgeschlossen werden.

Die Einleitung in die öffentliche Kanalisation bei fehlenden Voraussetzungen für eine Versickerung muss nicht die alleinige Lösung sein. Alternativ kann auch eine Speicherung und Nutzung des Regenwassers in Betracht kommen. Die Voraussetzungen hierfür sind im Einzelfall zu prüfen.

12. Praxisbeispiel Steinbruch Bernbruch

Für eine praxisnahe Handhabung der verschiedenen Entscheidungskriterien wurde das Praxisobjekt „Erweiterung Anschlussbahn Steinbruch Bernbruch“ ausgewählt, bei welchem eine im Voraus favorisierte Entwässerungsanlage nachzuweisen war. Die „iproplan Planungsgesellschaft mbh“ aus Chemnitz hat die Gleisanlagen geplant und stellte für die Erarbeitung der Diplomarbeit Planungsunterlagen mit Stellungnahmen verschiedener Träger öffentlicher Belange (TÖB) zur Verfügung.

Im Rahmen der Bearbeitung dieser Diplomarbeit wurde zusammen mit einem Baugrundgutachter der „iproplan“ eine Baugrunduntersuchung vor Ort durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten mittels Bohrsondierung (Rammkernsondierung-RKS) und Rammsondierung (DPL). Das hieraus resultierende Baugrundgutachten inkl. Ergebnis der kf-Wert-Analyse lag bis zur Fertigstellung der Diplomarbeit nicht vor.

Für die Nachweisführung zum Zwecke der Diplomarbeit wurden in Abstimmung mit dem Baugrundgutachter Annahmen aus der vor Ort ausgeführten Bodenansprache getroffen.

12.1. Ausgangssituation²⁸

Die Firma Natursteinwerke Weiland GmbH (NSW) betreibt den Grauwacke-Steinbruch Bernbruch in der Nähe von Kamenz. Das Bruchmaterial wird bisher vorrangig zu Schotter und Splitt verarbeitet und überwiegend per Eisenbahn an verschiedene Kunden geliefert. Das Transportaufkommen betrug im Jahr 2010 rund 120.000 Tonnen.

Die Bahnverladung erfolgt über eine Band-Verladeanlage in der unmittelbaren Nähe des Steinbruchs liegenden, NSW-eigenen Anschlussbahn. Die Anschlussbahn liegt unmittelbar am Bahnhof Cunnersdorf an der eingleisigen DB-Strecke 6918 Senftenberg-Kamenz.

²⁸ Erläuterungsbericht iproplan, S. 3

Die Gleisanlagen der Anschlussbahn bestehen u.a. aus

- Schutzweiche A10
- Gleis A1 (Lade- und Abstellgleis)
- Gleis A2 (Abstellgleis) einschl. der Anschlussweichen A11 und A12
- Gleis A3 (Abstellgleis) einschl. der Anschlussweichen A13 und A14.

Die Bedienung der Anschlussbahn erfolgt entsprechend einem bestehenden Bedienungsvertrages mit der DB Railion AG bis zu zweimal täglich schiebend bei Zugführung und ziehend bei Abholung mit einem Ganzzug oder zwei Halbzügen. Die Betriebsführung in der Anschlussbahn erfolgt in Eigenregie der NSW mit einer Diesellok V22 und einem Elektroschleppfahrzeug. Die im Gleis A1 zugeführten Leerwagen werden gruppenweise in das südliche Auszugsgleis gezogen, dann unter die Band-Verladeanlage geschoben und danach im Gleis A2 abgestellt.

Die Anschlussbahn liegt zu einem geringen Teil auf NSW-eigenem Gelände und zum überwiegenden Teil auf DB-Gelände. Hierfür besteht ein Infrastruktur-Anschlussvertrag mit der DB-Netz AG.

Über die Entwässerung der vorhandenen Gleise existieren keine Angaben.

12.2. Baubeschreibung

Die NSW plant bereits ab Sommer dieses Jahres eine deutliche Erhöhung des Bahnversandes ihrer Erzeugnisse mit täglich bis zu vier ca. 550 m langen Ganzzügen. Für diese Erhöhung und insbesondere dafür, dass in der Anschlussbahn bei Notwendigkeit zwei Ganzzüge gleichzeitig aufgenommen werden müssen, reichen die vorhandenen Gleisanlagen nicht aus.²⁹

Die Gleisanlagen müssen deshalb entsprechend erweitert werden. Hierzu werden das vorhandene Gleis A3 beidseitig maximal verlängert. Dazu ist die bisherige nördliche Anbindung an das Gleis A2 einschließlich der Weiche zurückzubauen und die dadurch im Gleis A2 entstehende Lücke zu schließen. Die bisherige südliche Anbindung an das Gleis A2 ist zunächst ebenfalls zurückzubauen und dann mit dem Neubau der Weiche A17 wieder herzustellen.³⁰

²⁹ Erläuterungsbericht iproplan, S. 4

³⁰ Erläuterungsbericht iproplan, S. 7

Das in nördlicher Richtung verlängerte Gleis A3 liegt im Bereich des vorhandenen Wirtschaftsweges, der dazu ersatzlos zurückzubauen ist. Das Gleis ist im Norden mit der neuen Weiche A14 an das vorhandene Gleis A2 und im Süden unter Beachtung des Standortes des DB-Gastanks mit der neuen Weiche A13 an das vorhandene Gleis A1 anzubinden. ²⁸

Westlich des Gleises A3 ist in Parallellage das neue Gleis A4 zu verlegen. Die nördliche Anbindung an das Gleis A3 erfolgt, um zusätzlichen Grunderwerb zu vermeiden, mit der neuen Weiche A16 nahe der bisherigen Anbindung von Gleis A3 an Gleis A2. Die südliche Anbindung an das Gleis A3 erfolgt mit der neuen Weiche A18 an der vorhandenen Band-Verladeanlage. ³¹

Westlich des neuen Gleises A4 ist, wiederum in Parallellage, als weiteres neues Gleis das Gleis A5 einzuordnen. Es dient vorrangig dem Abstellen von Schadwagen und ist deshalb als Stumpfgleis mit einfachem Festprellbock auszuführen. Die Anbindung an das Gleis A4 erfolgt am südlichen Ende mit der neuen Weiche A19. ³¹

Die Höhenlagen der neuen Gleise orientiert sich grundsätzlich an der Höhenlage der benachbarten vorhandenen bzw. neuen Gleise und liegen zwischen 174,46 und 174,89 über HN. ³¹

Die Gleise sind weitestgehend beidseitig mit Rangierwegen zu versehen. Diese werden aus einer sickerfähigen Deckschicht (Splitt-Brechsand-Gemisch) und einer ebenfalls sickerfähigen Auffüllung (Kiessand) hergestellt.

Der Gleiskörperaufbau kann dem Regelquerschnitt in Anlage 3 entnommen werden.

12.3. Planungsziel

Im Zuge dieser Erweiterung ist die Planumsentwässerung der neuen Gleisanlagen A4 und A5 sicherzustellen. Dies soll mit zu den Gleisen parallel verlaufenden Versickerungsanlagen realisiert werden, in welchen sich das Regenwasser sammeln und anschließend versickern kann.

³¹ Erläuterungsbericht iproplan, S. 4

Es waren zu prüfen:

- die rechtlichen Voraussetzungen für die Versickerung
- Art und Größe der Versickerungsanlage in Abhängigkeit von
 - o hydraulischer und stofflicher Belastung aus Niederschlagswasser und Boden
 - o Baugrundverhältnissen
 - o Einflüssen auf Bauwerke

12.4. Gesetzesgrundlagen und Regelwerke

Der Steinbruch Bernbruch und seine Gleisanlagen sind im Landkreis Bautzen angesiedelt, welcher sich im Bundesland Sachsen befindet.

Neben dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodschG) sind demnach die Sächsische Bauordnung (SächsBO), das Sächsische Wassergesetz (SächsWG) sowie die Erlaubnisfreiheits-Verordnung des Landes Sachsen (ErlFreihVO) von Bedeutung. Satzungen des Landkreis Bautzen oder der Stadt Kamenz, welche einen Anschluss- und Benutzungszwang an das öffentliche Kanalnetz fordern, bestehen nicht.

Eine erlaubnisfreie Versickerung ist nach § 4 ErlFreihVO ausgeschlossen, da die zu entwässernde Fläche gewerblich genutzt bzw. sich in einem Gewerbegebiet befindet.

„§ 4 ErlFreihVO, Anforderungen an die zu entwässernden Flächen³²

(1) Das Niederschlagswasser darf erlaubnisfrei versickert werden, wenn es von den folgenden zu entwässernden Flächen stammt:

1. außerhalb von Gewerbe- und Industriegebieten sowie Sondergebieten mit vergleichbaren Nutzungen gelegene
 - a) Dächer und Terrassen,
 - b) befestigte oder unbefestigte, nicht gewerblich, handwerklich oder industriell genutzte Grundstücksflächen oder
2. Wohnstraßen, Rad- und Gehwege.

(2) Das Niederschlagswasser von kupfer-, zink- und bleigedeckten Dächern ist von der erlaubnisfreien Versickerung ausgenommen.“

³² § 4 ErlFreihVO 2001

Die Erlaubnis muss bei der zuständigen unteren Wasserbehörde, hier das Umweltamt des Landratsamtes Bautzen, beantragt werden. Im vorliegenden Fall wurde dieser Antrag bereits im Rahmen einer „Prüfung der Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)“ eingereicht.

Für die Versickerungsanlage bedarf es nach § 67 Abs. 2 Nr. 5a SächWG keiner wasserrechtlichen Genehmigung.

„§ 67 SächsWG, Wasserrechtliche Genehmigung, Planfeststellung³³

(1) Bau und Betrieb von Abwasseranlagen und überörtlich bedeutsamen Wasserversorgungsanlagen einschließlich der überörtlichen Ver- und Entsorgungsleitungen sowie die wesentliche Veränderung oder Beseitigung derselben oder ihres Betriebs bedürfen der wasserrechtlichen Genehmigung.

(2) Die wasserrechtliche Genehmigung entfällt für folgende Anlagen:

1. Wasserversorgungsanlagen mit einer Kapazität von weniger als 300 m³ täglich oder Rohrleitungen mit weniger als 200 mm Nennweite,
2. Anschlusskanäle für häusliches Abwasser bis zum Anschluss an die öffentliche Abwasseranlage oder zur Vereinigung mit anderen Anschlusskanälen,
3. Abwasserkanäle für nicht häusliches Abwasser, das nicht mit gefährlichen Stoffen belastet ist und keiner öffentlichen Abwasserbehandlungsanlage zugeführt wird, wenn sie das Grundstück nicht verlassen,
4. Kleinkläranlagen,
5. abflusslose Gruben,
- 5a. Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser

....

Die Nummern 1 bis 11 gelten nicht für Anlagen in Wasser- oder Heilquellenschutzgebieten.“

Jedoch sieht die Sächsische Bauordnung im § 61 und 62 keine Ausnahmeregelung für dieses Bauvorhaben incl. Versickerungsanlage vor. Die Anlage ist nach § 2 Abs. 1 und § 59 SächsBO genehmigungspflichtig.

³³ § 67 SächsWG

Es gelten für die Planung, Bemessung und Bau der Versickerungsanlage folgende technische Regelwerke:

- Arbeitsblatt DWA-A 138
- Merkblatt DWA-M 153
- VOB/C: DIN 18300
- VOB/C: DIN 18306
- VOB/C: DIN 18308

Technische Vorschriften bei Gleisanlagen:

- RIL 836 – Vorschriften für Erdbauwerke (VE) der Deutschen Bahn AG
- DB TL 918039 – Technische Lieferbedingungen der Deutschen Bahn AG für Geokunststoffe

12.5. Beschreibung Versickerungsanlage Steinbruch Bernbruch

Die Versickerung der Regenwasserabflüsse soll ortsnah und dezentral erfolgen.

Für die Entwässerung des Planums der Gleise A4 und A5 wurden deshalb im Vorfeld Rigolen favorisiert. Hier kann das durch Quergefälle (5%) seitlich abfließende Wasser entlang der Strecke zunächst gespeichert und anschließend gleichmäßig im Baugrund versickert werden. Der Grundsatz der ortsnahen Versickerung wird damit erfüllt. Die Rigolen sollen eine Kiespackung (8/16), welche mit Filtervlies (gemäß DB TL 918039) umhüllt ist, erhalten. Die Abmessungen der Versickerungsanlagen wurden vorgeschätzt:

- Breite 0,40 m (für beide Gleise)
- Höhe 0,40 m (für beide Gleise)
- Sohlgefälle 0,00 % (für beide Gleise)
- Länge Gleis A4 382,32 m (bezogen auf Gleis A3:
Station 0+227,679 m bis 0+610,000 m)
- Länge Gleis A5 138,70 m (bezogen auf Gleis A3:
Station 0+310,000 m bis 0+448,701 m)

An den Stationen 0+156,653 m des Gleis A4 und 0+074,343 m des Gleis A5 befindet sich jeweils ein Tiefpunkt in der Längsneigung. Die Längsneigung der maßgebenden Bestandsgleise sowie des Urgeländes nehmen jeweils in Stationierungsrichtung bis zu diesem Punkt ab (Gefälle zwischen -0,085% und -0,15%). Im weiteren Verlauf ist bis zum Ausbauende (bei 0+650,743 m) ein Anstieg

der Längsneigung zwischen 0,10 % bis 0,15 % zu verzeichnen. An diesen Tiefpunkten wurden bei beiden Gleisen mit Kies aufgefüllte Sickerlöcher (Durchmesser 1,00 m und Tiefe 2,50 m) eingeplant. Diese erhalten ebenfalls ein Filtervlies als Umhüllung und dienen als zusätzliches Speichervolumen.

Bei der Baugrunderkundung wurde bei ca. 3,50 m Tiefe eine wasserstauende Schicht erbohrt. Auf dieser Bodenschicht (Sand-Schluff-Gemisch SU lt. Bodenansprache) kann das Niederschlagswasser nicht versickern und fließt in Richtung einer Böschung ab. Diese verläuft entlang der westlichen Grenzen des Flurstücks 589/12 sowie des Gleises A3 (zwischen Station 0+000,000 m und 0+227,679 m) und dient als Übergang von dem Gelände der Gleisanlage in ein tiefer gelegenes Waldgebiet. Der Höhenunterschied beträgt dabei ca. 2 m. Am Böschungsfuß sammelt sich das Sickerwasser aus der zu bebauenden Fläche in einer natürlichen Mulde und fließt südlich in einen natürlichen Versickerungsteich (Bild 34 + 35). Hier sowie in der Mulde versickert das Wasser erneut.



Bild 34

Versickerungsmulde an Böschung



Bild 35

Natürlicher Versickerungsteich

Für die Erweiterung des Gleis A3 soll zwischen den Stationen 0+000,000 m und 0+227,679 m keine Rigole verbaut werden. Grund hierfür ist der geringe Abstand zu der oben erwähnten Böschung. Das Regenwasser aus der Planumsfläche Gleis A3 sickert direkt über die Böschung in die natürliche Versickerungsmulde.



Bild 36

Blick auf Fläche für geplantes Gleis A3 von Station 0+000,000 m in Stationierungsrichtung

Im bereits vorhandenem Abschnitt des Gleis A3 (Station 0+227,679 m bis 0+650,743 m) bleiben auf Wunsch des Bauherrn das Planum, die Entwässerung sowie die Schotterbettung unverändert.

Der Niederschlagswasserabfluss auf den durchlässigen Rangierwegen versickert hier direkt in den Untergrund. Gegenüber der Ausgangssituation (unbefestigte, wasserdurchlässige Fläche) ändert sich diesbezüglich nichts.

12.6. Geotechnische Risiken

Im südlichen Teil der Verlängerung des Gleis A3 befindet sich die bereits vorhandene Band-Verladeanlage. Die Bedingungen für die Gründung dieser Anlage bezüglich des Sickerwassers ändern sich durch die Gleiserweiterung nicht. Auf der betreffenden Fläche versickerte das Regenwasser bereits in der Vergangenheit.

Der Einfluss des Sickerwassers auf die Böschung im Bereich Gleis A3 zwischen den Stationen 0+000,000 m und 0+227,679 m sollte möglichst im Rahmen eines Standsicherheitsnachweises für die Gleisanlage untersucht werden.

Die Tiefe des Grundwasserhorizonts ist unbekannt, wird aber aufgrund der Baugrunderkundung in einer ausreichenden Tiefe $> 3,50$ m ab OK Gleisanlagengelände angenommen. Eine Erhöhung des Grundwasserspiegels kann ausgeschlossen werden, da das Niederschlagswasser bisher schon auf der zu bebauenden Fläche versickerte.

Die Regenwasserabflüsse aus den Planumsflächen der Gleisanlagen sollen über die gesamte Gleisstrecke gleichmäßig verteilt in die Versickerungsanlage eingeleitet werden. Eine Konzentration von Sickerwasser in einem Teilbereich der Gleisanlage wird dadurch vermieden.

Der Baugrund wurde in der Bodenansprache bis zu einer Tiefe von ca. 3,50 m als Kies-Schluff-Gemisch (GU) eingestuft. Er wird als ausreichend durchlässig ($k_f = 2 \cdot 10^{-5}$) angenommen. Darunter befindet sich die in Abschnitt 12.5 angesprochene wasserstauende Bodenschicht SU. Ein Aufstau des Sickerwassers bis Höhe Gleisanlage kann aufgrund der Mächtigkeit und Flächengröße der Auffüllung sowie des festgestellten Abflusses durch die Böschung ausgeschlossen werden.

12.7. Schadstoffbelastungen

12.7.1. Regenwasserabfluss

Für eine näherungsweise Bewertung der Emissionen aus Luft und Fläche im Regenwasserabfluss wurde das Verfahren nach DWA-M 153 gewählt (**Anlage 16**). Da in diesem Verfahren eine konkrete Einstufung von Gleisanlagen fehlt, wurde aus Anlage 11 der Flächentyp 3 („geringe Belastung“ - „wenig befahrene Verkehrsflächen – bis zu 300 Kfz/24h – in Gewerbegebieten“) angenommen.

In näherer Umgebung der Gleise befinden sich Lagerplätze und Verladeanlagen, welche regelmäßig mit LKW und Radladern angefahren werden. Die Emissionen in der Luft wurden deshalb als stark eingeschätzt und nach Anlage 11 als Typ L4 eingestuft.

Ergebnis nach DWA-M 153:

Die Schadstoffbelastung des Regenwassers wurde als „mittlere Belastung“ (20 Punkte) eingestuft. Der Regenwasserabfluss ist einer Vorbehandlung zu unterziehen. Die Passage der unterhalb der Rigole anstehenden Bodenschicht (GU, $k_f = 2 \cdot 10^{-5}$, Mächtigkeit ca. 3 m) kann als ausreichende Vorbehandlung bewertet werden (**Anlage 16**).

Die Emissionen aus dem Regenwasser sind am Übergang von der ungesättigten zur gesättigten Bodenzone niedriger als die zulässige Gewässerbelastung ($E < G$).

Ergebnis nach DWA-M 138:

Nach dem Verfahren aus DWA-A 138, sind die Schadstoffbelastungen in Zeile 5 („wenig befahrene Verkehrsflächen – bis zu 300 Kfz/24h – in Gewerbegebieten“) einzuordnen und als „tolerierbar“ zu bewerten. Eine Rigolenversickerung ist demnach nur in Ausnahmefällen zulässig.

Schlussfolgerung:

Das Ergebnis nach DWA-A 138 berücksichtigt nicht die anstehende, drei Meter dicke Bodenschicht. Die Analyse nach DWA-M 153 geht genauer auf die örtlichen Gegebenheiten ein und liefert zuverlässigere Ergebnisse.

12.7.2. Boden

Eine Bodenanalyse wurde im Rahmen der Baugrunduntersuchung vom Bauherrn nicht beauftragt und somit nicht durchgeführt.

Das Gelände der neu geplanten Gleise befindet sich auf einer ca. 3,50 m mächtigen Auffüllung. Der Zeitraum der Auffüllung und die Herkunft des Materials sind unbekannt.

Bei der Bodenansprache wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

Bereits in der Vergangenheit wurde das Grundstück gewerblich genutzt. Konkrete Informationen über die daraus entstandenen Emissionen liegen nicht vor. Schadstoffbelastungen im Boden, z. B. durch Altlasten, und negative Auswirkungen auf das Grundwasser können nicht ausgeschlossen werden. Es besteht grundsätzlich ein Bedarf, den Untergrund chemisch zu analysieren.

Der Bauherr sollte schriftlich über diese Bedenken und die Gefahr der Unzulässigkeit der Versickerung informiert werden.

Im Falle einer unzulässigen Belastung wird empfohlen, das Flächenwasser anstelle der ortsnahen Versickerung mittels Dränageleitungen abzuleiten und mit ausreichendem Abstand außerhalb von schadstoffbelasteten Bereichen versickern zu lassen. Ist diese Variante nicht umsetzbar, muss das Regenwasser in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden.

Für die weitere Bearbeitung der Diplomarbeit und Bemessung der Entwässerungsanlage wurde ein unbelasteter Boden angenommen.

12.8. Topografische Einflüsse

Das Gelände für die zu erweiternde Gleisanlage enthält keine wesentliche Neigung.

Die Gleisanlagen besitzen geringe Längsgefälle zwischen 0,085 % bis 0,15 %. Die Sohlen der Rigolen sollen ohne Neigungen hergestellt werden. Damit wird die gleichmäßige Versickerung über die gesamte Strecke sichergestellt. Bei Neigungswechsel der Gleisanlage müssen die Rigolen treppenförmig abgestuft werden, ohne die Breite 0,40 m und die Höhe 0,40 m zu unterschreiten.

12.9. Landschaftsplanerische Gestaltung

Die optimale Flächenausnutzung steht für den Bauherrn der Gleisanlagenerweiterung im Vordergrund. Aus diesem Grund sollen die Versickerungsanlagen in Form von Rigolen komplett unterirdisch verbaut werden. Die Flächen zwischen den Gleisen bleiben dadurch als begehbarer Rangierweg für das Personal erhalten.

12.10. Bemessung am Beispiel Steinbruch Bernbruch

12.10.1. Grundlagen und Ergebnisse

Die Bemessung der gewählten Rigolen erfolgte nach dem Arbeitsblatt DWA-A 138, Anhang A.2.4.

Die Abflussflächen setzen sich aus der vollen Breite des Planums (4,00 m) zuzüglich der Rigolenbreite (0,40 m) und der jeweiligen Streckenlänge zusammen. Da wasserdurchlässige Auffüllungen und Deckschichten über der Rigole eingebaut werden sollen (Rangierweg), ist ein Regenwasserzufluss aus der anteiligen, darüber liegenden Oberfläche zu erwarten. Für die Flächenberechnung wurde die Breite der Rigole auf die Oberfläche projiziert.

Der Abflussbeiwert wurde mit 0,5 (Schotteroberbau mit durchlässigen Schutzschichten auf Planum – siehe Anlage 14) angesetzt und mit den Abflussflächen multipliziert. Als Durchlässigkeitsbeiwert wurde aus der Bodenansprache $k_f = 2 \cdot 10^{-5}$ angenommen und das Regenereignis wurde nach Empfehlung DWA-A 138 mit der Jährlichkeit $T_n = 5a$ ($n = 0,2$) gewählt.

Die Abmessungen der Rigolen (Breite = 0,40m, Höhe = 0,40) wurden vorgeschätzt und die hydraulische Leistungsfähigkeit mit den Berechnungen in den **Anlagen 17 bis 20** nachgewiesen.

Im ersten Teil des Nachweisverfahrens wurde die erforderliche Rigolenlänge iterativ anhand von Niederschlagsspenden aus Regenreihen für Kamenz (Aufzeichnungen des Deutschen Wetter Dienst, KOSTRA-DWD-2000, **Anlage 13**) ermittelt. Dabei war der größte Wert der erforderlichen Rigolenlänge maßgebend und die zugehörige Regenspende für alle weiteren Rechenschritte anzuwenden.

Im zweiten Teil des Nachweisverfahrens wurden die Summen aus Speichervermögen (Q_{sp}) sowie aus Versickerungsrate (Q_s) mit dem Regenzufluss (Q_{zu}) verglichen. Dabei waren je Gleis die Kapazitäten der Sickerlöcher hinzuzurechnen, jedoch nur zu 50 % (siehe Abschnitt 7.2.2).

Ergebnisse:

Anlage Nr. 17 – Gleis A4, Station 0+000,000 m bis 0+156,653 m

- ➔ vorhandene Länge 156,66 m > 142,68 m max. erforderliche Länge
- ➔ $Q_{zu} 2,71 \text{ l/s} < 3,50 \text{ l/s } Q_{sp+s}$

Anlage Nr. 18 – Gleis A4 Station 0+156,653 m bis 0+231,011 m

– Gleis A3, Station 0+577,686 m bis 0+610,000 m

- ➔ vorhandene Länge 225,66 m > 205,51 m max. erforderliche Länge
- ➔ $Q_{zu} 3,90 \text{ l/s} < 4,98 \text{ l/s } Q_{sp+s}$

Anlage Nr. 19 – Gleis A5, Station 0+000,000 m bis 0+074,343 m

- ➔ vorhandene Länge 74,34 m > 67,71 m max. erforderliche Länge
- ➔ $Q_{zu} 1,28 \text{ l/s} < 1,73 \text{ l/s } Q_{sp+s}$

Anlage Nr. 20 – Gleis A5, Station 0+074,343 m bis 0+138,701 m

- ➔ vorhandene Länge 64,36 m > 58,61 m max. erforderliche Länge
- ➔ $Q_{zu} 1,11 \text{ l/s} < 1,51 \text{ l/s } Q_{sp+s}$

Die Nachweise wurden bei allen Gleisabschnitten erfüllt! Die Kapazitätsreserven der Rigolen inkl. Sickerlöcher betragen zwischen 22 % und 26 %.

12.10.2. Mehrbelastung durch Längsneigung

Bei der o. g. Ermittlung von erforderlichen Rigolenlängen wird das gleichmäßig verteilte Abfließen über das Quergefälle in die Rigole vorausgesetzt. Im Rahmen dieser Bemessung wurde zusätzlich der Einfluss des Längsgefälles untersucht.

Eine zusätzlich zur Querneigung anstehende Längsneigung der zu entwässernden Fläche verursacht am Tiefpunkt (in Längsrichtung) u. U. eine hydraulische Mehrbelastung einer parallel verlaufenden Versickerungsanlage. Aus einer Quer- und Längsneigung geht die Schrägneigung (Resultierende) hervor. Ein Teil des abfließenden Regenwassers fließt dabei diagonal in die Versickerungsanlage.

Der andere Teil fließt erst am Tiefpunkt der Längsneigung in die Anlage. Dieser Anteil erhöht sich, je größer das Längsgefälle gegenüber dem Quergefälle ist. Hier muss ein entsprechend größeres Speichervolumen geschaffen werden, um einen Wasseraufstau, z. B. im Oberbau, zu vermeiden.

Erster Lösungsansatz:

$$Q_{zu,quer} = \frac{\text{Querneigung}}{(\text{Querneigung} + \text{Längsneigung})} * Q_{zu}$$

Formel 14 Anteiliger Zufluss in Querrichtung

$$Q_{zu,längs} = \frac{\text{Längsneigung}}{(\text{Querneigung} + \text{Längsneigung})} * Q_{zu}$$

Formel 15 Anteiliger Zufluss in Längsrichtung

Die Berechnung in der Praxisaufgabe erfolgte für das Gleis A4, zwischen den Stationen 0+156,653 m und 0+231,011 m, da hier das größte Längsgefälle anliegt. Dabei wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

Längsneigung: 0,15 % Querneigung: 5 %
 Länge Teilstrecke: 74,36 m Breite Planum: 4,40 m
 Regenspende: $r_{60;02} = 78,50 \text{ l/(s*ha)}$

$$\text{Abfluss aus Teilstrecke: } Q_{zu} = \frac{r_{D;n} * A_u}{10000} = \frac{78,5 \text{ l/s} * 74,36 \text{ m} * 4,40 \text{ m}}{10000} = 2,57 \text{ l/s}$$

$$\text{Abfluss pro Meter: } q_{zu} = \frac{2,57 \text{ l/s}}{74,36 \text{ m}} = 0,035 \text{ l/(s * m)}$$

$$\text{Abfluss aus Querneigung: } Q_{zu,quer} = \frac{5\%}{(5\%+0,15\%)} * 2,57 \text{ l/s} = 2,50 \text{ l/s}$$

$$\text{Abfluss aus Längsneigung: } Q_{zu,längs} = \frac{0,15\%}{(5\%+0,15\%)} * 2,57 \text{ l/s} = 0,075 \text{ l/s}$$

$$\text{Abfluss am Tiefpunkt: } Q_{zu,gesamt} = q_{zu} + Q_{zu,längs} = 0,035 \text{ l/s} + 0,075 \text{ l/s} = 0,11 \text{ l/s}$$

Speichervermögen + Versickerungsrate pro Meter (Ausgangswerte aus Anlage 18):

$$\frac{Q_{sp,R} + Q_{s,R}}{l_R} = \frac{3,51 \text{ l/s} + 1,35 \text{ l/s}}{225,66 \text{ m}} = 0,022 \text{ l/s}$$

An der Station 0+156,653 m des Gleis A4 wirkt auf einen 1m-Streifen eine hydraulische Belastung i. H. v. 0,11 l/(s*m). Dieser Wert ist höher als der Wert der Rigolenkapazität i. H. v. 0,022 l/(s*m) an dieser Stelle. Hier muss das Speichervolumen der Rigole entsprechend erhöht werden (Sickerloch mit Kies gefüllt).

Sickerloch vorgeschätzt mit:

Außendurchmesser	$d_a = 1,00 \text{ m}$
Innendurchmesser	$d_i = 1,00 \text{ m}$
Einstauhöhe	$z = 2,50 \text{ m}$

Gemäß Berechnung in Anlage 18 wurden ein Speichervermögen von 0,10 l/s und eine Versickerungsrate von 0,02 l/s errechnet. Dabei wurden jeweils nur 50% bei dem rechnerischen Nachweis angesetzt, da das Sickerloch auch für die Strecke von Station 0+000,000 m aus kommend als Zusatzspeicher genutzt werden soll.

Nachweis:

$$Q_{sp,S} + Q_{s,S} = 0,10 \text{ l/s} + 0,02 \text{ l/s} = 0,12 \text{ l/s} > Q_{zu,gesamt} = 0,11 \text{ l/s}$$

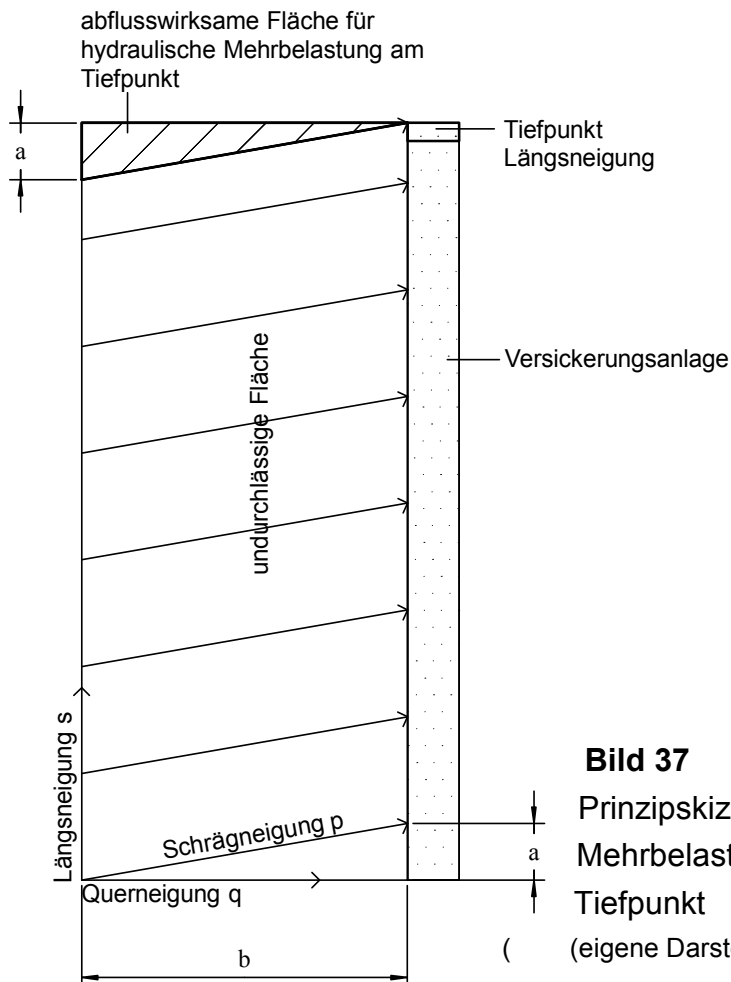
Das Speicher- und Sickervermögen des Sickerlochs an Gleis A4 ist größer als der Zufluss am Tiefpunkt desselben Gleises. Aus dem Gleisabschnitt 0+000,000 m bis 0+156,653 m ist kein größerer Zufluss am Tiefpunkt zu erwarten, da hier die Längsgefälle wesentlich geringer sind (0,018 bis 0,085 %). Nachweis erfüllt!

Die Berechnung für Gleis A5 erfolgt analog.

Die aus diesem Rechenweg resultierenden Ergebnisse sind ungenau, da sie die o. g. Schrägneigung nicht berücksichtigen. Die tatsächliche Mehrmenge des Wassers am Tiefpunkt ist geringer.

Zweiter Lösungsansatz:

Für eine genauere Ermittlung kann der Abfluss aus der nachfolgend abgebildeten schraffierten Fläche errechnet werden.

**Bild 37**

Prinzipskizze (Draufsicht) zur Ermittlung der Mehrbelastung Versickerungsanlage am Tiefpunkt
(eigene Darstellung)

Die genauere Berechnung anhand Flächenberechnung Bild 37 ergibt:

$$p = 0,15 \% \quad q = 5 \% \quad b = 4,40 \text{ m}$$

$$\text{Winkel der Schrägneigung: } \arctan \alpha = \frac{0,15}{5} \quad \alpha = 1,72^\circ$$

$$\text{Abstand der Verzögerung: } a = \tan \alpha * b = \tan 1,72^\circ * 4,40 \text{ m} = 0,13 \text{ m}$$

$$\text{Undurchlässige Fläche } A_{u,C}: \quad A_{u,C} = \frac{a*b}{2} * \Psi = \frac{0,13 \text{ m} * 4,40 \text{ m}}{2} * 0,5 = 0,143 \text{ m}^2$$

$$\text{Zufluss aus Fläche C: } Q_{zu} = \frac{r_{D;n} \cdot A_u}{10000} = \frac{78,50 \text{ l/s} \cdot 0,143 \text{ m}^2}{10000} = 0,0011 \text{ l/s}$$

$$\text{Zufluss am Tiefpunkt: } Q_{zu,gesamt} = q_{zu} + Q_{zu,C} = 0,035 \text{ l/s} + 0,0011 \text{ l/s} = 0,036 \text{ l/s}$$

Der Wert der Belastung i. H. v. 0,036 l/s ist wesentlich niedriger als der Wert i. H. v. 0,11 l/s aus dem ersten Lösungsansatz.

Um eine ausreichende Reserve am Tiefpunkt der Versickerungsanlage zu schaffen, wurden bei Station 0+156,653 m die für die Gleise A4 und A5 jeweils vorgesehenen, mit Kies gefüllten Sickerlöcher mit Außendurchmesser 1 m und 2,50 m Tiefe beibehalten (sichere Seite).

12.10.3. Bemessung einer Alternativlösung

Zur mit Kies gefüllten Rigole soll hier eine Alternative zum Vergleich untersucht werden.

Gewählt:

Box-Rigolen (Füllkörper-Rigolen) „Rigo-Fill“ der Fa. Fränkischen Rohrwerke AG

Abmaße: 80x80x60 cm (kleinstes Bauteil)

Speicherkoeffizient: 95 % (vgl. Kies ca. 35%)

Im Gegensatz zur Kies-Rigole sind Breite und Höhe bei diesem System nicht individuell wählbar. Es wurde die kleinste Größe ausgewählt.

Die Bemessung und das Nachweisverfahren erfolgten repräsentativ für die gesamte Entwässerungsanlage am Gleis A4 analog zur Kies-Rigole. Dabei wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

Anlage Nr. 21 – Gleis A4, Station 0+000,000 m bis 0+156,653 m

➔ vorhandene Länge 156,66 m > 27,15 m max. erforderliche Länge

➔ $Q_{zu} 1,25 \text{ l/s} < 8,33 \text{ l/s } Q_{sp+s}$

Die Reserve beträgt ca. 85 % und ist damit wesentlich größer gegenüber der Kies-Rigole mit ca. 30 %.

Mit den Box-Rigolen wäre die Entwässerungsanlage deutlich überbemessen.

12.11. Kosten

Repräsentativ sollen für das Gleis A4 die Baukosten verglichen werden. Grunderwerbskosten fallen nicht. Die Einheitspreise basieren auf eigenen regionalen Erfahrungswerten und beinhalten keine Kosten für Baustelleinrichtung. Die Kalkulation befindet sich in **Anlage 22**.

**Kies-Rigole 0,40 x 040 x 382 m + Sickerloch 1m x 2,50 m
jeweils mit Kies 8/16 gefüllt und Geotextil umhüllt:**

Grabenaushub ab OK Planum, ohne Böschung,
einschl. Transport + Entsorgung:

$$(0,40 \times 0,40 \times 382 \text{ m}) + (\pi \times 1 \text{ m}^2 \times 2,50 \text{ m} / 4) = 63,08 \text{ m}^3$$

Geotextil GRK 3 liefern und verlegen:

$$(4 \times 0,40 \times 382) + (\pi \times 1 \text{ m} \times 2,50 \text{ m}) + (\pi \times 1 \text{ m}^2 / 4) = 619,84 \text{ m}^2$$

Kies 8/16 liefern und einbauen:

$$(0,40 \times 0,40 \times 382 \text{ m}) + (\pi \times 1 \text{ m}^2 \times 2,50 \text{ m} / 4) = 63,08 \text{ m}^3$$

Gesamtsumme (netto) = 3.152,50 EUR

Box-Rigole (Füllkörper) mit 0,80 x 080 x 382 m mit Geotextil umhüllt:

Grabenaushub ab OK Planum, ohne Böschung,
einschl. Transport + Entsorgung:

$$0,80 \times 0,60 \times 382 \text{ m} = 183,36 \text{ m}^3$$

Geotextil GRK 3 liefern und verlegen:

$$(2 \times 0,80 \text{ m} + 2 \times 0,60 \text{ m}) \times 382 \text{ m} = 1069,60 \text{ m}^2$$

Box-Rigole „Rigo-fill“ inkl. Verbinder und
Stirnwand liefern und einbauen:

$$382 \text{ m} / 0,80 \text{ m} / \text{St} = 478 \text{ St}$$

Gesamtsumme (netto) = 43.398,01 EUR

Ergebnis: 43.398,01 EUR – 3.152,60 EUR = 40.245,41 EUR

Die Variante mit Box-Rigolen beinhaltet ein größeres Speichervolumen, weshalb ein zusätzliches Sickerloch nicht notwendig ist. Jedoch sind die Kosten gegenüber der mit Kies gefüllten Rigole um 40.245,41 EUR höher. Der Kostenaufwand für Kontrollschächte wurde bei dieser Berechnung nicht erfasst.

Bei der Auswertung muss allerdings beachtet werden, dass bei den Box-Rigolen eine einfache und kostengünstige Wartung und Kontrolle der Funktionsfähigkeit, z. B. durch Kamerainspektion, möglich ist.

13. Schlussfolgerung

Die Versickerung von Niederschlagsabflüssen in den Untergrund ist die natürlichste Form der Entwässerung. Der Mensch beeinflusst den Weg der Versickerung durch Bauwerke und bringt Schadstoffe ein. Deshalb werden an Versickerungsanlagen hohe Anforderungen gestellt.

Anhand der erläuterten Entscheidungskriterien wird deutlich, dass für eine Gewährleistung der Leistungsfähigkeit dieser Anlagen die Abstimmung von Planung und Bau auf vorhandene Risiken entscheidend ist. Die Erhaltung der Stabilität von benachbarten Bauwerken steht zusätzlich im Fokus der Planungsaufgaben.

Aufgrund der hohen Anforderungen ist die Bandbreite der Einflussfaktoren groß. Eindeutig wahrnehmbare Gegebenheiten spielen dabei gleichermaßen eine Rolle wie aufwendig zu analysierende Einflussgrößen. Voraussetzung für eine zuverlässige Auswahl von Versickerungsanlagen ist die Analyse aller Kriterien, da diese in direkter Beziehung zueinander stehen.

Örtliche Bedingungen für eine naturnahe Regenwasserbewirtschaftung variieren stark, so dass Anlagenform, Risiken und Kosten für jedes Projekt neu bewertet werden müssen.

In dem Praxisbeispiel „Erweiterung Anschlussbahn Steinbruch Bernbruch“ wurden die Einflussgrößen einzeln untersucht. Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass auf Basis der getroffenen Annahmen (kf-Wert und Schadstoffbelastungen), alle Anforderungen erfüllt sind. Die im Vorfeld favorisierten Kies-Rigolen können unter diesen Voraussetzungen mit den vorgeschätzten Abmessungen eingesetzt werden.

Aus den Gegebenheiten der Gleisstrecken (geringes Längsgefälle) ergibt sich die Notwendigkeit einer parallel verlaufenden Entwässerungseinrichtung, welche seitlich abfließendes Regenwasser erfasst. Eine Ableitung des Regenwassers in Teilsickerrohren mit anschließender zentraler Versickerung oder Einleitung in die öffentliche Kanalisation ist in diesem Fall mit zusätzlichen Kostenaufwendungen verbunden. Diese können aufgrund der erfüllten Voraussetzungen für eine ortsnahe Versickerung eingespart werden.

Andere Varianten der Regenentwässerung kommen vor allem aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und des großen Flächenbedarfs für Lagerplätze im Steinbruch nicht in die engere Auswahl.

Literaturverzeichnis

Benedix, Roland: Einführung in die Bauchemie für Bauingenieure und Architekten. 4., überarb. und aktual. Aufl. Wiesbaden, 2008

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), BGBl. I S. 2585, 2009

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft [Hrsg.], Abwasser und Abfall e.V.:
Arbeitsblatt ATV-DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur
Versickerung von Niederschlagswasser, 2. Auflage, Hennef 2005

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft [Hrsg.], Abwasser und Abfall e.V.:
Arbeitsblatt ATV-DWA-A 166: Bauwerke der zentralen Regenwasser-
behandlung und -rückhaltung, 1. Auflage, Hennef 1999

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft [Hrsg.], Abwasser und Abfall e.V.:
Merkblatt ATV-DWA-M 153: Handlungsempfehlung zum Umgang mit
Regenwasser, 1. Auflage, Hennef 2007

Dörken, Wolfram; Dehne, Erhard; Kliesch, Kurt: Grundbau in Beispielen Teil 1, 4.
Auflage, Köln 2009

Floss, Rudolf: Handbuch ZTVE-StB 94 Kommentar mit Kompendium Erd- und
Felsbau. 3. Aufl. Bonn, 2006

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [Hrsg.]:, Hinweise zur
Versickerung von Niederschlagswasser im Straßenraum, Ausgabe 2002

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [Hrsg.]:, Merkblatt für
wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen, Ausgabe 1998

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [Hrsg.]: RAS-Ew Richtlinie
für die Anlage von Straßen – Teil: Straßenentwässerung, Ausgabe 2005,
Fassung 2007

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [Hrsg.]: RiStWag-
Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in
Wasserschutzgebieten, Ausgabe 2002

Fränkische Rohrwerke: Handbuch zur Regenwasserbewirtschaftung, 2010, In:

http://www.fraenkische-drain.de/data/downloadarea_files/GB-D/RWB_Gesamt_de.pdf, 08.05.2011

Geiger, Wolfgang; Dreiseitl, Herbert: Neue Wege für das Regenwasser: Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten, 1. Auflage, München 1995

Geiger, Wolfgang; Dreiseitl, Herbert; Stemplewski, J.: Neue Wege für das Regenwasser: Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten, 3. Auflage, München 2009

Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG Wasserhaushaltsgesetz), BGBl. I S. 2585, 2010

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz -BBodSchG), BGBl. I S. 3214, 2004

Grotehusmann, Dieter; Harms, Richard: Kommentar zum Arbeitsblatt ATV-DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, 2. Auflage, Hennef 2008

Hütter, Ulrike, Remmler, Frank: Möglichkeiten und Grenzen der Versickerung von Niederschlagsabflüssen in Wasserschutzgebieten, Veröffentlichung des Instituts für Wasserforschung GmbH Dortmund und der Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH, Nr. 54a, Dortmund, 1997

INTEWA GmbH: Grundlagen Planung Regenwasserversickerung, In:

<http://regenwasserversickerung.intewa.de/index-regenwasserversickerung.php>, 08.05.2011

REHAU AG: Regenwasserbewirtschaftung: Nachhaltige und effektive Lösungen, 2011, In:

http://www.rehau.de/files/Katalog_Regenwasserbewirtschaftung_838050-7.pdf, 15.05.2011

Richtlinie 2000/60EG des europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie-WRRL), ABI. L 327, 2000

Sächsisches Wassergesetz (SächsWG), SächsGVBl. S. 374, 397, 2004

Schneider, Klaus-Jürgen; Goris, Alfons : Bautabellen für Ingenieure, 18. Auflage, Köln, 2008

Umweltbundesamt, Versickerung und Nutzung von Regenwasser, In:
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2973.pdf>, 20.04.2011

Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft
über die Erlaubnisfreiheit von bestimmten Benutzungen des Grundwassers
(Erlaubnisfreiheits-Verordnung – ErlFreihVO), SächsGVBl. S. 453, 454, 2001

Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch
(Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001), BGBl. I S. 748, 2011

Wiederspahn, Max: Versickerung von Niederschlagswasser aus
geowissenschaftlicher Sicht. – Schriftenreihe Bundesverband Deutscher
Geologen, Geophysiker und Mineralogen, Heft 15, 1. Auflage, Bonn 1997

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Bilder Steinbruch Bernbruch
Anlage 2	Lageplan Blatt 1 und Blatt 2 Steinbruch Bernbruch
Anlage 3	Regelquerschnitte Steinbruch Bernbruch
Anlage 4	Technische Regelwerke für die Planung, Bemessung und Ausführung von Versickerungsanlagen
Anlage 5	Längsschnitte Steinbruch Bernbruch
Anlage 6	Auswahl von Grenz-, Richt- und Orientierungswerten für Wasser
Anlage 7	Übersicht: Versickerung der Niederschlagsabflüsse unter Berücksichtigung der abflussliefernden Flächen
Anlage 8	Bewertungspunkte für Gewässer
Anlage 9	Durchgangswerte bei flächenhafter Versickerung
Anlage 10	Durchgangswerte von Filter- und Sedimentationsanlagen
Anlage 11	Bewertungspunkte für Einflüsse aus der Luft und Fläche
Anlage 12	Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung
Anlage 13	Niederschlagshöhen und –spenden für Kamenz (KOSTRA-DWD 2000)
Anlage 14	Mittlere Abflussbeiwerte
Anlage 15	Auswahlmatrix
Anlage 16	Schadstoffbewertung nach DWA-M 153 Steinbruch Bernbruch
Anlage 17	Bemessung Rigole Gleis A4, Station 0+000,000 m bis 0+156,653 m
Anlage 18	Bemessung Rigole Gleis A4 Station 0+156,653 m bis 0+231,011 m Gleis A3, Station 0+577,686 m bis 0+610,000 m
Anlage 19	Bemessung Rigole Gleis A5, Station 0+000,000 m bis 0+074,343 m
Anlage 20	Bemessung Rigole Gleis A5, Station 0+074,343 m bis 0+138,701 m
Anlage 21	Bemessung Box-Rigole Gleis A4, Station 0+000,000 m bis 0+156,653m
Anlage 22	Kostenkalkulation Kies- und Box-Rigole Gleis A4

Ehrenwörtliche Erklärung

"Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich",

1. dass ich meine Diplomarbeit mit dem Thema

.....
Planung und Bemessung von Niederschlagswasser-Versickerungsanlagen
.....

ohne fremde Hilfe angefertigt habe,

2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und

3. dass ich meine Diplomarbeit bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Wilkau-Haßlau, 09.09.2011

Ort, Datum

Unterschrift