



Universität
Gesamthochschule
Essen
Fachbereich 10 • Bauwesen
Siedlungswasserwirtschaft

Verbesserung von Planung, Betrieb und Wartung ausgewählter Anlagen zur Versickerung von Re- genwasser

Diplomarbeit

Projektleitung:	Prof. Dr.-Ing. W. F. Geiger
Projektbearbeitung:	cand.-Ing. S. Fach, Matr. Nr. 1017190
Projektbetreuung:	Dr.-Ing. C. Dierkes

Schermbeck, Mai 2000

Inhalt

	Seite
Inhaltsverzeichnis	I
Verzeichnis der Formelzeichen	III
Verzeichnis der Bilder	III
Verzeichnis der Tabellen	IV
1 Problematik und Zielsetzung	1
2 Kenntnisstand zur Versickerung	2
2.1 Bodenphysikalische Grundlagen	2
2.2 Grundlagen der Bodenhydraulik bei Infiltrationsvorgängen	4
2.3 Grundlagen über die Beschaffenheit des zu versickernden Wassers	4
2.4 Stoffumwandlungsprozesse im Boden	5
2.4.1 Physikalische Reinigungsprozesse	6
2.4.2 Chemische Reinigungsprozesse	6
2.4.3 Biologische Reinigungsprozesse	7
2.5 Arten der Versickerung	7
2.5.1 Flächenversickerung	8
2.5.2 Muldenversickerung	8
2.6 Vorschriften zur Versickerung	9
2.6.1 Bemessung von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser nach ATV-A 138	10
2.6.2 Wasserhaushaltsgesetz (1996), Landeswassergesetz NW (1995) und Erlaß des Ministeriums für Umwelt-, Raum- und Landwirtschaft zur Niederschlagswasserbeseitigung	11
2.6.3 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999)	12
3 Untersuchungsgebiete und Darstellung der Untersuchungsergebnisse	14
3.1 Untersuchungsgebiet „Oberholzweg 9 - 11“ in Essen	14
3.2 Untersuchungsgebiet „Filchnerstraße 68 - 74“ in Mülheim	15
3.3 Untersuchungsergebnisse zur Bestimmung der Bodeneigenschaften	17
3.3.1 Korngrößenverteilung der Bodenproben	17
3.3.2 Wasserdurchlässigkeit der Bodenproben	18
3.3.3 Organische Bestandteile der Bodenproben	19
3.3.4 pH-Wert der Bodenproben	21
3.3.5 Schwermetallgehalte der Bodenproben	22
3.4 Dimensionierung der Versickerungsanlage in Essen	23
3.4.1 Dimensionierung der Versickerungsanlage mittels Lastfallverfahren	24
3.4.2 Nachweis der Versickerungsmulde unter Verwendung von R-Win	24

4	Bewertung der Untersuchungsergebnisse und Empfehlungen hinsichtlich Planung, Betrieb und Wartung von Anlagen zur dezentralen Versickerung	26
4.1	Bewertung der Versickerungsanlage in Essen „Oberholzweg 9 - 11“ hinsichtlich Planung, Betrieb und Wartung	26
4.2	Bewertung der Versickerungsanlage in Mülheim „Filchnerstraße 68 - 74“ hinsichtlich Planung, Betrieb und Wartung	27
4.3	Empfehlungen für die Planung, Betrieb und Wartung von Anlagen zur dezentralen Versickerung	27
4.3.1	Empfehlungen für die Planung	27
4.3.2	Empfehlungen für den Betrieb und die Wartung	30
5	Literaturverzeichnis	31

Verzeichnis der Formelzeichen

η	dynamische Viskosität	[N · s/m ²]
Δp	Druckdifferenz	[Pa]
A	durchflossene Querschnittsfläche	[m ²]
A _{red}	angeschlossene befestigte Fläche	[m ²]
A _S	Versickerungsfläche	[m ²]
D	Dauer des Bemessungsregens	[min]
h	Überfallhöhe	[m]
i	hydraulischer Gradient	[-]
k _f	Durchlässigkeitsbeiwert der gesättigten Zone	[m/s]
l	Fließstrecke	[m]
Q	Wasserdurchfluß	[m ³ /s]
Q _ü	Abfluß an einem Überfall	[m ³ /s]
r	Porenradius	[m]
r _{D(n)}	Regenspende für die Dauer D und die Häufigkeit n	[l/(s · ha)]
s _F	Fugenanteil einer durchlässigen Flächenbefestigung	[-]
v	Filtergeschwindigkeit, Fließgeschwindigkeit	[m/s]
V _S	Speichervolumen	[m ³]

Verzeichnis der Bilder

Bild 2-1:	Einfluß von pH-Wert und organischen Komplexbildnern auf die Löslichkeit von Kupfer und Zink in einem belasteten Sandboden (Cu: 115 mg/kg; Zn: 123 mg/kg) (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998)	7
Bild 2-2:	Flächenversickerung (Schnitt) (GEIGER et DREISEITL, 1995)	8
Bild 2-3:	Muldenversickerung (Schnitt) (GEIGER et DREISEITL, 1995)	9
Bild 3-4:	untersuchte Mulde in Essen am Oberholzweg 9 - 11	14
Bild 3-5:	Ausschnitt aus der geologische Karte L4508 Essen (GEOLOGISCHES LANDESAMT, 1984)	15
Bild 3-6:	untersuchte Mulde in Mülheim in der Filchnerstraße 68 - 74	16
Bild 3-7:	Säulenprofil der Bohrung RKS 1 (INGENIEURBÜRO BECK, 1998)	17
Bild 3-8:	Summenanteile der einzelnen Kornfraktionen der Bodenprobe in %	18
Bild 3-9:	Durchlässigkeitsbeiwert der Bodenproben in m/s	19
Bild 3-10:	Glühverlust der Bodenproben in %	20
Bild 3-11:	pH-Wert der Bodenproben	21
Bild 3-12:	Schwermetallgehalte der Bodenproben aus Essen in mg/kg Trockensubstanz	22
Bild 3-13:	Schwermetallgehalte der Bodenproben aus Mülheim in mg/kg Trockensubstanz	23
Bild 3-14:	Zuflußganglinie 4.11.1960	25
Bild 3-15:	Infiltrationsganglinie 4.11.1960	25

Bild 3-16:	Volumenganglinie 4.11.1960	25
Bild 3-17:	Überlaufganglinie 4.11.1960	25
Bild 4-18:	Überprüfung auf Machbarkeit der Versickerung von Regenwasser in Wohngebieten	28
Bild 4-19:	Ausarbeitung eines Konzeptes zur Versickerung von Regenwasser nach erfolgter Überprüfung auf Machbarkeit	29

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2-1:	Einteilung von Grob- und Feinkornbereiche (nach DIN 4022, 1987)	2
Tabelle 2-2:	Anteil des Porenvolumens und der Porengrößenbereiche am Gesamtvolumen von Mineralböden (C-Gehalt bis 2 %) (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998)	3
Tabelle 2-3:	Einteilung des Bodenwassers nach der Bindungsart	3
Tabelle 2-4:	Durchlässigkeitsbeiwerte k_f von Böden unterschiedlicher Körnung (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998)	4
Tabelle 2-5:	Abflußgemittelte Stoffkonzentrationen im Niederschlag und im Dachabfluß (GEIGER et al., 1998)	5
Tabelle 2-6:	Grenz-pH-Werte für eine beginnende Mobilisierung verschiedener Schwermetalle und deren relative Verfügbarkeit (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998)	7
Tabelle 2-7:	Qualitative Bewertung der Niederschlagsabflüsse hinsichtlich der Niederschlagswasser-Versickerung in Abhängigkeit der Flächennutzung (ATV-A 138, 1999)	10
Tabelle 2-8:	Gegenüberstellung der Änderungen in ATV-A 138 von 1999 zu der Fassung von 1990	11
Tabelle 2-9:	ausgewählte Vorsorgewerte für Böden (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1999)	12
Tabelle 2-10:	Zulässige zusätzliche jährliche Frachten für ausgewählte Schadstoffe (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1999)	12
Tabelle 2-11:	ausgewählte Prüfwerte für die direkte Aufnahme von Schadstoffen (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1999)	13
Tabelle 2-12:	Analyse zur Bestimmung physikalisch-chemischer Eigenschaften von Böden und ausgewählter anorganischer Schadstoffe (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1999)	13
Tabelle 3-13:	Gegenüberstellung der nach ATV-A 138 in der Fassung von 1990 und 1999 ermittelten Muldenvolumina beziehungsweise Muldentiefen für Essen	24

1 Problematik und Zielsetzung

Die Versiegelung von besiedelten Flächen bewirkt bei Niederschlagsereignissen einen erhöhten Oberflächenabfluß, der bei Entwässerung im Mischsystem zu Entlastungen in den Vorfluter führt. Dadurch werden die Gewässer stofflich und hydraulisch zusätzlich belastet. Die Zielsetzung einer nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung besteht darin, die Abflußverhältnisse eines bebauten Gebietes denen des unbebauten Zustandes anzugleichen. Die dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser ist ein geeignetes Mittel zur Schließung beziehungsweise zur Wiederherstellung des kleinräumigen Wasserkreislaufes. Die gesetzliche Grundlage für das gezielte Einleiten von Niederschlagswasser in den Untergrund bildet das Landeswassergesetz von Nordrhein-Westfalen. In diesem wird in § 51a für Grundstücke, die nach dem 1. Januar 1996 erstmals bebaut werden, die Versickerung, die Verrieselung oder die ortsnahe Einleitung in ein Gewässer unter dem Vorbehalt gefordert, das Wohl der Allgemeinheit nicht zu beeinträchtigen. Aufgrund der gesetzlichen Vorgaben, eines geänderten Umweltbewußtseins, sowie aus ökonomischen Überlegungen heraus findet die Anwendung von Versickerungsanlagen immer häufiger statt.

Allerdings sind bei vielen Anlagen hinsichtlich der Ausführung und der Wartung Mängel festgestellt worden, durch die ein ordnungsgemäßer Betrieb nicht sichergestellt werden kann. Durch Betriebsstörungen entstehen nicht nur materielle und finanzielle Schäden, sondern es ist davon auszugehen, daß dadurch die Akzeptanz für die Versickerung von Niederschlagswasser in der Bevölkerung schwindet. Das Ziel der Diplomarbeit ist daher, mögliche Fehler an fertiggestellten Anlagen aufzuzeigen und die Ursachen für diese Fehler herauszuarbeiten. Überdies wird das von Versickerungsanlagen in innerstädtischen Bereichen ausgehende Gefährdungspotential für das Grundwasser infolge von Schwermetallen, wie Cadmium, Blei, Kupfer und Zink, untersucht und beurteilt.

Zur Erzielung einer ausreichenden Planungssicherheit ist es erforderlich, Kenntnis über die bei der Infiltration von Regenwasser im Boden ablaufenden Vorgänge zu besitzen. Deshalb befaßt sich Kapitel 2 zunächst mit der Erläuterung der zur Beschreibung und Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit von Böden notwendigen Kenngrößen. Zur Beurteilung des von den Schwermetallen ausgehenden Gefährdungspotentials für das Grundwasser folgt ein Überblick über die im Boden wirksamen Reinigungsprozesse. Daran anschließend werden zwei verschiedene Versickerungsarten, nämlich die Flächen- und die Muldenversickerung, mit den dazugehörigen Bemessungsformeln vorgestellt. Ferner beinhaltet Kapitel 2 eine Erläuterung der Vorschriften, die bei der Planung von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser zu beachten sind. In Kapitel 3 werden die Analyseergebnisse zur Bestimmung der Bodeneigenschaften hinsichtlich der Korngrößenverteilung, der Wasserdurchlässigkeit, der organischen Bestandteile, des pH-Wertes und der Schwermetallbelastung wiedergegeben und festgestellte Zusammenhänge aufgezeigt. Überdies erfolgt in Kapitel 3 die Darlegung der Bemessungsergebnisse für eine Muldenversickerung mittels Lastfallverfahren nach ATV-A 138 (1990 und 1999) und mittels Nachweisverfahren mit dem Programm R-Win in der Version 2.0. Im Anschluß daran erfolgt in Kapitel 4 eine abschließende Beurteilung der Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Aspekte Planung, Betrieb und Wartung, aufgrund derer die Empfehlungen für Versickerungsanlagen herausgearbeitet werden.

2 Kenntnisstand zur Versickerung

Grundlage für die Planung von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser ist eine Untersuchung und Beurteilung des anstehenden Bodens auf seine Eignung zur Versickerung. Diese Beurteilung hat nach quantitativen Aspekten, wie der Versickerungsfähigkeit, und nach qualitativen Aspekten, wie der Schwermetallbelastung, zu erfolgen, um ein von der Versickerung ausgehendes Gefährdungspotential für das Grundwasser und somit für den Menschen ausschließen zu können. In Abhängigkeit von abzukoppelnder Fläche, für die Versickerung nutzbarer Fläche und der Wasserdurchlässigkeit des Bodens ist die zweckmäßigste Variante einer Versickerungsanlage zu wählen. Für die Planung dieser Anlagen sind die Bemessungsvorschriften in ATV-A 138 (1999) und die vom Wasserhaushaltsgesetz abgeleiteten Landeswassergesetze und die dazugehörigen Erlasse zu beachten.

2.1 Bodenphysikalische Grundlagen

In der Bodenkunde versteht man unter Boden den durch bodenbildende Prozesse, wie Gesteinsverwitterung, Mineralumbildung und -neubildung, Humusbildung, Gefügebildung und Stoffverlagerung, entstandenen obersten Teil der Erdkruste (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998). In DIN 4022 (1987) wird grundsätzlich zwischen anorganischen und organischen Bodenarten unterschieden. Die anorganischen Böden werden in der Bodenmechanik einheitlich nach dem Korngrößenbereich der Bodenart bezeichnet. Bei zusammengesetzten Bodenarten sind zusätzlich die Beimengungen anzugeben. Tabelle 2-1 enthält die Einteilung von Böden nach Korngrößen.

Tabelle 2-1: Einteilung von Grob- und Feinkornbereiche (nach DIN 4022, 1987)

	Schlämmkorn (Feinkornbereich)				Siebkorn (Grobkornbereich)					
Korngröße [mm]	≤ 0,002	0,002 bis 0,006	0,006 bis 0,02	0,02 bis 0,06	0,06 bis 0,2	0,2 bis 0,6	0,6 bis 2,0	2,0 bis 6,3	6,3 bis 20,0	20,0 bis 63,0
Fraktion		Fein-	Mittel-	Grob-	Fein-	Mittel-	Grob-	Fein-	Mittel-	Grob-
Benennung	Ton	Schluff			Sand			Kies		

Wegen der verschiedenen Korngrößenverteilungen sowie der Formenvielfalt der Partikel kann die feste Phase der Böden auch bei dichtester Lagerung den Raum nicht vollständig ausfüllen. In Böden existieren zwei Porensysteme, die einander durchdringen, nämlich ein feineres Primärporensystem und ein gröberes Sekundärporensystem.

Das Primärporensystem ist durch die Körnung und die Kornform bedingt. Vergleicht man Packungen aus Kugeln verschiedener Größe, so nimmt das Porenvolumen ab, wenn die Unterschiede in den Kugelgrößen zunehmen. Zusätzlich bewirkt eine Abweichung von der Kugelform eine Vergrößerung des Porenvolumens. Da die Kugelähnlichkeit von Sand über Schluff zu Ton hin abnimmt, steigt in Böden mit abnehmender Korngröße im allgemeinen das Porenvolumen an (vgl. Tabelle 2-2).

Das Sekundärporensystem besteht aus spaltförmigen Schrumpfrissen, Wurzelröhren und Wurm-gängen. Allen Sekundärporen ist gemein, daß sie sich durch eine stark ausgeprägte Kontinuität und im Vergleich zu den Primärporen durch relativ große Porendurchmesser von mehr als 60 µm auszeichnen. Allerdings nimmt der Einfluß der Sekundärporen mit zunehmender Tiefe ab.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß der Anteil an Grobporen in der Regel um so größer ist, je grobkörniger der Boden ist, entsprechendes gilt für den Anteil an Feinporen. Dieser Zusammenhang kann Tabelle 2-2 entnommen werden, in der für die einzelnen Bodenarten die prozentualen Anteile an Grob-, Mittel- und Feinporen aufgeführt sind.

Tabelle 2-2: Anteil des Porenvolumens und der Porengrößenbereiche am Gesamtvolumen von Mineralböden (C-Gehalt bis 2 %) (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998)

Bodenart		Sande	Schluffe	Tone
Bodendichte	[g/cm ³]	1,16 - 1,70	1,17 - 1,63	0,93 - 1,72
Porenvolumen	[%]	46 ± 10	47 ± 9	50 ± 15
Grobporen (> 10 µm)	[%]	30 ± 10	15 ± 10	8 ± 5
Mittelporen (0,2 – 10 µm)	[%]	7 ± 5	15 ± 7	10 ± 5
Feinporen (< 0,2 µm)	[%]	5 ± 3	15 ± 5	35 ± 10

Das in den Poren befindliche Wasser, das durch Trocknen bei 105°C ausgetrieben wird, bezeichnet man als Bodenwasser. Wasseranteile, die erst bei höheren Temperaturen ausgetrieben werden, gehören zum Kristallwasser (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998). Da das Bodenwasser stets gelöste Salze und Gase in wechselnden Anteilen und Zusammensetzungen enthält, spricht man auch von Bodenlösung. Unterhalb des freien Grundwasserspiegels füllt das Wasser den gesamten zur Verfügung stehenden Porenraum aus; diesen Zustand des Bodens nennt man wassergesättigt. Oberhalb des freien Grundwasserspiegels liegt der Boden in der Regel im wasserungesättigten Zustand vor, d. h. es handelt sich um ein Dreiphasensystem bestehend aus Feststoff, Bodenlösung und Bodenluft. Das Wasser in den Poren unterliegt physikalischen Gesetzmäßigkeiten, wie Gravitation und Kapillarität, so daß das Bodenwasser nach der Art der Bindung in vier Kategorien eingeteilt wird (siehe Tabelle 2-3).

Tabelle 2-3: Einteilung des Bodenwassers nach der Bindungsart

Bodenwasserart	Definition
Sickerwasser	Niederschlagswasser, das durch die Schwerkraft in tiefere Bodenzonen gelangt und so bereits vorhandenes Wasser verdrängt, welches so selbst zum Sickerwasser wird
Adsorptionswasser	Haftwasser, das gegen die Schwerkraft im Boden gehalten wird und die Oberfläche der Bodenpartikel umhüllt, ohne daß dabei Menisken (Meniskus, gr.: gekrümmte Oberfläche einer Flüssigkeit in einer Röhre) gebildet werden
Kapillarwasser	Haftwasser, das gegen die Schwerkraft im Boden gehalten wird und sich unter Bildung von Menisken an das Adsorptionswasser anlagert
Grundwasser	Bodenwasser, das nicht durch Bindungen an der Bodenmatrix festgehalten wird

Größtenteils unterliegt Bodenwasser sowohl Adsorptions- als auch Kapillarkräften, wobei mit steigendem Wassergehalt eines Bodens die kapillare Bindung gegenüber der adsorptiven Bindung zunimmt und umgekehrt (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998). Daher nimmt nach einem Regenereignis die Infiltrationsrate des Bodens zunächst stark und mit der Zeit immer langsamer ab, bis sie sich schließlich einem bodenabhängigen Grenzwert nähert.

2.2 Grundlagen der Bodenhydraulik bei Infiltrationsvorgängen

Aufgrund von Niederschlägen und Evapotranspiration, d. h. Boden- und Pflanzenverdunstung, ist das Wasser im Boden selten im statischen Gleichgewicht. Die Wasserbewegung im Boden wird entscheidend durch die Anzahl, die Größe und die Form der Poren bestimmt. Dieser Zusammenhang wird durch die Hagen-Poiseuillesche Gleichung beschrieben:

$$Q = \frac{p \cdot r^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot h \cdot l} \quad (2-1)$$

Aus Gleichung 2-1 wird die starke Abhängigkeit des Wasserdurchflusses Q vom Porenradius r erkennbar. Aus diesem Grunde sind weite Grobporen schnell drainend, enge Grobporen langsam drainend, Mittelporen wasserhaltend und Feinporen wasserbindend. Ebenfalls besteht damit zwischen der Körnung eines Bodens und seiner Durchlässigkeit eine enge Beziehung (vgl. Tabelle 2-2). Da Boden ein sehr inhomogenes Material ist, variiert die reale Geschwindigkeit des Wassers im Porenraum. Deshalb wird die Geschwindigkeit im Boden als Filtergeschwindigkeit v angegeben, die für eine stationäre Strömung nach der Gleichung von Darcy definiert ist als:

$$v = \frac{Q}{A} = k_f \cdot i \quad (2-2)$$

Die Durchlässigkeit eines Bodens erreicht ihr Maximum bei vollständiger Sättigung und wird dann als k_f -Wert angegeben. Einige typische Durchlässigkeitsbeiwerte k_f sind in Tabelle 2-4 angegeben. Für die Tabellenwerte ist zu berücksichtigen, daß bei Schluff- und Tonböden die größere Zahl jeweils für sekundärporenreiche Böden und die kleinere Zahl für sekundärporenfreie Böden gilt. Nach ATV-A 138 (1999) sind nur diejenigen Böden für die ausschließliche Versickerung von Niederschlagswasser geeignet, deren Durchlässigkeitsbeiwert k_f zwischen $1 \cdot 10^{-3}$ m/s und $1 \cdot 10^{-6}$ m/s liegt.

Tabelle 2-4: Durchlässigkeitsbeiwerte k_f von Böden unterschiedlicher Körnung (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998)

Bodenart	Sande	Schluffe	Lehme	Tone
Wasserleitfähigkeit [cm/s]	$4 \cdot 10^{-1} - 4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-1} - 5 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-7}$

2.3 Grundlagen über die Beschaffenheit des zu versickernden Wassers

Die heutige Atmosphäre enthält vor allem aufgrund von Verbrennungsprozessen fossiler Energieträger, wie Kohle, Erdöl und Erdgas, große Mengen an Schwefeldioxid. Desweiteren stellen die hauptsächlich vom Kfz-Verkehr verursachten Stickstoffoxide, die durch Baumaßnahmen und Bodenerosion landwirtschaftlich genutzter Flächen hervorgerufenen Stäube und die überwiegend aus der Metallurgie stammenden Schwermetalle eine wesentliche Belastung der Atmosphäre dar.

Die in die Atmosphäre emittierten Gase Schwefeldioxid und die Stickstoffoxide reagieren dort mit dem vorhandenem Wasser und bilden starke Säuren (H_2SO_4 , HNO_3). Ein Teil dieser Säuren wird zwar durch andere Luftverunreinigungen, wie NH_3 und Staub neutralisiert, jedoch bewirkt der Säureüberschuß eine Abnahme des pH-Wertes im Niederschlagswasser. Die durch den Niederschlag in die Böden eingetragenen Säuren haben dort die Zerstörung von Tonmineralen, die Auswaschung von Nährstoffen und die Mobilisierung von Schwermetallen zur Folge.

Mit dem Beginn eines Niederschlagsereignisses werden die in der Atmosphäre befindlichen Feinstpartikel und Aerosole ausgewaschen. Bestimmend für das Ausmaß des atmosphärischen Feststoffeintrages ist die Schwebstoffkonzentration in der bodennahen Luftschicht während der dem Niederschlagsereignis vorausgehenden Trockenperiode. Diejenigen atmosphärischen Inhaltsstoffe, die mit Regen, Schnee, Nebel, Tau oder Reif auf die Erdoberfläche gelangen, bezeichnet man als nasse Deposition. Die Naßdepositionen bilden etwa 90 % des gesamten atmosphärischen Eintrages an Schadstoffen. Trockene Deposition ist nach Georgij et al. (1983) definiert als der direkte Transfer von Staub, Aerosolen und Gas aus der Atmosphäre zur Erdoberfläche (HUTH, 1995). Die trockene Deposition führt besonders nach längeren Trockenperioden zum Aufbau einer Schmutzschicht. Darüber hinaus können Tierkot, Laub und Äste auf die Dachflächen gelangen. Mit Einsetzen eines Niederschlagsereignisses finden Lösungsprozesse statt, so daß das zuvor abgelagerte Stoffpotential mit dem Dachabfluß als Suspensa oder Geschiebe mitgeführt wird. In Tabelle 2-5 sind die gemessenen Stoffkonzentrationen der wichtigsten Inhaltsstoffe im Niederschlag und im Dachabfluß aus verschiedenen Untersuchungen zusammengetragen.

Tabelle 2-5: Abflußgemittelte Stoffkonzentrationen im Niederschlag und im Dachabfluß (GEIGER et al., 1998)

Parameter	Niederschlag			Dachabfluß		
	Dam et al. (1983 - 1985) Lelystad	Xanthopoulos et Hahn (1993) Karlsruhe	Förster (1993) Bayreuth	Dam et al. (1983 - 1985) Lelystad	Xanthopoulos et Hahn (1993) Karlsruhe	Förster (1993) Bayreuth
AFS [mg/l]	-	n.n.	12,6	-	60	43,2
NH ₄ -N [mg/l]	1,08	0,2	-	0,94	4	-
PO ₄ -P [mg/l]	0,07	0,2	-	0,04	-	-
pH [-]	4,7	4,9	3,98	6,7	6,2	5,87
Cu [mg/l]	10,9	-	-	5,7	-	-
Zn [mg/l]	94,1	5,0	-	33,4	24	-
Pb [mg/l]	32,6	5,0	-	10,1	104	-
Cd [mg/l]	2,5	1,5	-	0,5	1	-

n. n.: nicht nachweisbar

Bullermann et al. (1989) ermittelten in Untersuchungen, daß speziell bei Verwendung von Kupfer, Zink oder Blei als Bestandteil der Dacheindeckung oder als Dachrinnenmaterial durchaus relevante Konzentrationen dieser Schwermetalle im Dachabfluß zu finden sind (HERRMANN et KAYSER, 1997). Zu einem gleichen Ergebnis kommen auch FÖRSTER (1996) und HERRMANN und KAYSER (1997).

2.4 Stoffumwandlungsprozesse im Boden

Einerseits sind Schwermetalle im Dachabfluß vorhanden und können auf diese Weise über die Muldenfläche in den Boden eingetragen werden. Andererseits sind vor allem die Böden städtischer Bereiche durch frühere Staubbiederschläge oder Trümmerschutt mit Schwermetallen vorbelastet. Die Verfügbarkeit der Schwermetalle wird im Boden durch physikalische, chemische und biologische Stoffumwandlungsprozesse bestimmt, die dem Sickerwasser die Schwermetalle entziehen und diese im Boden anreichern.

2.4.1 Physikalische Reinigungsprozesse

Bei den physikalischen Reinigungsprozessen unterscheidet man zwischen der Filtration, der Adsorption und dem Ionenaustausch. Bei der Filtration werden partikuläre Stoffe aufgrund der mechanischen Filterwirkung des Bodens zurückgehalten. Je nach Wirkungsweise des Bodens spricht man von einem Oberflächenfilter oder einem Tiefenfilter. Der Oberflächenfilter hindert diejenigen Partikel, die größer als die Porenöffnungen sind, am Eindringen in den Boden (HARTGE et HORN, 1991).

Als Adsorption bezeichnet man die Bindung von Gasen, Dämpfen oder in Flüssigkeiten gelösten oder suspendierten Stoffen an der Oberfläche eines festen Körpers, dem sogenannten Sorbenten (MEYERS GROSSES TASCHENLEXIKON BAND 1, 1987). In der Bodenkunde differenziert man zwischen der unspezifischen Adsorption, die auf Coulomb'sche Kräfte an der Oberfläche von Austauschern beruht, und der wesentlich stärkeren spezifischen Adsorption, bei der Liganden der oberflächennahen Metallkationen des Sorbenten gegen Liganden der adsorbierten Stoffe ausgetauscht werden (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998). Die spezifische Adsorption ist im besonderen Maße vom pH-Wert abhängig. Ferner müssen die Metalle, die durch eine spezifische Adsorption aufgenommen werden sollen, fähig sein Hydroxo-Komplexe zu bilden, da diese Form bevorzugt adsorbiert wird. Nach Brummer besteht unter den Metallen folgende Reihenfolge bei der Adsorption: $Cd < Ni < Co < Zn < Cu < Pb < Hg$ (ALLOWAY, 1999).

Unter einem Ionenaustausch versteht man den Vorgang, daß Feststoffe aus einer Elektrolytlösung positive oder negative Ionen adsorbieren und dafür eine äquivalente Menge an Ionen gleichen Vorzeichens abgeben (MEYERS GROSSES TASCHENLEXIKON BAND 10, 1987). Da die meisten Schwermetalle in der Bodenlösung als Kationen verfügbar sind, und die Oberfläche der Bodenminerale hauptsächlich negativ geladen ist, ist der Kationenaustausch von wesentlich größerer Bedeutung als der Anionenaustausch. Die wichtigsten Kationenaustauscher im Boden sind die Tonminerale und die Huminstoffe.

2.4.2 Chemische Reinigungsprozesse

Die bedeutendsten chemischen Reinigungsprozesse im Boden sind die Fällung und die Komplexbildung, die in der Literatur zum Teil auch den biologischen Reinigungsprozessen zugeordnet wird. Ist freier gelöster Sauerstoff im Boden vorhanden, so fallen überwiegend Eisen- und Manganhydroxide, sowie andere schwer lösliche Verbindungen aus. Unter reduzierenden Bedingungen hingegen bilden sich Schwermetallsulfide.

In Verbindung mit der Kationen-Austausch-Reaktion werden Metalle und organische Substanzen als metallorganische Komplexe gebunden. Zum Teil entstehen dabei Chelatkomplexe, bei denen ein zentrales Metallion ringförmig mehrere Bindungen mit organischen Liganden eingeht, woraus sehr stabile Verbindungen resultieren (MEYERS GROSSES TASCHENLEXIKON BAND 4, 1987). Eine andere Form metallorganischer Komplexe sind die sogenannten Koordinationskomplexe, die überwiegend zwischen Metallen und Carboxyl-Gruppen gebildet werden. Bei diesen Komplexen ist die Anzahl der um das Zentral-Ion angeordneten Liganden unabhängig von der Wertigkeit, so daß sie sich nur nach dem zur Verfügung stehendem Raum richtet.

Die Löslichkeit metallorganischer Komplexe wird maßgeblich vom Mol-Verhältnis zwischen Komplexbildner und Metall bestimmt (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998). In Bild 2-1 ist die unterschiedliche Löslichkeit von Zink und Kupfer in einem mineralischen Boden mit und ohne Zusatz an organischen Komplexbildnern in Abhängigkeit vom pH-Wert dargestellt.

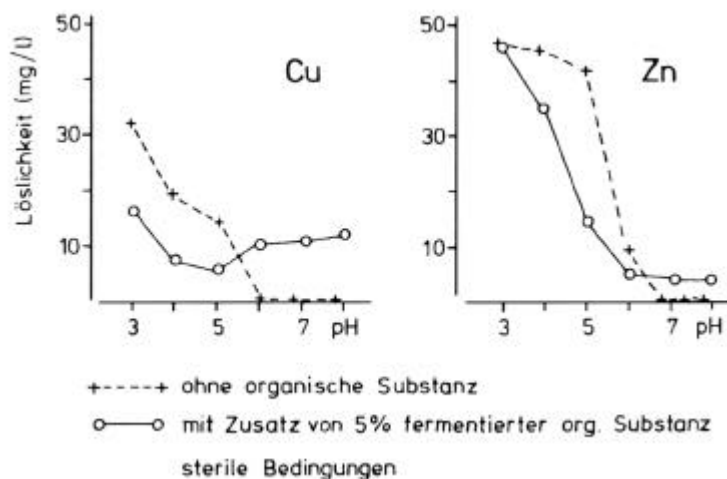


Bild 2-1: Einfluß von pH-Wert und organischen Komplexbildnern auf die Löslichkeit von Kupfer und Zink in einem belasteten Sandboden (Cu: 115 mg/kg; Zn: 123 mg/kg) (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998)

Aufgrund des großen Einflusses des pH-Wertes auf die Löslichkeit von Schwermetallen in der Bodenlösung, enthält Tabelle 2-6 für ausgewählte Schwermetalle den jeweiligen Grenz-pH-Wert für eine beginnende Mobilisierung.

Tabelle 2-6: Grenz-pH-Werte für eine beginnende Mobilisierung verschiedener Schwermetalle und deren relative Verfügbarkeit (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998)

Element	Blei	Cadmium	Kupfer	Zink
Grenz-pH-Wert	4,0	6,5	4,5	6,0 bis 5,5
relative Verfügbarkeit	meistens gering	meistens relativ hoch	meistens mittel	meistens relativ hoch

2.4.3 Biologische Reinigungsprozesse

Zu den biologischen Reinigungsprozessen zählt man die Umwandlung organischer und anorganischer Substanzen im Boden durch Mikroorganismen, zu denen Bakterien, Einzeller und Pilze gezählt werden. Die Umwandlung setzt jedoch ausreichend verfügbaren Sauerstoff im Boden voraus und endet im Idealfall bei Kohlenstoffdioxid und Wasser (ROWELL, 1997). Viele Organismen sind in der Lage Schwermetalle anzureichern und somit dem Sickerwasser zu entziehen. Die Toxizität von Schwermetallen auf Mikroorganismen nimmt von Cadmium über Nickel und Zink zu Blei ab (SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL, 1998). Neben den Mikroorganismen sind auch Pflanzen in der Lage, dem Boden Schadstoffe, wie Cadmium, Kupfer, Nickel und Zink durch ihre Wurzeln zu entziehen.

2.5 Arten der Versickerung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden nur dezentrale Anlagen betrachtet, das heißt die Versickerung erfolgt auf demselben Grundstück, auf dem auch der Niederschlagsabfluß anfällt. Da das vorrangige Ziel einer Anlage zur Versickerung darin besteht, den Oberflächenabfluß zu reduzieren und gleichzeitig das Grundwasser anzureichern, werden diese Vorrichtungen vorwiegend in städtischen Bereichen mit hohen Versiegelungsgraden eingesetzt. Gerade dort ist das Niederschlagswasser jedoch immer mit

Staubpartikeln oder auch Schadstoffen verunreinigt. Eine Versickerung von Niederschlagswasser sollte daher grundsätzlich mit einer Sickerwasserpassage durch die obere bewachsene Bodenschicht verbunden sein. Bei der Flächenversickerung und bei der Muldenversickerung wird diese Anforderung erfüllt.

2.5.1 Flächenversickerung

Unter einer Flächenversickerung versteht man eine Versickerung über eine durchlässige Oberfläche, die befestigt oder bewachsen sein kann, ohne daß ein Aufstau beziehungsweise eine Speicherung des Wassers stattfindet (GEIGER et DREISEITL, 1995). Da die Versickerungsleistung des Bodens größer als der zu erwartende Niederschlagsabfluß sein muß, ist die Anwendung dieser Anlagenform auf gut bis mäßig durchlässige Untergründe beschränkt. Die in Bild 2-2 dargestellten Oberflächengestaltungen werden bei der Flächenversickerung recht häufig gewählt, da sich die Fläche so mehrfach, zum Beispiel als Hofffläche, als Stellfläche oder als Rettungszufahrt, nutzen läßt. Überdies kann die Flächenversickerung in den Seitenräumen befestigter Flächen erfolgen. Diese Form entspricht am ehesten der natürlichen Versickerung. Hierbei ist insbesondere für einen linienhaft gleichmäßigen Übergang des Wassers auf die Versickerungsfläche zu sorgen (ATV, 1999).

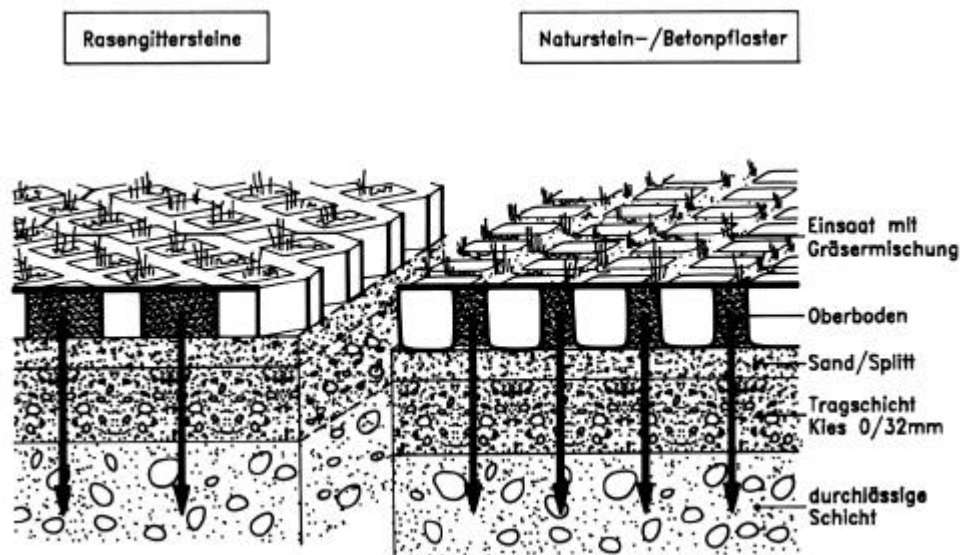


Bild 2-2: Flächenversickerung (Schnitt) (GEIGER et DREISEITL, 1995)

Die Vorteile der Flächenversickerung liegen zum einen in dem minimalen technischen Aufwand bei Herstellung und Wartung, zum anderen in der guten - bei bewachsenen Flächen sogar sehr guten - Reinigungswirkung. Demgegenüber ist als Nachteil der sehr hohe Flächenbedarf anzuführen.

2.5.2 Muldenversickerung

Bei der Muldenversickerung handelt es sich um eine Variante der Flächenversickerung, bei der das Niederschlagswasser zeitweise gespeichert werden kann. Allerdings ist die Einstaudauer auf maximal zwei Tage zu begrenzen, weil sich ansonsten anaerobe Verhältnisse im Boden einstellen, die die Stoffumwandlungsprozesse ungünstig beeinflussen (siehe Kapitel 2.4). Ferner bewirkt das Trockenfallen der Mulde eine Regeneration der Biozönose im Boden sowie der oberflächigen Vegetation, wodurch einer Verschlickung und Verdichtung der Oberfläche entgegengewirkt wird.

Die einstaubare Tiefe von Mulden soll 30 cm nicht überschreiten, da ansonsten zu lange Entleerungszeiten zu erwarten sind, und spielende Kinder bei offen zugänglichen Mulden gefährdet sind. Weiterhin ist für eine gleichmäßige Beschickung der Mulde zu sorgen, um die Bodenerosion an den Einlaufstellen infolge der hydraulischen Belastung zu minimieren. Damit sich das in der Mulde befindliche Wasser gleichmäßig verteilt, sind die Sohlebenen und die Sohllinien generell horizontal liegend herzustellen. Gerade bei größeren Wohnanlagen werden die Grünflächen von Fremdfirmen betreut, die meistens fahrbare Rasenmäher mit Auslegern einsetzen, so daß die Neigung der Böschung kleiner als 1 : 3 auszuführen ist, um den Einsatz dieser Mähfahrzeuge zu ermöglichen. Das Bild 2-3 zeigt eine Mulde mit den dazugehörigen Zuläufen im Schnitt.

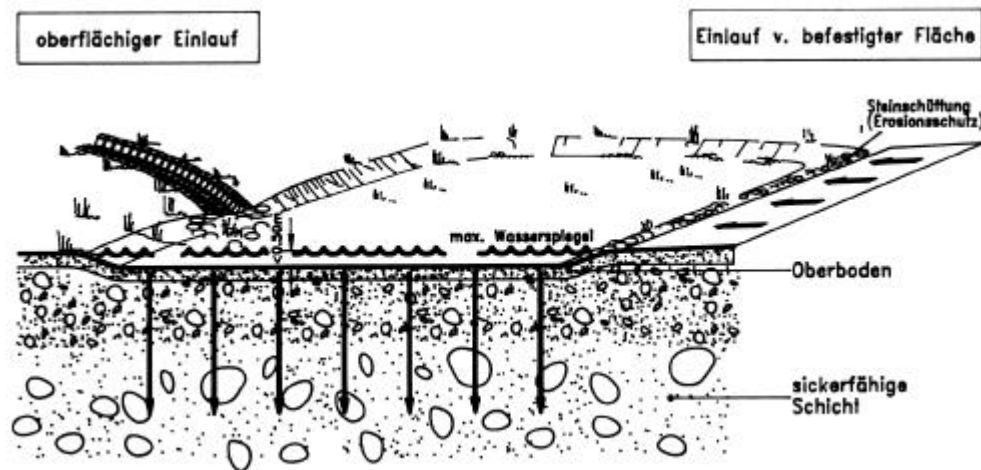


Bild 2-3: Muldenversickerung (Schnitt) (GEIGER et DREISEITL, 1995)

Ähnlich der Flächenversickerung ist die biologische Reinigungsleistung von Mulden aufgrund der durchsickerten belebten Bodenschichten mit sehr gut zu bewerten. Ebenso sind der geringe technische Aufwand und die guten Wartungsmöglichkeiten als positive Eigenschaften hervorzuheben. Ein weiterer Vorteil von Mulden sind die relativ geringen Entstehungskosten im Vergleich zur Flächenversickerung. Der Flächenbedarf von Mulden ist zwar kleiner als der von Anlagen zur Flächenversickerung, jedoch ist dieser immer noch mit 10 % bis 20 % der angeschlossenen Fläche anzusetzen (GEIGER et DREISEITL, 1995).

2.6 Vorschriften zur Versickerung

Die Bemessung von Anlagen zur Versickerung ist in ATV-A 138 (1999) festgelegt. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Versickerung insbesondere von schadstoffbelasteten Niederschlagswasser bilden das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und das jeweilige Landeswassergesetz (LWG). Im Landeswassergesetz von Nordrhein-Westfalen ist insbesondere der Paragraph 51a relevant, der sich mit der Niederschlagswasserbeseitigung befaßt. Der ministerielle Erlaß zur Niederschlagswasserbeseitigung führt den Paragraph 51a weiter aus und beinhaltet zudem Planungsgrundlagen für Versickerungsanlagen von Niederschlagswasser. Die Bundes-Bodenschutzverordnung ist insofern für diese Arbeit von Interesse, als dort die Grenzwerte von Schadstoffgehalten im Boden und Grundwasser festgelegt sind. Außerdem sind die dazugehörigen Analysen und Probennahmen zur Bestimmung der Schadstoffgehalte beschrieben.

2.6.1 Bemessung von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser nach ATV-A 138

Da in ATV-A 138 (1999) gegenüber der ursprünglichen Version von 1990 nun auch die Versickerung von schädlich verunreinigtem Wasser vorgesehen ist, ist für die Wahl einer geeigneten Versickerungsvariante die maßgeblichen Belastung des zu versickernden Niederschlagsabflusses abzuschätzen. Die Bewertung des Niederschlagsabflusses hinsichtlich der Verschmutzung ist Tabelle 2-7 zu entnehmen. Die Beurteilung der unterschiedlichen Niederschlagsabflüsse resultiert aus Untersuchungserkenntnissen über die Qualität und das Gefährdungspotential von Dach- und Straßenabflüssen und führt zur Einteilung des zu versickernden Niederschlagswassers in folgende drei 3 Klassen.

- Unbedenklicher Niederschlagsabfluß darf ohne Vorbehandlung über die ungesättigte Bodenzone versickert werden.
- Als tolerierbar eingestufte Niederschlagsabfluß darf nur nach geeigneter Vorbehandlung oder über die bewachsene Bodenschicht versickert werden.
- Bei nicht tolerierbarem Niederschlagsabfluß ist eine Vorbehandlung zwingend.

Tabelle 2-7: Qualitative Bewertung der Niederschlagsabflüsse hinsichtlich der Niederschlagswasser-Versickerung in Abhängigkeit der Flächennutzung (ATV-A 138, 1999)

	Fläche/ Gebietsdefinition	qualitative Bewertung
1	nichtmetallische Dachflächen in Wohn- und vergleichbaren Gewerbegebieten	unbedenklich
2	Rad- und Gehwege in Wohngebieten, Spielstraßen	tolerierbar
3	Hofflächen in Wohn- und vergleichbaren Gewerbegebieten, nicht ständig frequentierte Parkierungsflächen	
4	Straßen mit DTV ¹⁾ < 2000 Kfz, Rollbahnen von Flugplätzen	
5	Dachflächen in sonstigen Gewerbe-/ Industriegebieten	
6	Straßen mit DTV ¹⁾ 2000 bis 15.000 Kfz, Start- und Landebahnen von Flugplätzen	
7	stark frequentierte Parkierungsflächen	
8	Straßen mit DTV ¹⁾ > 15.000 Kfz	
9	metallische Dachflächen, landwirtschaftliche Hofflächen ²⁾	nicht tolerierbar
10	Hofflächen und Straßen in sonstigen Gewerbe-/ Industriegebieten	

1) DTV: durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke

2) nur unter Einhaltung der entsprechenden Anwendungsverordnung gemäß Pflanzenschutzgesetz

Innerhalb dieser Klassen nimmt die potentielle Belastung des Niederschlagsabflusses in Tabelle 2-7 mit ansteigender Zeilennummer zu. Entsprechend der Belastung des zu versickernden Wassers können in ATV-A 138 (1999) aus einer Entscheidungsmatrix geeignete Anlagenformen, die die Anforderungen an den Boden- und den Grundwasserschutz erfüllen, abgelesen werden. Wenn es die Boden- und Flächenverhältnisse zulassen, sind grundsätzlich dezentrale Versickerungsanlagen mit einer Oberbodenpassage anzustreben, um somit über größtmögliche Sicherheitsreserven hinsichtlich des Boden- und Grundwasserschutzes zu verfügen. Ferner wird zum Schutz des Grundwassers gefordert, daß die Mächtigkeit der ungesättigten Zone über dem höchsten Grundwasserstand mindestens 1 m beträgt,

damit die im Wasser enthaltenen Schadstoffe durch die in Kapitel 2.4 genannten Stoffumwandlungsprozesse vor dem Eintritt in das Grundwasser herausgelöst werden können. Weitere Anforderungen und Inhalte, die sich in den beiden Ausgaben der ATV-A 138 unterscheiden, sind in Tabelle 2-8 gegenübergestellt zusammengefaßt.

Tabelle 2-8: Gegenüberstellung der Änderungen in ATV-A 138 von 1999 zu der Fassung von 1990

	Arbeitsblatt A 138 (1999)	Arbeitsblatt A 138 (1990)
Durchlässigkeit (k_f-Wert) der Lockergesteine	$1 \cdot 10^{-3}$ bis $1 \cdot 10^{-6}$ m/s, bei k_f -Werten $< 1 \cdot 10^{-6}$ m/s ist eine Versickerung mit zeitweiliger Speicherung und Ableitungsmöglichkeit vorzusehen	$5 \cdot 10^{-3}$ bis $5 \cdot 10^{-6}$ m/s
Lastfall für dezentrale Anlagen zur Versickerung	Regenspende aus Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes gemäß Kostra-Atlas ¹⁾	Zeitbeiwertverfahren mit den Regensreihen nach Reinhold ²⁾
Abstand zwischen unterkellertem Gebäude und Versickerungsanlage	das 1,5-fache der Baugrubentiefe, jedoch mindestens 0,5 m vom Baugruben-Fußpunkt entfernt	mindestens 6 m
Mulden-Rigolen-System	enthalten	nicht enthalten
zentrale Anlagen zur Versickerung	enthalten	nicht enthalten

1) Stehen im Nahbereich keine Niederschlagsdaten zur Verfügung muß auf die nächstgelegene Wetterstation zurückgegriffen werden.

2) Es wurde festgestellt, daß die örtlichen Regencharakteristiken zum Teil deutlich von den Regenspenden nach Reinhold abweichen.

Bei dem eigentlichen Bemessungsverfahren haben sich keine Änderungen ergeben. Für dezentrale Anlagen wird die Überschreitungshäufigkeit n in ATV-A 138 (1999) mit Q2 1/a vorgegeben. Bei der Flächenversickerung wird die Regendauer D in der Regel zu 10 Minuten gewählt. Bei großen und flach geneigten Anschlußflächen kann die maßgebende Regendauer D auf 15 Minuten erhöht werden. Für Versickerungsanlagen mit Speichermöglichkeit ist die maßgebende Regendauer über das Speichervolumen iterativ zu ermitteln. Die Formeln zur Berechnung der erforderlichen Fläche bei einer Flächenversickerung beziehungsweise des Speichervolumens bei einer Muldenversickerung lauten wie folgt:

$$\text{Flächenversickerung: } erf \cdot A_s = \frac{A_{red}}{\left(k_f \cdot s_F \cdot 10^7 / (2 \cdot r_{D(n)}) \right) - 1} \quad (2-3)$$

$$\text{Muldenversickerung: } erf \cdot V_s = \left((A_{red} + A_s) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - A_s \cdot \frac{k_f}{2} \right) \cdot D \cdot 60 \quad (2-4)$$

2.6.2 Wasserhaushaltsgesetz (1996), Landeswassergesetz NW (1995) und Erlaß des Ministeriums für Umwelt-, Raum- und Landwirtschaft zur Niederschlagswasserbeseitigung

Im Wasserhaushaltsgesetz ist in § 2 Abs. 1 geregelt, daß die Benutzung der Gewässer grundsätzlich erlaubnispflichtig ist, wobei als Benutzung nach § 3 Abs. 5 auch das „Einleiten von Stoffen in das Grundwasser“ gezählt wird. Jedoch können die Länder nach § 33 Abs. 2 Nr. 3 (WHG) festsetzen, daß das Versickern von Niederschlagswasser genehmigungsfrei ist.

Folglich fordert das Landeswassergesetz NRW in § 51a Abs. 1, Niederschlagswasser von Grundstücken, die nach dem 1. Januar 1996 erstmals bebaut, befestigt oder an die öffentliche Kanalisation angeschlossen werden, vor Ort zu versickern, zu verrieseln oder in ein Gewässer einzuleiten, sofern das Niederschlagswasser unbelastet ist, und die örtlichen und die hydrogeologischen Bedingungen es zulassen.

Entsprechend ist laut ministeriellem Erlaß von 1998 die Versickerung von Niederschlagswasser über die belebte Bodenzone erlaubnisfrei. Ähnlich der ATV-A 138 (1999) wird der Niederschlagsabfluß nach seiner Schadstoffbelastung in drei Kategorien eingeteilt, die direkt über die Variante der Versickerung bestimmen. Aufgrund ihres geringeren Gefährdungspotentials für das Grundwasser sind die Flächen- und die Muldenversickerung der Rigolen, Rohr- und Schachtversickerung prinzipiell vorzuziehen.

2.6.3 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999)

In der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBSchV) sind zur Beurteilung der Schadstoffbelastung von Böden sogenannte Vorsorgewerte, Prüfwerte und Maßnahmenwerte festgelegt. Vorsorgewerte stellen Bodenwerte dar, die als Maßnahme gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu verstehen sind. Werden die in Tabelle 2-9 festgelegten Vorsorgewerte überschritten ist eine schädliche Veränderung des Bodens nicht auszuschließen. Allerdings ist eine zusätzliche Belastung des Bodens bis zur Höhe der in Tabelle 2-10 aufgeführten jährlichen Schadstofffrachten zulässig. Bei den Vorsorgewerten ist der Säuregrad des Bodens, der die Verfügbarkeit der Schwermetalle für das Sickerwasser bestimmt, wie folgt zu berücksichtigen:

- Bei Böden der Bodenart Ton mit einem pH-Wert kleiner 6 sind für Cadmium und Zink die Vorsorgewerte der Bodenart Lehm/ Schluff maßgebend.
- Liegt der pH-Wert bei Böden der Bodenart Lehm/ Schluff unterhalb von 6 sind für Cadmium und Zink die Vorsorgewerte der Bodenart Sand bestimmend.
- Für Blei ist bei Böden mit pH-Werten unter 5 entsprechend zu verfahren.

Tabelle 2-9: ausgewählte Vorsorgewerte für Böden (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1999)

Bodenart	Cd [mg/kg TS]	Pb [mg/kg TS]	Cu [mg/kg TS]	Zn [mg/kg TS]
Ton	1,5	100	60	200
Lehm/ Schluff	1,0	70	40	150
Sand ¹⁾	0,4	40	20	60
Böden mit naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten	unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge durch Bodenerosion infolge Wasser keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen.			

1) stark schluffige Sande sind entsprechend der Bodenart Lehm/ Schluff zu bewerten

Prüfwerte geben mittelbar Auskunft darüber, ob eine schädliche Veränderung oder eine Altlast im Boden vorliegt. Werden Werte ermittelt, die sich unterhalb des in Tabelle 2-11 angegebenen Prüfwertes befinden, so ist der Verdacht auf eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast ausgeräumt. Wird

der Prüfwert überschritten, so ist durch eine Einzelfallprüfung festzustellen, ob eine schädliche Veränderung besteht, und ob Sanierungsmaßnahmen oder Nutzungsbeschränkungen erfolgen müssen. Die in Tabelle 2-11 angegebenen Prüfwerte gelten für eine Beprobungstiefe von 0 bis 10 cm. Bei Kinderspielflächen und Wohngebieten kann die Bodenprobe auch aus 10 bis 35 cm Tiefe entnommen werden, wobei dann die Prüfwerte aus Tabelle 2-11 mit dem Faktor 1,5 zu multiplizieren sind.

Tabelle 2-10: Zulässige zusätzliche jährliche Frachten für ausgewählte Schadstoffe (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1999)

Element	Cadmium	Blei	Kupfer	Zink
Fracht [g/(ha · a)]	6	400	300	1200

Tabelle 2-11: ausgewählte Prüfwerte für die direkte Aufnahme von Schadstoffen (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1999)

Flächennutzung	Cadmium [mg/kg TS]	Blei [mg/kg TS]
Kinderspielfläche	10 ¹⁾	200
Wohngebiete	20 ¹⁾	400
Park- und Freizeitanlagen	50	1000
Industrie- und Gewerbegrundstücke	60	2000

1) In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nutzpflanzen genutzt werden, ist für Cadmium der Wert von 2,0 mg/kg TS als Prüfwert anzuwenden

Maßnahmenwerte existieren ausschließlich für Dioxine, die für diese Arbeit nicht von Interesse sind. Außer den Vorsorgewerten, Prüfwerten und Maßnahmenwerten sind in der Bundes-Bodenschutzverordnung noch die Probennahme, die Dokumentation der Probe und die Verfahren zur Auswertung der Proben, auf die sich die Grenzwerte beziehen, beschrieben. In Tabelle 2-18 sind die für diese Arbeit maßgeblichen Untersuchungsparameter mit den dazugehörigen Methoden aufgeführt.

Tabelle 2-12: Analyse zur Bestimmung physikalisch-chemischer Eigenschaften von Böden und ausgewählter anorganischer Schadstoffe (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1999)

Untersuchungsparameter	Verfahrenshinweise	Methode
Bestimmung der Trockenmasse	feldfrische oder luftgetrocknete Bodenprobe	DIN ISO 11.456 (12.96)
pH-Wert (CaCl ₂)	Suspension der feldfrischen oder luftgetrockneten Bodenprobe in CaCl ₂ -Lösung; c _{CaCl₂} = 0,01 mol/l	DIN ISO 10.390 (05.97)
Korngrößenverteilung	Siebung, Dispergierung, Aräometer-Methode	DIN 18.123 (11.96) E DIN ISO 11.277 (06.94)
Cadmium, Kupfer, Blei, Zink	Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma	DIN EN ISO 11.885 (04.98)

3 Untersuchungsgebiete und Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Nach Begehung mehrerer Anlagen zur Regenwasserversickerung im Großraum des Ruhrgebiets wurden zwei Ausführungen ausgewählt, an denen Untersuchungen zur Beurteilung der Infiltrationsleistung und des Grundwasserschutzes durchgeführt worden sind. In beiden Fällen wird das Niederschlagswasser in Mulden versickert, die sich aber in der Gestaltung, dem Zeitpunkt der Fertigstellung, sowie in der angeschlossenen Fläche unterscheiden. In Kapitel 3.1 und 3.2 werden die Besonderheiten der einzelnen Anlagen, wie Untergrundverhältnisse, Freiflächenverfügbarkeit und Topographie, herausgestellt. Anschließend daran werden in Kapitel 3.3 die Untersuchungsergebnisse der Bodenproben präsentiert. Auf Grundlage dieser Resultate wird in Kapitel 3.4 eine Dimensionierung der Anlage in Essen vorgenommen.

3.1 Untersuchungsgebiet „Oberholzweg 9 - 11“ in Essen

Die Mehrfamilienhäuser am Oberholzweg 9 - 11 im Stadtteil Altenessen-Süd sind im Besitz der Treuhandstelle für Bergmannswohnstätten GmbH (THS), die im Sommer 1999 nach der Renovierung der Gebäude die Entwässerung auf die dezentrale Versickerung umgestellt hat. Bei der Bebauung handelt es sich um zweigeschossige Mehrfamilienhäuser in Zeilenbauweise mit großflächigen Grünanlagen zwischen den Wohngebäuden. Bei der untersuchten Versickerungsanlage handelt es sich um eine auf der Gebäuderückseite angeordnete Mulde mit einer annähernd rechteckförmigen Grundfläche. Die an die Mulde angeschlossene Dachfläche des Wohngebäudes beträgt 170 m². Neben der Dachfläche des Mehrfamilienhauses wird das Flachdach der vorgelagerten Garagen mit einer Fläche von 65 m² über die Mulde entwässert. Da das Gelände von der Straße aus leicht ansteigt, ist die Versickerungsanlage in zwei etwa gleich große Teilflächen unterteilt, die terrassenförmig angeordnet sind. Die Mulde selbst ist mit einer Tiefe von circa 15 cm sehr flach ausgeführt. Der Abstand zwischen dem Mehrfamilienhaus und der Mulde beträgt zwischen 5,5 m und 7,7 m. Einen Überblick über die Gesamtsituation gibt Bild 3-4.



Bild 3-4: untersuchte Mulde in Essen am Oberholzweg 9 - 11

Der in Bild 3-5 dargestellte Auszug aus der geologischen Karte im Maßstab 1 : 50.000 läßt erkennen, daß am Oberholzweg Braunerden beziehungsweise Pseudogley-Braunerden dominieren. Diese bestehen in Oberflächennähe aus schluffig-lehmigem Feinsand bis sandig-lehmigem Schluff und unterhalb von 20 cm unter der Geländeoberkante aus tonige Bodenarten. In direktem Zusammenhang damit (siehe Kapitel 2.1) gibt die geologische Karte für diese Böden eine mittlere Wasserdurchlässigkeit zwischen $1,2 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $4,6 \cdot 10^{-6}$ m/s an. Ferner wird in der geologischen Karte darauf hingewiesen, daß bei diesen Böden, insbesondere bei der Pseudogley-Braunerde, stellenweise Staunässe im Unterboden auftreten kann.

Die an drei Standorten am Oberholzweg in einer Tiefe von jeweils 80 cm mit dem Open-End-Test-Verfahren ermittelten Durchlässigkeitswerte liegen zwischen $3,1 \cdot 10^{-7}$ m/s und $1 \cdot 10^{-8}$ m/s und damit ein bis zwei Zehnerpotenzen unterhalb der in der geologischen Karte genannten Werte. Im oberflächennahen Bereich dagegen wurden bereits 1997 durch die Emschergenossenschaft Wasserdurchlässigkeiten von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s festgestellt, das heißt mit zunehmender Tiefe nimmt die Wasserdurchlässigkeit deutlich ab (INGENIEURBÜRO KAISER, 1999).

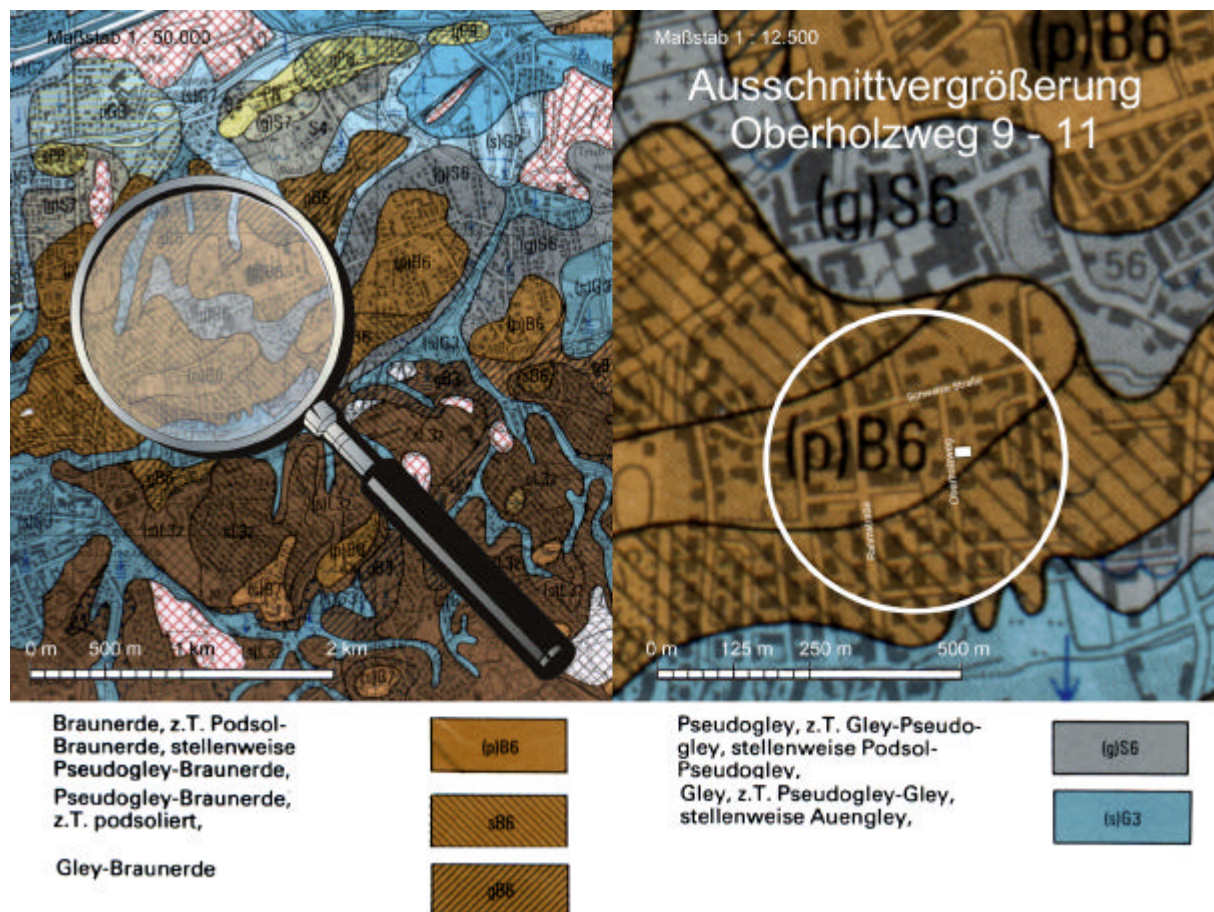


Bild 3-5: Ausschnitt aus der geologische Karte L4508 Essen (GEOLOGISCHES LANDESAMT, 1984)

3.2 Untersuchungsgebiet „Filchnerstraße 68 - 74“ in Mülheim

Die untersuchte Versickerungsanlage in der Filchnerstraße 68 - 74 im Mülheimer Stadtteil Heimerde besteht erst seit kurzer Zeit und gehört mit zu den ersten fertiggestellten Mulden, die auf einer Musterplanung von August 1998 beruhen. Die Filchnerstraße verläuft parallel zum Autobahnzubringer zur BAB40 in südöstlicher Richtung. Das Gelände zwischen Filchnerstraße und Autobahnzubringer fällt

tendenziell in Richtung Autobahnzubringer hin ab. Die Bebauung in Zeilenbauweise besteht aus mehrgeschossigen Mehrfamilienhäusern, zwischen denen sich großzügige Grünflächen befinden. Die Dachform der Gebäude ist einheitlich als Satteldach ausgebildet. Die Mulden liegen auf den hinteren Grundstücksflächen an der Grenze zur Autobahnauffahrt. In Muldenmitte befindet sich ein Sickerschacht, der zwar als Notüberlauf dient, jedoch nur circa 10 cm oberhalb der Muldensohle angeordnet ist. Dieser ist in Bild 4-6 rechts außen auf halber Bildhöhe wahrzunehmen. Das Niederschlagswasser der abgekoppelten Dachflächen, deren Fläche insgesamt 604 m² beträgt (INGENIEURBÜRO BECK, 1998), wird in offenen Rinnen gesammelt und an zwei Stellen punktuell eingeleitet. Folglich ist unterhalb des Kolk-schutzes, der aus im Mörtelbett verlegten Steinen besteht, insbesondere an der im Bildvordergrund erkennbaren Einlaufstelle ein zum Teil nur spärlicher Bewuchs mit Rasen feststellbar. Zum Schutz der hinter der Baumreihe befindlichen Autobahnauffahrt wird die Mulde durch eine etwa 30 cm hohe Verwallung abgeschlossen.



Bild 3-6: untersuchte Mulde in Mülheim in der Filchnerstraße 68 - 74

Die geologische Karte von Nordrhein-Westfalen weist im Bereich der Filchnerstraße Parabraunerden, die zu den terrestrischen Böden gezählt werden, mit Grundwasserabständen von mindestens 2 Metern aus. Eine im Rahmen der Machbarkeitsstudie durchgeführte Rammkernsondierung ergab die in Bild 3-7 dargestellte Schichtenfolge. Aus Bild 3-7 wird ersichtlich, daß der Untergrund bis in eine Tiefe von circa 5 Meter unterhalb der Geländeoberkante aus Lößlehm beziehungsweise Löß besteht. Bei der im August 1998 erfolgten Rammkernsondierung wurde der Grundwasserspiegel bis zur Bohrendteufe nicht erreicht, wodurch die Angabe der geologischen Karte bestätigt wird. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde als Durchlässigkeitswert des Untergrundes $5 \cdot 10^{-7}$ m/s ermittelt. Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit wurden zwei Baggerschürfe unterschiedlicher Tiefe mit einer Grundfläche von 1,5 m · 1,5 m ausgehoben, die mit 1,44 Liter Wasser pro Sekunde beschickt wurden. Infolge der Infiltration wurde die Absenkung des Wasserspiegels über einen Zeitraum von 4 Stunden gemessen (INGENIEURBÜRO BECK, 1998).

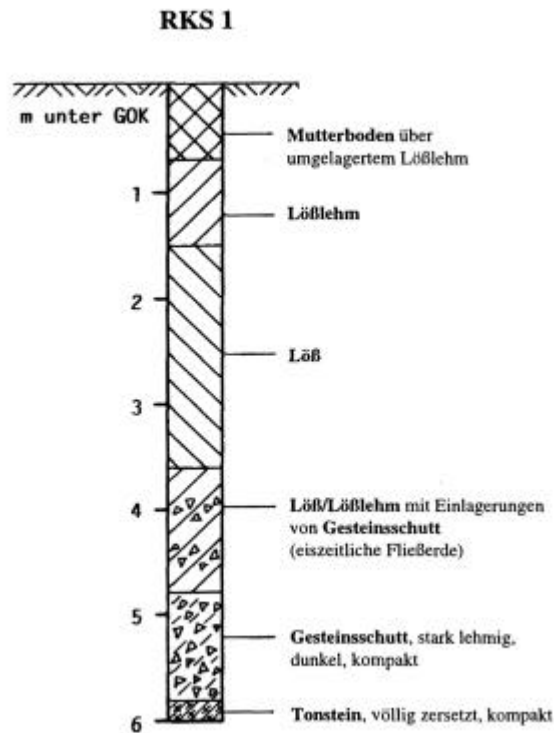


Bild 3-7: Säulenprofil der Bohrung RKS 1 (INGENIEURBÜRO BECK, 1998)

3.3 Untersuchungsergebnisse zur Bestimmung der Bodeneigenschaften

Bei den nachfolgend beschriebenen Ergebnissen zur Bestimmung der Bodeneigenschaften sind die Entnahmeorte in Essen und Mülheim an den Einlaufstellen mit 1 und 2, in Muldenmitte mit 3, sowie am Muldenrand mit 4 und außerhalb der Mulde mit 5 bezeichnet. Bei den Untersuchungen wurden die Korngrößenverteilung, die Wasserdurchlässigkeit, der Glühverlust, der pH-Wert und die Schwermetallgehalte bestimmt, um die Böden in Mülheim und Essen physikalisch wie auch chemisch hinsichtlich ihrer Eignung zur Versickerung von Niederschlagswasser beurteilen zu können.

3.3.1 Korngrößenverteilung der Bodenproben

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung erfolgte durch eine Sedimentationsanalyse mit anschließender Siebung nach DIN 18123 (1996). In Bild 3-8 sind für die einzelnen Proben die Anteile der Kornfraktionen dargestellt. Der Anteil des Schlämmkorns beträgt bei den Essener Böden 15,4 bis 74,9 Gew.-% und bei den Mülheimer Böden 10,6 bis 70,8 Gew.-%. Damit liegen nach der Korngrößenanalyse in Essen und Mülheim gemäß DIN 18196 (1988) Sand- und Schluffgemische bis sandige Schluffe als Böden vor, womit die Angaben in der geologischen Karte bestätigt werden. Allerdings wird hieran ebenfalls deutlich, wie sehr der Massenanteil der einzelnen Kornfraktionen auf einer begrenzten Fläche und sogar im Tiefenprofil variiert.

Der durchschnittliche Schlämmkornanteil liegt für die Essener Böden bei 45,1 Gew.-% und für die Mülheimer Böden bei 54,5 Gew.-%. Daraus wird ersichtlich, daß die Mülheimer Böden im Durchschnitt circa 10 Gew.-% mehr Schlämmkorn enthalten als die Essener Böden. Der Boden in Mülheim ist jedoch nicht natürlich gewachsen wie derjenige in Essen. Bei der Probennahme in Mülheim sind bis in etwa 50 cm Tiefe Bauschuttreste festgestellt worden. Insofern ist der größere Feinkornanteil der

Mülheimer Proben hinsichtlich der Porenstruktur zu relativieren, was sich auch im nächsten Kapitel bei der Wasserdurchlässigkeit der Böden zeigt.

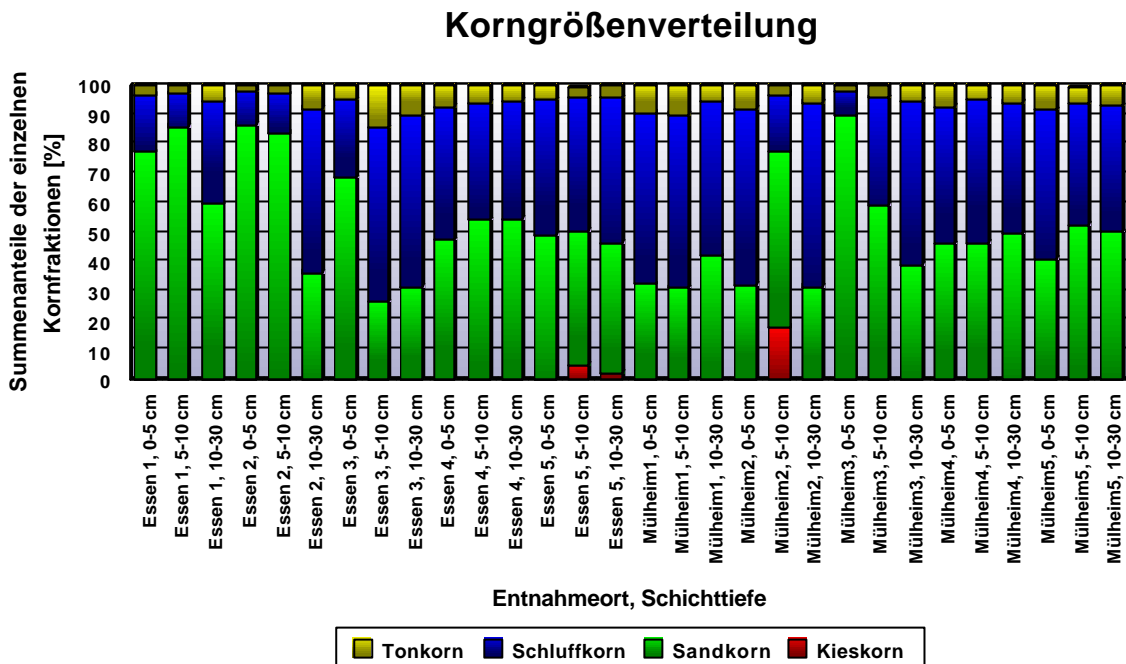


Bild 3-8: Summenanteile der einzelnen Kornfraktionen der Bodenprobe in %

Eine Untersuchung auf Verschlämmung ist aufgrund der kurzen Betriebszeit in Mülheim nicht sinnvoll und beschränkt sich daher auf die Bodenproben aus Essen. Anhand der aufgenommenen Körnungslinien kann hierzu jedoch keine Aussage getroffen werden. Es ist weder festzustellen, daß die oberen Bodenschichten feinkörniger sind als die darunter liegenden, noch daß die stärker beanspruchten Bereiche, wie die Einlaufstellen und die Muldenmitte, höhere Werte aufweisen als die weniger stark belasteten Zonen am Muldenrand.

3.3.2 Wasserdurchlässigkeit der Bodenproben

Der Durchlässigkeitsbeiwert wurde entsprechend DIN 18130 (1998) ermittelt. Die Ergebnisse der Analyse sind in Bild 3-9 festgehalten. Wegen des großen Wertebereiches wurde ein logarithmischer Maßstab zur Darstellung gewählt. Die fehlenden Meßwerte kommen durch unbrauchbare Bodenproben zustande. So traten bei den beiden Essener Proben während der Versuchsdurchführung entlang der Wand des Versuchszylinders Umläufigkeiten infolge eingelagerter Steine und Fremdkörper auf. Die Mülheimer Bodenprobe war durch ein größeres Ziegelbruchstück, welches sich auf halber Höhe des Probekörper befand und beim Herauspressen der Probe aus dem Stechzylinder verkantete, zur Bestimmung des k_f -Wertes nicht geeignet.

Das geometrische Mittel der Durchlässigkeitsbeiwerte beträgt für die Proben aus Essen $1,6 \cdot 10^{-7}$ m/s und für diejenigen aus Mülheim $1,0 \cdot 10^{-6}$ m/s, womit der geometrisch gemittelte k_f -Wert in Essen eine Zehnerpotenz unter dem Mülheimer liegt. In die Berechnung für das geometrische Mittel gingen nur die Werte ein, die auch in Bild 4-9 wiederzufinden sind. Unter der Annahme, daß die fehlenden Werte in der gleichen Größenordnung liegen wie die Werte des gleichen Probenortes, würde der Essener k_f -Wert ein wenig höher und der Mülheimer niedriger ausfallen.

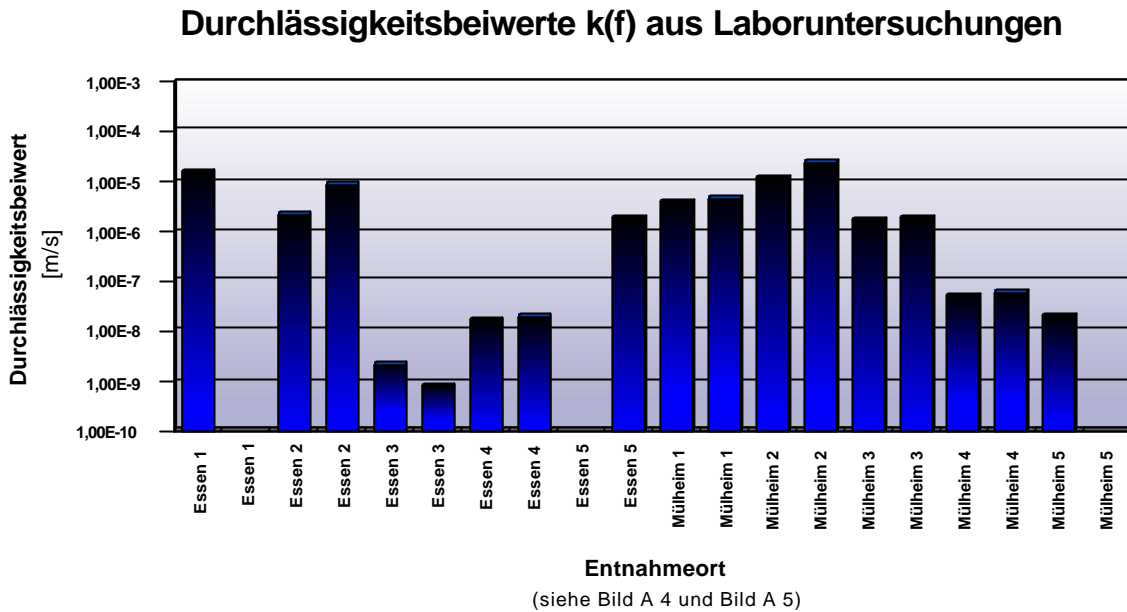


Bild 3-9: Durchlässigkeitsbeiwert der Bodenproben in m/s

Für die in Kapitel 3.4 durchgeführte Bemessung der Essener Versickerungsmulde ist auf den enormen Unterschied zwischen dem maximalen und dem minimalen k_f -Wert hinzuweisen, der bis zu vier Zehnerpotenzen beträgt. Beim Mülheimer Boden beträgt diese Differenz innerhalb der Muldenfläche dagegen weniger als drei Zehnerpotenzen. Die bei Anlagen zur Versickerung befürchtete Verschlämmung der obersten Bodenschicht, die zu einer Abnahme der Versickerungsleistung führt, trifft für die Essener Versickerungsmulde nicht zu. In Muldenmitte ist zwar der minimale Durchlässigkeitsbeiwert festgestellt worden, jedoch weisen dafür die hydraulisch und stofflich stark beanspruchten Einlaufstellen die maximalen Wasserdurchlässigkeiten auf. Gleichzeitig beträgt der k_f -Wert am Muldenrand mehr als zwei Zehnerpotenzen weniger als an den Einlaufstellen, obwohl dort der höchste Wert zu erwarten ist. Für die Mülheimer Mulde ist aufgrund der kurzen Betriebszeit keine sinnvolle Aussage zur Verschlämmung der obersten Bodenschicht möglich.

Die hohen Wasserdurchlässigkeiten im Bereich der Einlaufstellen sind durch den Einbau des Kolk-schutzes zu erklären, für dessen Bettung in Essen und in Mülheim Sand eingesetzt worden ist. Genauso sind die in Mülheim in Muldenmitte ermittelten hohen k_f -Werte zu begründen, da dort für die ringförmige Aufpflasterung um den Sickerschacht ebenfalls Sand als Bettungsmaterial benutzt worden ist. Deshalb wurde in diesen Bereichen ein höherer k_f -Wert als in den nicht durch Baumaßnahmen beeinflussten Zonen bestimmt. Wie aus Tabelle 2-2 ersichtlich ist, besitzen sandige Böden nämlich im Durchschnitt doppelt so viele Grobporen wie Schluffe. Gerade der Anteil an Grobporen bestimmt jedoch die Infiltrationsleistung eines Bodens.

3.3.3 Organische Bestandteile der Bodenproben

Die Ergebnisse des durch Verbrennung der organischen Substanz bestimmten Glühverlustes nach DIN 18128 (1990) sind in Bild 3-10 als Balkendiagramm wiedergegeben. Da die Böden auch Bestandteile der Tonfraktion enthalten, muß man bei den ermittelten Daten davon ausgehen, daß diese aufgrund der angewandten Bestimmungsmethodik eher zu hoch sind. Allerdings lassen sich mit den

gewonnenen Werten die Böden hinsichtlich ihrer organischen Bestandteile vergleichen, da die untersuchten Böden hinsichtlich ihrer Korngrößen ähnlich zusammengesetzt sind.

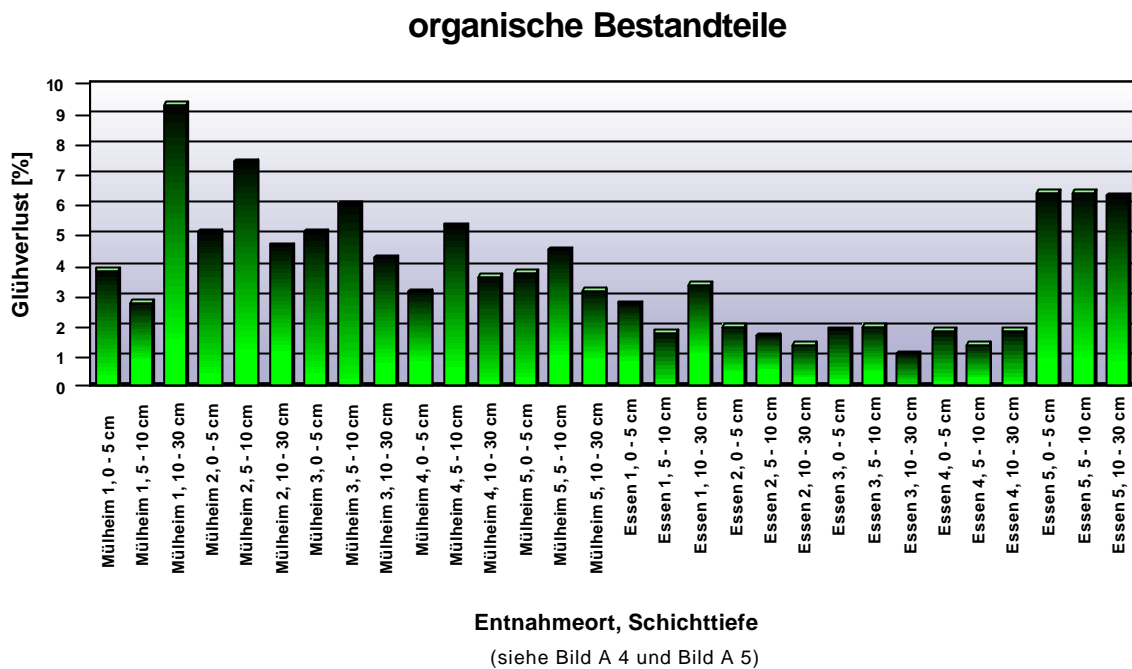


Bild 3-10: Glühverlust der Bodenproben in %

Der durchschnittliche Glühverlust beträgt bei den Proben aus Essen 2,8 % und bei denen aus Mülheim 4,8 %. Da die Proben aus Mülheim einen höheren Schlammkornanteil als die Proben aus Essen aufweisen, fällt der Unterschied beim durchschnittlichen Glühverlust zwischen den Proben aus Essen und Mülheim geringer aus als die Analyseergebnisse zunächst vermuten lassen. Mit zunehmendem Gehalt an organischen Substanzen steigt die Fähigkeit des Bodens Schwermetallkomplexe zu bilden, durch die die Schwermetalle im Boden gebunden und somit dem Sickerwasser entzogen werden. Daneben erfolgt auch die Adsorbierbarkeit und Fixierbarkeit von in Böden eingetragenen organischen Schadstoffen fast ausschließlich durch die organische Bodensubstanz.

Hinsichtlich der Verteilung sticht bei den Essener Proben der Standort 5 hervor, der über dreimal so hohe Gehalte an organischen Bestandteilen verfügt wie die übrigen Proben in Essen. Der Grund dafür liegt in dem aufgeschütteten mutterbodenähnlichen Material an dieser Stelle. Der Glühverlust für die Entnahmeorte 1 bis 4 in Essen liegt relativ konstant bei 2 %. In Mülheim weichen die Glühverluste der einzelnen Proben wesentlich stärker voneinander ab. Der minimale Wert beträgt 2,8 % und der maximale 9,3 %. Dieser große Wertebereich reflektiert die bereits bei der Probennahme bemerkte Inhomogenität des Bodens hinsichtlich seiner stofflichen Zusammensetzung. Die Verteilung bezüglich der Schichttiefe ergibt für die Mülheimer Proben, daß sich mit Ausnahme des Entnahmeortes Mülheim 1 das Maximum eines jeden Standortes in der Schichttiefe von 5 bis 10 cm zu finden ist. Diese Beobachtung widerspricht der Erwartung das Maximum des Glühverlustes aufgrund des vom Rasen gebildeten Wurzelgeflechtes im oberflächennahen Bereich vorzufinden. Für die Proben in Essen lassen sich keine Abhängigkeiten des Glühverlustes mit der Schichttiefe feststellen, obwohl aufgrund von abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffen, sowie deren Umwandlungsprodukten mit zunehmender Tiefe sinkende organische Gehalte im Boden zu erwarten sind.

3.3.4 pH-Wert der Bodenproben

Das Ziel der pH-Wert-Messung der Bodenlösung besteht darin, eine Aussage hinsichtlich der Mobilität der in Tabelle 2-6 aufgeführten Schwermetalle zu treffen. Die pH-Wert-Bestimmung erfolgte gemäß DIN ISO 10390 (1997). Die Ergebnisse der Analyse sind in Bild 3-11 als Balkendiagramm zusammengetragen. Die Reaktionsbezeichnung für die Mülheimer Proben lautet von schwach sauer bis schwach alkalisch und für die Essener Proben von mäßig sauer bis schwach alkalisch.

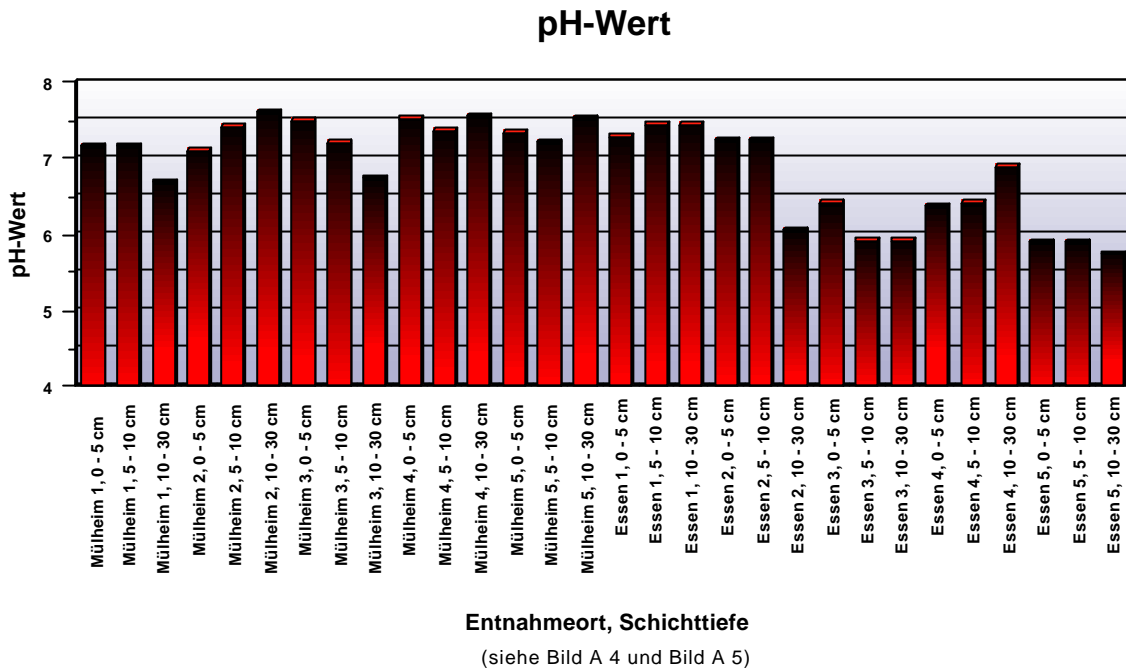


Bild 3-11: pH-Wert der Bodenproben

Bei der technischen Versickerung von Niederschlagswasser ist zum Schutz des Grundwassers ein pH-Wert größer 6,5 anzustreben, weil nach Tabelle 2-6 Cadmium unterhalb dieses Grenzwertes beginnt in Lösung überzugehen. Sinkt der pH-Wert noch weiter ab setzt eine Mobilisierung von Zink ein, sofern es verfügbar ist (vgl. Kapitel 3.3.5). Der durchschnittliche pH-Wert der Essener Proben beträgt 6,6 und der der Mülheimer Proben 7,3. Damit liegt zwar der Durchschnittswert in Essen, wie auch in Mülheim oberhalb des Grenzwertes, gleichwohl ist festzuhalten, daß dieser Grenz-pH-Wert in Essen von 9 untersuchten Proben und in Mülheim kein einziges Mal unterschritten wird. Sogar der obere Grenz-pH-Wert von Zink, der nach Tabelle 2-6 bei pH 6,0 festgesetzt ist, wird noch von 5 Proben in Essen unterschritten.

Infolge der bei Regen aus der Atmosphäre ausgewaschenen Gase werden durch die im Niederschlag enthaltenen Säuren H^+ -Ionen in den Boden eingetragen. Also kann man annehmen, daß hierdurch die H^+ -Ionenkonzentration im oberflächennahen Bereich am größten ist und diese mit zunehmender Tiefe immer weiter abfällt. Allerdings läßt sich für diese Vermutung in Bild 3-11 kein Anhalt finden. Dafür ist in Essen die Höhe des pH-Wertes hinsichtlich der verschiedenen Entnahmeorte auffällig. An den Einlaufstellen (mit Ausnahme von Essen 2, 10 - 30 cm) weisen die Proben einen pH von circa 7,3 auf. Für den Standort Essen 3 und 5 beträgt der pH bloß etwa 6,0. Aus diesen Ergebnissen wird deutlich, daß der pH-Wert selbst bei einem scheinbar natürlich gewachsenen Boden, wie er innerhalb der Muldenfläche angetroffen wurde, kleinräumig Schwankungen unterliegt.

3.3.5 Schwermetallgehalte der Bodenproben

Zur Abschätzung der Bodenbelastung werden die Schwermetallgehalte nach DIN EN ISO 11885 (1998) bestimmt und anschließend mit denen aus Tabelle 2-9 der Bundes-Bodenschutzverordnung verglichen. Betrachtet man die Schwermetallgehalte der einzelnen Entnahmeorte, so fallen insbesondere diejenigen der Proben aus Essen 5 auf, die durchschnittlich um den Faktor fünf höher liegen als die der übrigen Proben. Das in Essen 5 vorgefundene mutterbodenähnliche Material unterscheidet sich in seinen physikalischen wie chemischen Eigenschaften grundlegend von dem Boden, der im Bereich der Mulde anzutreffen ist. Wahrscheinlich handelt es sich um ortsfremdes Auffüllmaterial zur Herstellung der Außenanlagen. Dies ist bei Anwendung der Bundes-Bodenschutzverordnung zu berücksichtigen, da sich die in Essen 5 ermittelten Maxima für Cadmium auf 383 %, für Blei auf 180 % und für Zink auf 183 % des Vorsorgewertes belaufen. In Verbindung mit dem dort vorherrschenden pH-Wert von 6,0 ist eine hohe Mobilität der dort angelagerten Schwermetalle zu befürchten.

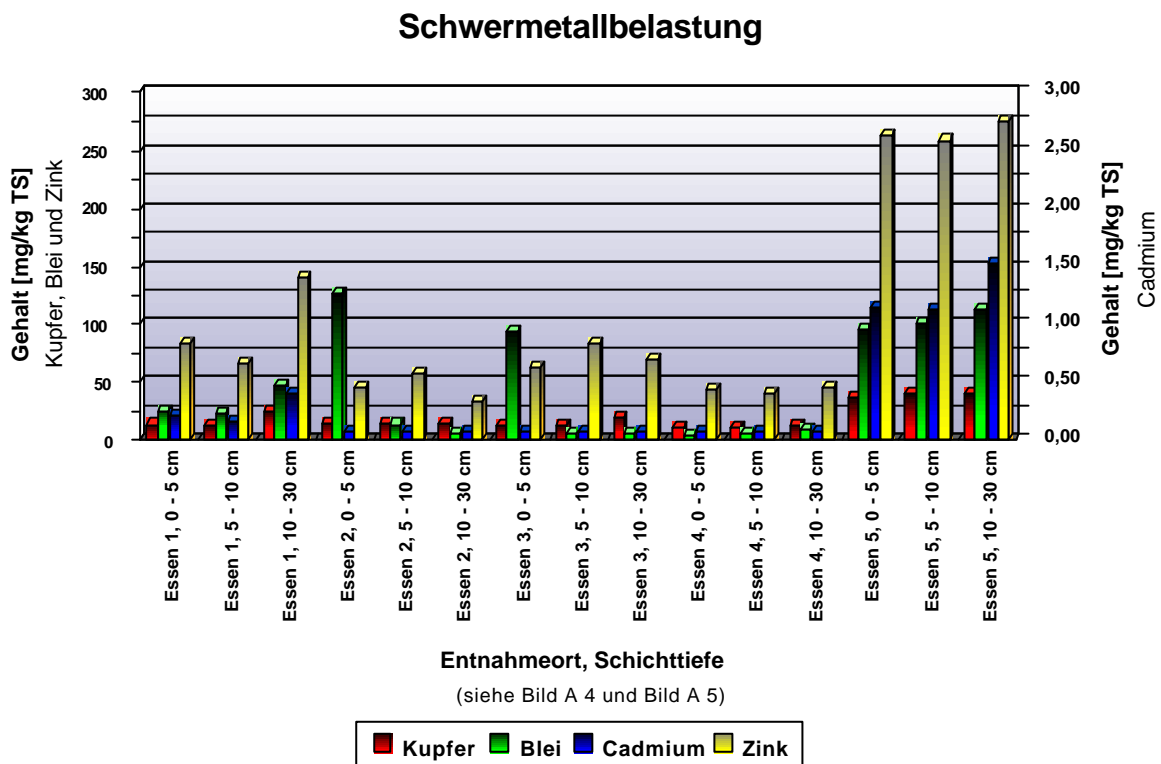


Bild 3-12: Schwermetallgehalte der Bodenproben aus Essen in mg/kg Trockensubstanz

Läßt man den Entnahmeort Essen 5 hinsichtlich der Überprüfung der Schwermetallgehalte auf Einhaltung der Vorsorgewerte unberücksichtigt, so werden diese von Blei und von Zink zweimal nicht eingehalten. Nach der Bundes-Bodenschutzverordnung werden für Blei somit die Prüfwerte maßgebend, die indes problemlos erfüllt werden. Daher kann davon ausgegangen werden, daß keine schädliche Veränderung beziehungsweise Altlast im Boden vorliegt. Allerdings hat im Ruhrgebiet über lange Zeit infolge der angesiedelten Industriebetriebe ein großflächiger Eintrag von Schadstoffen über die Atmosphäre in den Boden stattgefunden. Entsprechend der Bundes-Bodenschutzverordnung spricht man dann von einem siedlungsbedingt vorbelastetem Boden.

Wie aus Bild 3-13 zu sehen ist, sind im Gegensatz zu den Schwermetallgehalten in Essen diese in Mülheim über die unterschiedlichen Entnahmeorte wesentlich gleichmäßiger verteilt. Lediglich der Cadmiumgehalt in der Probe Mülheim 1 aus 10 - 30 cm Schichttiefe und der Bleigehalt in der Probe Mül-

heim 3 aus 5 - 10 cm Schichttiefe erscheinen im Vergleich mit den übrigen Werten zu hoch. Da es sich bei dem Boden aus Mülheim um eine Auffüllung bestehend aus Lößlehm vermischt mit Bauschutt handelt, kann bei den relativ geringen Probenmengen durch das Vorhandensein einzelner Fremdpartikel das Meßergebnis verfälscht werden.

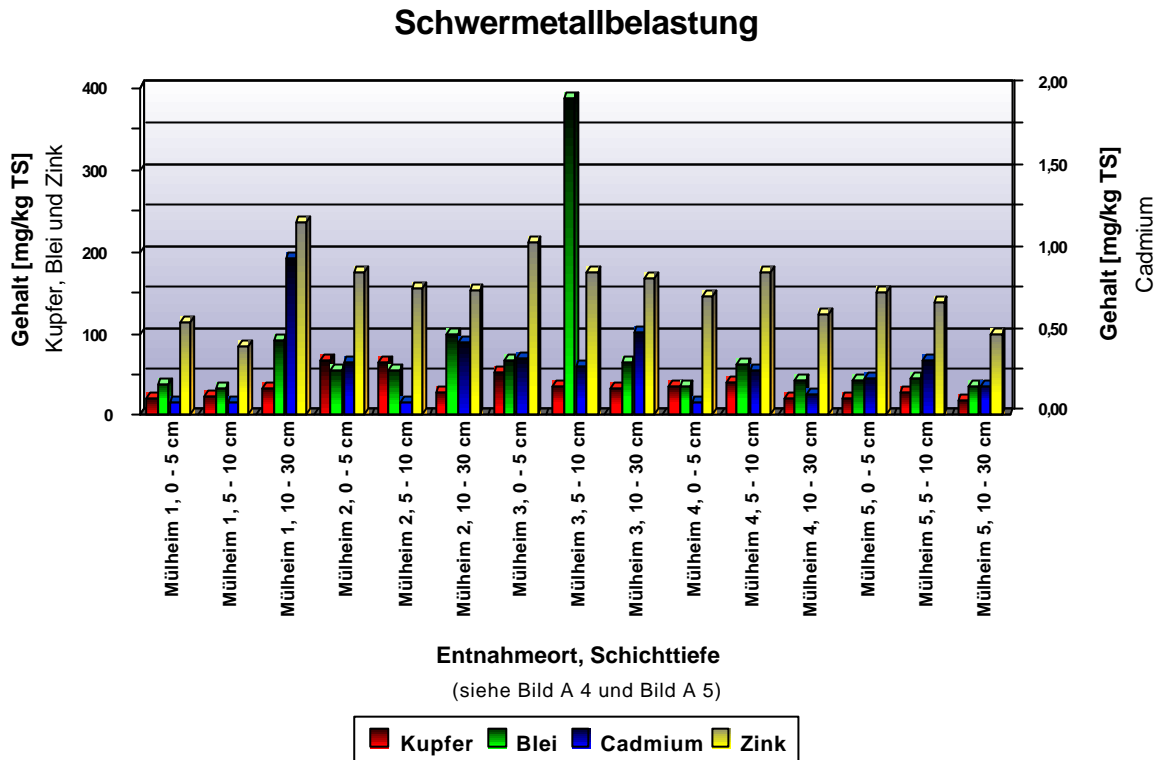


Bild 3-13: Schwermetallgehalte der Bodenproben aus Mülheim in mg/kg Trockensubstanz

Bei der Überprüfung der durchschnittlichen Schwermetallgehalte in den Bodenproben aus Mülheim mit den Vorsorgewerten liegen nur die Werte von Cadmium mit 29 % und die von Kupfer mit 85 % unterhalb des in der Bundes-Bodenschutzverordnung festgesetzten Grenzwertes. Der in den Bodenproben vorkommende durchschnittliche Gehalt an Blei beträgt 100 % und der an Zink 102 % des Vorsorgewertes. Betrachtet man die maximalen Schwermetallgehalte, die alle nicht von den Vergleichsproben außerhalb der Mulde stammen, so bezieht sich dieser für Blei auf 553 %, für Kupfer auf 167 % und für Zink auf 156 % des Vorsorgewertes. Beim Zink überschreiten 8 Meßergebnisse die Vorsorgewerte, während dies beim Blei und Kupfer jeweils noch bei drei Proben zu beobachten ist. Der Prüfwert für Blei wird noch von einer Probe nicht eingehalten. Wird durch entsprechende Maßnahmen dafür gesorgt, daß die Grünfläche nicht als Spielfläche genutzt wird, so kann der für Wohngebiete doppelt so hoch liegende Prüfwert angesetzt werden, der dann auch von der Bodenprobe Mülheim 3 aus 5 - 10 cm Schichttiefe erfüllt wird.

3.4 Dimensionierung der Versickerungsanlage in Essen

Bei der Dimensionierung von Versickerungsanlagen stehen dem Planer zwei grundsätzliche Verfahren zur Verfügung. Das eine Verfahren nennt sich Lastfallverfahren und entspricht den Bemessungsformeln aus ATV-A 138 (1999). Dieses Verfahren eignet sich insbesondere zur Vordimensionierung von Anlagen zur Versickerung von Regenwasser. Zur Bestimmung der tatsächlichen Überschreitungshäufigkeit bietet es sich an, ein sogenanntes Nachweisverfahren für die Versickerungsanlage zu führen.

3.4.1 Dimensionierung der Versickerungsanlage mittels Lastfallverfahren

Beim Lastfallverfahren erfolgt die Dimensionierung von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser unter Vorgabe eines Bemessungsregens bestimmter Dauer und statistischer Überschreitungshäufigkeit. Da zum Zeitpunkt der Planung der Versickerungsmulde in Essen noch ATV-A 138 in der Fassung von 1990 maßgebend war, wird die Versickerungsanlage unter Verwendung der Regenspenden nach Reinhold gemäß ATV-A 138 (1990) und zum Vergleich unter Benutzung örtlicher Regenspenden entsprechend ATV-A 138 (1999) bemessen.

Die angeschlossene befestigte Fläche A_{red} beläuft sich auf 235 m² und die verfügbare Versickerungsfläche A_S auf 213 m². Aufgrund der in Kapitel 3.3.2 dargelegten Ergebnisse der Wasserdurchlässigkeiten, erfolgte die Bemessung für zwei k_f -Werte, nämlich für den geometrisch gemittelten und den gemittelten Durchlässigkeitsbeiwert k_f . In Tabelle 3-13 sind die nach ATV-A 138 (1990 und 1999) berechneten Muldenvolumina und die daraus abgeleiteten Muldentiefen zusammengefaßt.

Tabelle 3-13: Gegenüberstellung der nach ATV-A 138 in der Fassung von 1990 und 1999 ermittelten Muldenvolumina beziehungsweise Muldentiefen für Essen

Verfahren	$k_f = 1,57 \times 10^{-7} \text{ m/s}$		$k_f = 3,69 \times 10^{-6} \text{ m/s}$	
	erforderliches Muldenvolumen	erforderliche Muldentiefe	erforderliches Muldenvolumen	erforderliche Muldentiefe
	[m ³]	[m]	[m ³]	[m]
Regenspende nach Reinhold	10,45	0,05	8,18	0,04
örtliche Regenspende	30,81	0,14	9,11	0,04

Generell ist festzustellen, daß die Muldenvolumina beziehungsweise die dazugehörigen Muldentiefen bei Benutzung der örtlichen Regenspenden größer ausfallen, und zwar um so ausgeprägter je schlechter der Durchlässigkeitsbeiwert k_f ist.

3.4.2 Nachweis der Versickerungsmulde unter Verwendung von R-Win

Mit dem Nachweisverfahren wird die tatsächliche Überlaufhäufigkeit und Einstaudauer der Versickerungsanlage durch eine Langzeit-Kontinuums-Simulation rechnergestützt bestimmt. Insbesondere bei Untergründen mit geringer Wasserdurchlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, daß ein Niederschlagsabfluß infolge des stark verzögerten Versickerungsprozesses auf einen teilgefüllten Speicher trifft, als sehr groß einzuschätzen.

Die kontinuierliche Langzeitsimulation wurde mit dem Programm R-Win in der Version 2.0 durchgeführt. Die vorhandene kaskadenförmig gestaltete Mulde wurde in der Simulation durch eine volumengleiche Rechteckmulde mit geböschtem Querschnitt ersetzt. Neben den geometrischen Abmessungen verlangt das Programm R-Win noch eine h - Q_U -Kennlinie. Hierbei wurde vereinfacht angenommen, daß ein Überlauf nur an der parallel zur Straße verlaufenden Muldenkante auftritt. Die Niederschlagsdaten stammen von der Station 4507 in Essen-Bredeney und umfassen die Jahre von 1948 bis 1995. Ebenso wie bei der Vordimensionierung der Mulde nach ATV-A 138 (1999) sind die Nachweise in R-Win mit zwei k_f -Werten durchgeführt worden, nämlich $1,57 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ und $3,69 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$.

Wird der k_f -Wert auf $3,69 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ festgesetzt, tritt infolge der Simulation mit R-Win nur ein Überlaufereignis auf, bei dem innerhalb von 2 Stunden und 35 Minuten 15,4 m³ Regenwasser aus der Mulde

abgefließen sind. Nach Vorgabe des geringeren k_f -Wertes kommt es in den Jahren 1948 bis 1995 zu 445 Überlaufereignissen. Bezieht man die Anzahl der Überlaufereignisse, bei denen insgesamt 550 m³ Regenwasser nicht ordnungsgemäß versickert werden konnten, auf den Simulationszeitraum von 41 Jahren, so kommt es statistisch gesehen 11 Mal im Jahr zu einem Versagen der Anlage. In ATV-A 138 (1999) wird für dezentrale Anlagen zur Versickerung von Regenwasser zum Schutz der Anlieger eine Überschreitungshäufigkeit von 5 Jahren gefordert. Die mittlere Einstaudauer von 5 Stunden und 25 Minuten ist als tolerierbar zu bewerten.

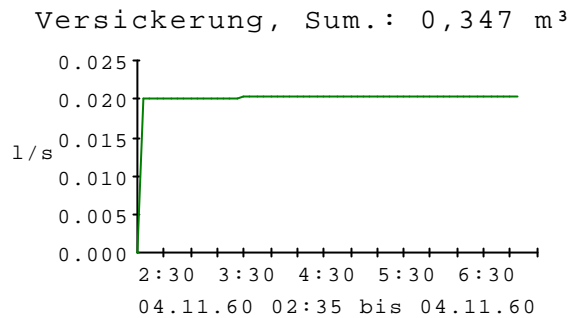
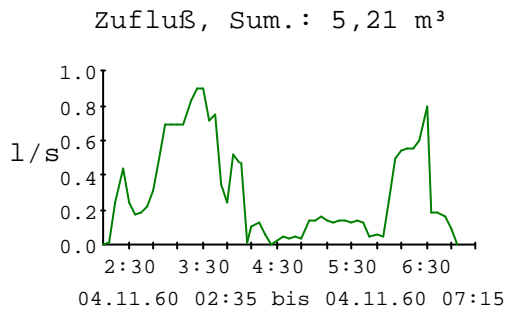


Bild 3-14: Zuflußganglinie 4.11.1960

Bild 3-15: Infiltrationsganglinie 4.11.1960

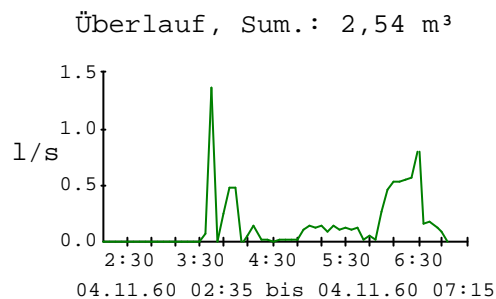
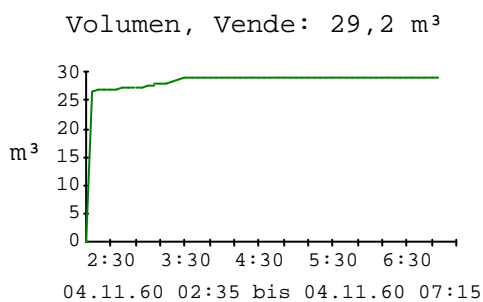


Bild 3-16: Volumenganglinie 4.11.1960

Bild 3-17: Überlaufganglinie 4.11.1960

Nachfolgend werden exemplarisch die Ganglinien des Überlaufereignisses vom 4.11.1960 näher erläutert. Dieses Ereignis ist ausgewählt worden, da sich an den in Bild 4-14 bis Bild 4-17 dargestellten Diagrammen die Zusammenhänge zwischen Zufluß, Infiltrationsleistung, Einstau und Überlauf gut erklären lassen. Die Zuflußmenge von 5,21 m³ in 4 Stunden und 40 Minuten entspricht einer mittleren Regenspende von circa 13 l/(s · ha). Die maximale Regenspende kann durch Ablesen des maximalen Zuflusses, der etwa 0,9 l/s beträgt, mit 40 l/(s · ha) angegeben werden, das heißt die Regenspende liegt weit unter derjenigen, mit der im Lastfallverfahren die Mulde nach ATV-A 138 (1999) bemessen worden ist. Trotzdem ist die Infiltrationsleistung der Versickerungsanlage nicht ausreichend, da das Niederschlagsereignis auf eine teilgefüllte Mulde trifft. Aus Bild 4-14 ist ersichtlich, daß die Niederschlagsintensität nicht über die Zeit gleich verteilt ist, sondern daß der Phase einer hohen Regenspende eine Phase mit einer niedrigen Regenspende und darauf wieder eine Phase mit einer hohen Regenspende folgt. Nach Sättigung des Untergrundes liegt die Infiltrationsleistung bei konstant 0,02 l/s. Jedoch ist die Wasserdurchlässigkeit des Bodens zu gering, so daß die Mulde innerhalb kürzester Zeit eingestaut ist. Entsprechend führt der hohe Zufluß des ersten starken Regens zum Überlaufen der Versickerungsmulde. Ferner bewirkt der fehlende Speicherraum der Mulde, daß der Verlauf der Überlaufganglinie bezüglich der Lage seiner Maxima und Minima dem Verlauf der Zuflußganglinie recht ähnlich sieht.

4 Bewertung der Untersuchungsergebnisse und Empfehlungen hinsichtlich Planung, Betrieb und Wartung von Anlagen zur dezentralen Versickerung

In diesem Kapitel werden die Böden aufgrund der Untersuchungsergebnisse auf ihre Eignung zur Versickerung von Niederschlagswasser bewertet. Daneben werden für diese Anlagen festgestellte Mängel aus der Planung, dem Betrieb und der Wartung erläutert. Ausgehend davon werden in Kapitel 4.3 generelle Empfehlungen für die Planung, den Betrieb und die Wartung gegeben.

4.1 Bewertung der Versickerungsanlage in Essen „Oberholzweg 9 - 11“ hinsichtlich Planung, Betrieb und Wartung

Aufgrund der für die Versickerung verfügbaren Fläche, der Topographie, der Dacheindeckung aus glatten Ziegeln und der einfachen Besitzverhältnisse sind die Voraussetzungen für eine Versickerung von Niederschlagswasser in Essen am Oberholzweg als gut zu beurteilen. Wie aus den Untersuchungen deutlich wird, ist die Schwermetallbelastung des für die Versickerung wirksamen Bodens trotz der siedlungsbedingten Vorbelastung sehr gering. Der pH-Wert liegt hinsichtlich der Mobilität von in den Boden eingetragenen Schwermetallen im zufriedenstellenden Bereich. Durch Kalkung kann zumindest im oberflächennahen Bereich die Bodenacidität ohne große Kosten verbessert werden. Ein Gefährdungspotential für das Grundwasser und den Menschen infolge von Schadstoffen ist in Essen am Oberholzweg durch die technische Versickerung von Niederschlagswasser nicht zu befürchten.

Wie in der Langzeitsimulation gezeigt wurde, ist die Ausführung der Versickerungsanlage als Mulde bezüglich der Infiltrationsleistung nicht ausreichend. Als Folge der geringen Wasserdurchlässigkeit des Bodens muß ein künstlicher Speicherraum in Kombination mit der Mulde geschaffen werden, um die Dauer des Versickerungsvorganges zu verkürzen. Der künstliche Speicherraum kann in Form einer Rigole verwirklicht werden, die über den Überlauf der Mulde zu beschicken ist. Als Nachteile dieses aufwendigen Systems sind die bedeutend höheren Fertigstellungskosten und die schlechte Wartungsmöglichkeit der Rigole zu nennen. Da nur das Niederschlagswasser, das die Infiltrationsleistung der Mulde überschreitet, der Rigole zugeführt wird, ist die Reinigungsleistung dieser Anlagenform kaum schlechter als die einer Flächen- oder Muldenversickerung.

Die Ausführung betreffend sind die kurzen Zuleitungen zu den Mulden aus Beton-Rinnenformsteinen, die als wartungsarm und pflegeleicht zu beurteilen sind, und der aus Bruchsteinen hergestellte Kolk-schutz für eine gelungene Verwirklichung zu nennen. Während des Untersuchungszeitraumes waren die Anlagen am Oberholzweg immer in einem sehr gepflegtem Zustand, das heißt im Herbst waren die Mulden frei von Laub und seit dem Frühjahr wird der Rasen regelmäßig gemäht. Eine telefonische Anfrage bei dem für die Anlagen zuständigen Garten- und Landschaftsbetrieb zeigte, daß keine gesonderten Vorgaben zur Wartung der Anlagen, zum Beispiel wie oft im Herbst das Laub aus den Mulden zu entfernen ist, oder in welchen Zeitabständen die Rasendecke auf Vegetationslücken zu überprüfen ist, existieren. In diesem Bereich besteht daher noch Handlungsbedarf, damit die Funktionstüchtigkeit der Anlage über viele Jahre erhalten bleiben kann.

4.2 Bewertung der Versickerungsanlage in Mülheim „Filchnerstraße 68 - 74“ hinsichtlich Planung, Betrieb und Wartung

Ähnlich wie in Essen am Oberholzweg sind die Rahmenbedingungen für eine Versickerung von Niederschlagswasser in Mülheim in der Filchnerstraße insgesamt noch positiv zu bewerten. Auch die in den Untersuchungen ermittelten physiko-chemischen Eigenschaften der Bodenproben sind hinsichtlich der Eignung zur Versickerung als noch tolerierbar zu beurteilen. Der hohe pH-Wert garantiert eine nur geringe Mobilität der Schwermetalle, deren festgestellte Gehalte allerdings auf einem recht hohen Niveau liegen. Da die Planungsunterlagen bezüglich der versickerungswirksamen Fläche bei der Ausführung nicht vollständig umgesetzt worden sind, ist eine zu lange Einstaudauer beziehungsweise eine zu hohe Überschreitungshäufigkeit zu befürchten. Diese Annahme wird durch einen Aktenvermerk und den Einbau des Notüberlaufes bestätigt. Aufgrund der geringen Höhe des Notüberlaufes von nur 10 cm über der Muldensohle läuft bei jedem größerem Regenereignis Wasser in den Sickerschacht, das wegen der fehlenden Sickerwasserpassage durch die obere bewachsene Bodenschicht ungereinigt versickert. Somit ist das Gefährdungspotential für das Grundwasser als nicht unbedeutend zu bewerten, zumal durch die angrenzende Autobahnauffahrt erhöhte Schadstofffrachten im Dachabfluß wahrscheinlich sind.

Während der Herbst- und Wintermonate war eine übliche Grünpflege der Gesamtanlage nicht zu erkennen. Aufgrund der geschlossenen Laubdecke in den Mulden ist zu befürchten, daß sich infolge der geringeren Sauerstoffzufuhr anaerobe Verhältnisse im Boden einstellen. Dadurch wird die biologische Schadstoffumwandlung in der belebten Bodenzone nachteilig beeinflusst (siehe Kapitel 2.4.3). Gleichzeitig wird das Wachstum der Vegetation in den Versickerungsmulden entscheidend behindert.

Da die Bauphase in Mülheim derzeit nicht abgeschlossen ist, sind weitere Mängel hinsichtlich der beim Bau zu treffenden Vorkehrungen zum Schutz der versickerungswirksamen Flächen beobachtet worden. Als Mängel sind zu nennen, daß die für die Versickerung genutzten Flächen von schwerem Baugerät befahren, und die Fallrohre bereits vor der Fertigstellung der Mulden von der Kanalisation abgekoppelt worden sind.

4.3 Empfehlungen für die Planung, Betrieb und Wartung von Anlagen zur dezentralen Versickerung

Aus den in den vorherigen Abschnitten aufgezeigten Mängeln werden in diesem Kapitel Empfehlungen erarbeitet, die eine Verbesserung der Planung, des Betriebes und der Wartung von Anlagen zur Versickerung von Regenwasser zum Ziel haben. Mit den Anweisungen soll erreicht werden, daß häufig aus Unwissenheit begangene Fehler beziehungsweise Mängel von vornherein vermieden werden.

4.3.1 Empfehlungen für die Planung

Die nachstehend beschriebenen Empfehlungen beziehen sich auf die Planung von Anlagen, bei denen eine Sickerwasserpassage über die belebte Bodenzone erfolgt, wie bei der Flächen- und der Muldenversickerung. Ansonsten ist für die Versickerungsanlage gemäß §§ 2, 3 und 7 des Wasserhaushaltsgesetzes ein Genehmigungsantrag bei der unteren Wasserbehörde zu stellen. In Bild 4-18 sind die erforderlichen Schritte aufgeführt, um eine für die Versickerung von Niederschlagswasser vorgesehene Fläche auf ihre Eignung hin zu überprüfen. Ist eine Versickerung grundsätzlich möglich, so sind die in Bild 4-19 gezeigten Maßnahmen für die Projektbearbeitung und die Ausführung zu treffen.

1

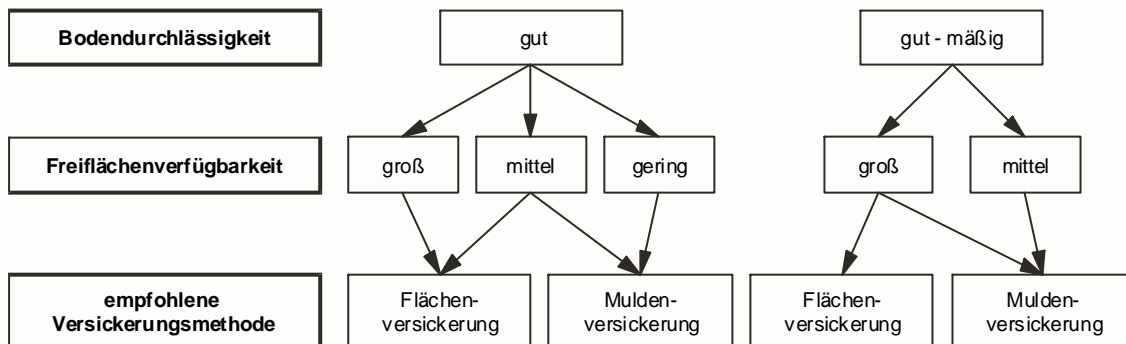
Ersteinholung von Unterlagen und Bescheiden bei nachfolgenden Behörden für die Errichtung einer Anlage zur Versickerung von Regenwasser über die belebte Bodenzone

Untere Wasserbehörde	Überprüfung der für die Versickerung vorgesehenen Fläche auf wasserschutzrechtliche Bedingungen	
Untere Abfallwirtschaftsbehörde	Altlastenkataster	Überprüfung des anstehenden Bodens auf wassergefährdende Schadstoffe
Landesvermessungsamt	Topographische Karte M 1 : 5000	Überprüfung, ob die topographischen Verhältnisse eine Versickerung zulassen
Geologisches Landesamt	Geologische Karte M 1 : 50.000	Überprüfung, ob der Flurabstand und die Bodendurchlässigkeit eine Versickerung zulassen
Vermessungsamt	Bebauungsplan	Abgreifen der für die Versickerung verfügbaren Fläche und der abzukoppelnden Fläche

$$\text{Flurabstand} > 1\text{m} \quad 1 \cdot 10^{(-3)} < k(f) < 1 \cdot 10^{(-6)}$$

2

Bestimmung einer geeigneten Versickerungsmethode in Abhängigkeit der Bodendurchlässigkeit und der Freiflächenverfügbarkeit

**3**

Überprüfung auf Verfügbarkeit der erforderlichen Versickerungsfläche mit örtlichen Regendaten aus dem KOSTRA-Atlas des Deutschen Wetterdienstes

Flächenversickerung	Muldenversickerung
$erf. \cdot A_s = \frac{A_{red}}{\left(k_f \cdot s_F \cdot 10^7 / (2 \cdot r_{D(n)})\right) - 1}$	$erf. \cdot V = \left((A_{red} + A_s) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - A_s \cdot \frac{k_f}{2} \right) \cdot D \cdot 60$
Bemessungsziel: erforderliche Fläche	Bemessungsziel: erforderliches Volumen
	maximale Einstautiefe: 30 cm

erforderliche Fläche < verfügbare Fläche?

Bild 4-18: Überprüfung auf Machbarkeit der Versickerung von Regenwasser in Wohngebieten

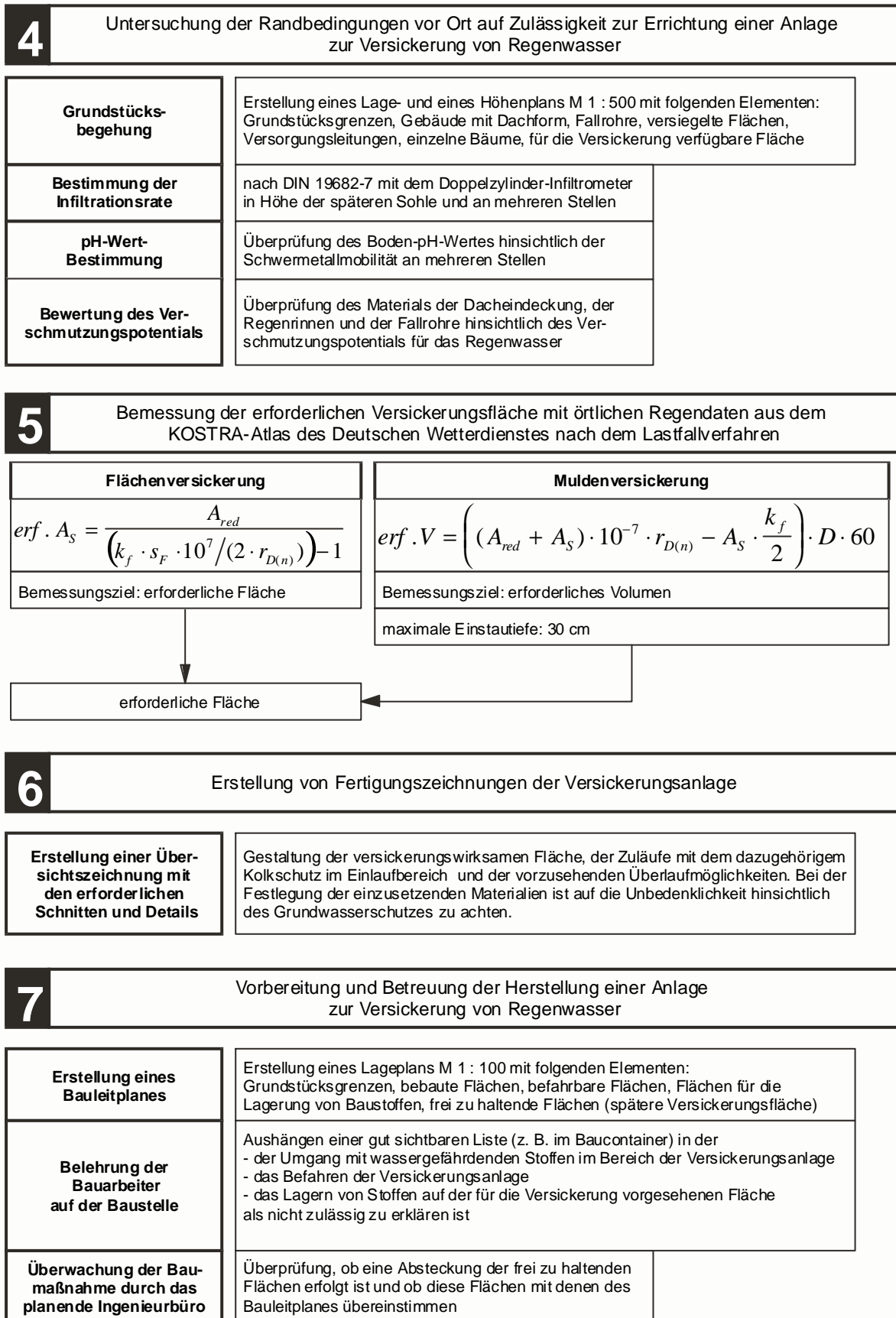


Bild 4-19: Ausarbeitung eines Konzeptes zur Versickerung von Regenwasser nach erfolgter Überprüfung auf Machbarkeit

4.3.2 Empfehlungen für den Betrieb und die Wartung

Die Erfahrungen zeigen, daß gerade bei den wartungsarmen Anlagenformen, wie Flächen- und Muldenversickerung, keine besonderen Maßnahmen im Vergleich zu herkömmlichen Grünflächen getroffen werden. Allerdings erscheint es sinnvoll gewisse Aufgaben, wie die Häufigkeit das Laub zu entfernen, vertraglich oder über sogenannte Pflichtenhefte festzuschreiben, um die Funktionstüchtigkeit der Versickerungsanlage sicherzustellen. Für den Betrieb und die Wartung der Zuleitungen und der versickerungswirksamen Fläche sind folgende Empfehlungen zu erteilen:

- den Bewohnern von Mehrfamilienhäusern sind durch Aushängen von Ordnungsanweisungen die Nutzungsbeschränkungen der Versickerungsflächen bekannt zu geben
- vor dem Erstanschluß sind die Rinnen von grobem Bauschmutz zu reinigen
- Versickerungsanlagen sind wegen der Gefahr der Selbstabdichtung in Neubaugebieten erst in Betrieb zu nehmen, wenn das Einzugsgebiet befestigt beziehungsweise begrünt ist
- der Bepflanzung ist vor dem Erstanschluß genügend Zeit für ein ungestörtes Anwachsen zu lassen
- in den Sommermonaten sind die Rasenflächen regelmäßig, mindestens einmal im Monat, zu mähen; das Mähgut ist dabei von der Versickerungsfläche zu entfernen
- rasenbewachsene Versickerungsflächen sind auf größere Fehlstellen in der Narbe zu überprüfen, die durch Nachsäen zu beheben sind
- Schäden an der Bodenoberfläche, die durch Mäuse oder Maulwürfe verursacht werden, sind umgehend zu beseitigen
- im Herbst ist das Laub regelmäßig, zum Beispiel einmal die Woche, von der Versickerungsfläche zu beseitigen
- wird eine Abnahme der Wasserdurchlässigkeit festgestellt, so ist diese bei rasenbewachsenen Versickerungsflächen durch Vertikutieren und generell durch Schälen der obersten Bodenschicht beziehungsweise durch Austausch oder Aufbereitung des Bodens wiederherzustellen
- im unmittelbaren Bereich von Versickerungsanlagen dürfen zur Pflege der Grünanlagen keine wasergefährdenden Stoffe, wie Herbizide und Angizide, eingesetzt werden
- bei Flächenversickerungsanlagen, die mit Rasengittersteinen oder mit Pflastersteinen mit erweiterten Fugen hergestellt worden sind, ist eine Reinigung der Pflastersteine mittels Hochdruckreiniger nicht zulässig

Bei rasenbewachsenen Mulden sind nach SIEKER et al. (1996) folgende Anforderungen an das Saatgut zu stellen:

- der Rasen muß sowohl längere Trocken-/ Nässephasen als auch deren kurzzeitigen Wechsel unbeschadet überstehen
- kleine Fehlstellen in der Narbe müssen durch Eigenwuchs geschlossen werden
- zur Verringerung des Pflegeaufwandes sollte der Rasen kurz- und langsamwüchsig sein
- zur Sicherung der Wasserdurchlässigkeit und der Sauerstoffversorgung sollte der Rasen eine hohe Narbendichte und Wurzelbildung aufweisen

5 Literaturverzeichnis

- ALLOWAY, B. (1999): Schwermetalle in Böden - Analytik, Konzentration, Wechselwirkungen; Springer Verlag, Berlin, ISBN 3-540-62086-9
- ARENS, P. (1999): Versickerung von Dachablaufwasser; Deutsches Kupfer-Institut, Best. Nr. 195, Sonderdruck, Düsseldorf
- ATV-A 138 (1990): Arbeitsblatt A 138 - Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser; Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., Hennef
- ATV (1996): Regenwasserversickerung - ATV-Information; Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., Hennef
- ATV-A 138 (1999): Arbeitsblatt A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser; Entwurf, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., Hennef, ISBN 3-933707-19-6
- BORGWARDT, S. (1994): Entsiegelung im Straßenraum - Belastung von Grundwasser und Boden bei der Versickerung von Niederschlägen?; Korrespondenz Abwasser, Nr. 4, Seite 530 bis 540
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV); <http://www.umwelt-online.de>
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1996): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, Wasserhaushaltsgesetz (WHG); <http://www.umwelt-online.de>
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1986): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz; Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft); <http://www.umwelt-online.de>
- BURGHARDT, W. et al. (1999): Regenwasserversickerung und Bodenschutz: mit Beiträgen der Fachausschüsse des Fachausschusses Regenwasserversickerung im Bundesverband Boden e. V.; BVB-Materialien, Band 2, Erich Schmidt Verlag, Berlin, ISBN 3-503-04865-0
- DAUB, J. et STRIEBEL, T. (1995): Schadstofffrachten von Dachflächen und Straßen und Beobachtungen zu Quellen und zur Mobilität von Schadstoffen, Präsentation des BMFT-Verbundprojektes „NIEDERSCHLAG“, „Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen“, Phase II; Band 73, Seite 221 bis 245, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, ISBN 3-486-26400-1
- DIERKES, C. (1999): Verhalten von Schwermetallen im Regenabfluß von Verkehrsflächen bei der Versickerung über poröse Deckbeläge; Förderverein SIWAWI e. V., Universität GH Essen
- DIN 18123 (1996): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung der Korngrößenverteilung; Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 18128 (1990): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung des Glühverlusts; Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 18130 T1 (1998): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts (Teil 1: Laborversuche); Beuth Verlag GmbH, Berlin

- DIN 18196 (1988): Erd- und Grundbau, Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke; Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 19682 - 7 (1997): Bodenuntersuchungsverfahren im landwirtschaftlichen Wasserbau, Felduntersuchungen, Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelzylinder-Infiltrometer; Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 38414 T7 (1983): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Schlamm und Sedimente (Gruppe S), Aufschluß mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen (S7), Teil 7; Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 4022 T1 (1987): Baugrund und Grundwasser, Benennen und Beschreiben von Boden und Fels, Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels; Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 11885 (1998): Wasserbeschaffenheit, Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie; Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 5667 - 3 (1996): Wasserbeschaffenheit, Probenahme, Teil 3: Anleitung zur Konservierung und Handhabung von Proben; Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN ISO 10390 (1997): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des pH-Wertes; Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN ISO 11466 (1997): Bodenbeschaffenheit - Extraktion in Königswasser löslicher Spurenelemente; Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DOHMANN, M. et HAMACHER, R. (1996): Leitfaden über Wartung und Betrieb von Anlagen zur Regenwasserversickerung; Abschlußbericht zum MURL-Vorhaben IV B6 042 202, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
- EG: Regenspenden der Station 4507 in Essen-Bredeney, Auswertzeitraum 1948 bis 1995; Emscher-genossenschaft, Dortmund
- FGSV (1987): Richtlinie für die Anlage von Straßen (RAS), Teil Entwässerung (Ew); Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- FÖRSTER, J. (1996): Patterns of roof runoff contaminations and their potential implications on practice and regulation of treatment and local infiltration; Wat. Sci. Tech., Vol. 33, No. 6, pp. 39 - 48
- GEIGER, W. et DREISEITL, H. (1995): Neue Wege für das Regenwasser, Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten; Oldenbourg Verlag GmbH, München, ISBN 3-486-26259-9
- GEIGER, W. F. et al., (1998): Bemessung und Gestaltung unterschiedlicher Verfahren der Regenwasserbehandlung, Schlußbericht 1. Version; Forschungsvorhaben gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Raumplanung und Landwirtschaft NRW, Förderkennzeichen IVB G-04L 210, Universität GH Essen
- GEOLOGISCHES LANDESAMT (1984): Bodenkarte Nordrhein-Westfalen 1 : 50.000, L4508 Essen; Krefeld
- HARTGE, K. H. et HORN, R. (1991): Einführung in die Bodenphysik; Enke Verlag, Stuttgart, ISBN 3-432-89682-4

- HERRMANN, T. et KAYSER, K. (1997): Bilanzierung des Stoffeintrags aus Niederschlagsabflüssen in Entwässerungssysteme; SuG-Verlag, Heft 40, Hannover
- HOGLAND, W. (1993): Pervious asphalt constructions - An overview of the situation in Sweden and the United States; Institute of science and technology, university of Lund, Sweden
- HUHN, V. et al. (1996): Leitfaden zur umweltverträglichen Regenwasserentsorgung; SuG-Verlag, Heft 35, Hannover
- HUTH, B. et al. (1995): Schadstoffeintrag durch atmosphärische Deposition, Präsentation des BMFT-Verbundprojektes „NIEDERSCHLAG“, „Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen“, Phase II; Band 73, Seite 169 bis 197, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, ISBN 3-486-26400-1
- INGENIEURBÜRO BECK (1998): Machbarkeitsstudie zur Regenwasserversickerung Mülheim-Heimaterde, Erläuterungsbericht; Wuppertal
- INGENIEURBÜRO BECK (1998): Musterplanung einer Niederschlagswasser-Versickerung, Filchnerstraße 74 - 78; Wuppertal
- INGENIEURBÜRO KAISER (1999): Unterlagen zur Regenwasserversickerung der Häuser am Oberholzweg; Dortmund
- KINS, L. (1987): Untersuchungen zum Auswaschen atmosphärischer Spurenstoffe durch Wolken und Niederschlag; Dissertation an der mathematisch naturwissenschaftlichen Fakultät, Universität Köln
- KÖNIG, K. W. (1996): Regenwasser in der Architektur - ökologische Konzepte; Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, ISBN 3-922964-60-4
- KUNTZE, H. et al. (1994): Bodenkunde; Ulmer Verlag, Stuttgart, ISBN 3-8252-8076-4
- MEIBNER, E. (1997): Umgang mit Regenwasser; in Tagungsband des ATV Fortbildungskurses I/1: Abwasserableitung - Entwässerungskonzepte; St. Augustin
- MEIBNER, E. et al. (1998): Dezentrale Versickerung, Niederschlagswasser von Metalldächern - Schadstoffe im Boden; Materialien Nr. 75, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- MEYERS GROSSES TASCHENLEXIKON (1987): in 24 Bänden; B.I. Taschenbuchverlag, Mannheim/Wien/Zürich, ISBN 3-411-02900-5
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMPLANUNG UND LANDWIRTSCHAFT NRW (1995): Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen, Landeswassergesetz (LWG); <http://www.umwelt-online.de>
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMPLANUNG UND LANDWIRTSCHAFT NRW (1998): Runderlaß zur Niederschlagswasserbeseitigung gemäß § 51a des Landeswassergesetzes NW; <http://www.umwelt-online.de>
- NENDZA, H. (1994): Bodenmechanisches Praktikum, Einführung und Leitfaden; Verlag Glückauf GmbH, Essen, ISBN 3-7739-1162-9
- PATT, H. (1995): Vorlesungsskript Hydromechanik - Hydraulik; Universität-GH Essen

- PROTZER, H. et RÖBBERT, F. (1997): Verhalten von Kupferoberflächen an der Atmosphäre; Deutsches Kupfer-Institut, Sonderdruck, Best. Nr. 131, Düsseldorf
- QUEK, U. et FÖRSTER, J. (1993): Trace metals in roof runoff; Water, Air and Soil Pollution 68, pp. 373 - 389
- REMMLER, F. (1998): Regenwasserversickerung und Grundwasserschutz; Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung, Heft 6/98, Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin, ISSN 0934-666X
- RÖBBERT, F. (1994): Dachentwässerung mit Kupfer; Deutsches Kupfer-Institut, Sonderdruck, Best. Nr. 146, Düsseldorf
- ROWELL, D. L. (1997): Bodenkunde - Untersuchungen und ihre Anwendungen; Springer Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN 3-540-61825-2
- SCHEFFER, F. et SCHACHTSCHABEL, P. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde; Enke Verlag, Stuttgart, ISBN 3-432-84774-2
- SCHULZE, M. (1998): Schadstoffakkumulation in einer dezentralen Regenversickerungsanlage; Korrespondenz Abwasser Nr. 2, Seite 322 bis 325
- SHU, P. (1997): Zum Verhalten ausgewählter Schadstoffe in urbanem Niederschlag und Dachabfluß; Shaker Verlag GmbH, Aachen, ISBN 3-8265-2892-1
- SIEKER, F. (1986): Versickerung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten - Wasserwirtschaftliche Auswirkungen; Wasser & Boden, Seite 222 bis 224
- SIEKER, F. et al. (1996): Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten - Grundlagen, Leitfaden und Anwendungsbeispiele; Kontakt & Studium, Band 508, expert Verlag, Renningen-Malmsheim, ISBN 3-8169-1403-9
- SIEKER, F. et HARMS, R. W. (1988): Entwässerungstechnische Versickerung von Regenwasserabflüssen; ATV - Dokumentation und Schriftenreihe aus Wissenschaft und Praxis, Rheinischer Landwirtschafts-Verlag GmbH, St. Augustin
- SIMMER, K. (1987): Grundbau 1 - Bodenmechanik und erdstatische Berechnungen; B. G. Teubner Verlag, Stuttgart, ISBN 3-519-35231-1
- THOMAS, P. R. et GREENE, G. R. (1993): Rainwater quality from different roof catchments; Wat. Sci. Tech. Vol. 28, No. 3 - 5, pp. 291 - 299
- VON FRANQUÉ, O. et WEBER, K. H. (1994): Wechselwirkungen zwischen Kupfer und Umgebung; Deutsches Kupfer-Institut, Sonderdruck, Best. Nr. 187, Düsseldorf
- VOTH, B. (1978): Boden - Baugrund und Baustoff; Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, ISBN 3-7625-0940-9
- XANTHOPOULOS, C. (1992): Schadstoffe im Regenabfluß II, Präsentation eines BMFT-Verbundprojektes; Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Band 64
- XANTHOPOULOS, C. et HAHN, H. (1992): Schadstoffe im Regenabfluß in städtischen Gebieten, erste Ergebnisse des BMFT-Verbundprojektes „NIEDERSCHLAG“; Korrespondenz Abwasser, Nr. 9, Seite 1282 bis 1304