

Auswirkungen undichter Grundleitungen
mit häuslichem Abwasser auf
Boden und Grundwasser

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften im Fachbereich
Geowissenschaften der Universität Hamburg

vorgelegt von

Robert Thoma

aus

Würzburg

Hamburg

2011

Kurzfassung

Wiederkehrende Prüfungen von Abwassergrundleitungen zeigen zahlreiche Schäden, insbesondere Druckprüfungen werden überwiegend nicht bestanden. Ziel dieser Arbeit ist die Bestimmung der tatsächlichen Exfiltrationen, eine Einschätzung der Selbstabdichtungsmechanismen und die Beurteilung der Auswirkungen von Emissionen auf Grundwasser und Boden anhand ausgewählter Parameter.

An 65 Rohrschäden von Abwassergrundleitungen auf 8 Grundstücken wurden Bodenproben untersucht. In einem Langzeitversuch über 3,4 Jahre mit natürlichem häuslichem Abwasser wurden an 6 Rohrleckagen in Sandbettung die Exfiltrationen quantitativ und qualitativ erfasst.

Die Exfiltration wird maßgeblich von der im Gleichgewicht zwischen Nährstoffzufuhr und mikrobiellem Abbau entstehenden Kolmationsschicht im Bettungsmaterial reguliert und auf mittlere Exfiltrationsraten von 0,19% des Abflusses bzw. $0,6 \text{ l d}^{-1}$ pro Leckage reduziert. Diese wurden deutlich von der Bodentemperatur und weniger von der Leckagefläche beeinflusst.

Sickerwasser aus undichten Grundleitungen kann zu einer mittleren Grundwasserneubildung von $0,28 \text{ mm a}^{-1}$ auf den Siedlungs- und Verkehrsflächen führen. Sammelkanäle tragen dazu im Vergleich $0,12 \text{ mm a}^{-1}$ bei. Technische Randbedingungen können zu 0,1 bis 4fach höheren Werten führen.

Leckagen konnten mit den im Bodenmaterial angereicherten Leitparametern von Abwässern in der Regel nur bis 10cm Tiefe nachgewiesen werden. Nennenswerte Emissionen aus Grundleitungsleckagen sind nur die Nitratfrachten mit $1 \text{ kg NO}_3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen werden bezogen auf den Trinkwassergrenzwert von $50 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3$ bei entsprechenden Grundwasserneubildungsraten über 100-fach höhere N-Bilanzüberschüsse genannt. Die Emissionen aus Grundleitungen erscheinen demgegenüber vergleichsweise unbedeutend.

Mit der optischen Inspektion können relevante Leckagen und unbedeutende Schäden an den Grundleitungen eindeutig unterschieden werden. Druckprüfungen führen eher zu einer starken Überbewertung der Exfiltrationen und damit zu unnötigen Sanierungen.

Eine übergeordnete Bedeutung für die Beurteilung von Grundwasserkontaminationen durch häusliche Abwässer haben lokale naturräumliche Faktoren wie die geologische und die hydrogeologische Situation und das Klima. Aus Gründen des Umweltschutzes sind optische Inspektionen von Grundleitungen zur vorrangigen Feststellung von schweren Schäden in naturwissenschaftlich priorisierten sensiblen Gebieten sinnvoll. Hierdurch kann eine deutlich höhere Effektivität erreicht werden, als mit flächendeckenden Dichtheitsprüfungen und gleichrangiger Behebung aller, auch unbedeutender Schäden.

Abstract

Ongoing inspections of private sewers are indicating that there are numerous defects in the sewers. In particular, hydrostatic tests are not being passed. The overall goal of the current work is the determining actual exfiltration as well as the assessment of the self-sealing processes. Furthermore, the effects of the leachate on the soil and the groundwater using elected parameters have been investigated.

On eight land parcels, 65 pipe defects of private sewers have been detected and soil samples been taken at these locations. Within the scope of a long-term investigation, the exfiltration of domestic sewage has been recorded quantitatively and qualitatively. Time series' have been registered at 6 of the pipe defects with sand bedding.

The exfiltration process is dominantly regulated by the colmation layer in the bedding material which is balanced by the nutrition supply and the microbiological decay. The exfiltration is therefore reduced to rates of 0,19 % of the discharge or 0,6 l d⁻¹ per defect. The exfiltration is more influenced by the temperature of the soil rather than by the size of the defect.

Leaking sewage of defective sewage pipes can lead to average groundwater recharge of 0,28 mm a⁻¹ below the land parcel and traffic zones. Conversely, leachate out of public sewers contributes with 0,12 mm a⁻¹. Technical boundary conditions can lead to a 0,1 to 4-times higher quantity.

Sewage pipe defects could be detected only up to depth of 10 cm below the pipe using leading parameters being enriched in soil material. Nitrate components only contribute to the leachate when present in considerable concentrations of 1 kg NO₃ ha⁻¹ a⁻¹. On agricultural land, the nitrate is 100times higher compared to the threshold values of the drinking water ordinance of 50 mg l⁻¹ NO₃ at the respective groundwater recharge. By comparison, the leachate from private sewers are insignificant.

Using methods of the visual inspection, relevant and minor defects in private sewers can be distinctively identified. Hydrostatic testing leads to an overestimation of the exfiltration and consequently could lead to unnecessary rehabilitation of the sewers.

For the assessment of the groundwater contamination from domestic sewage, local boundary conditions, hydrogeological properties, and climate play an important role. With regard to environment protection, visual inspection of private ground sewers is preferred. In particular, sensitive areas with a high natural scientific priority would benefit. Accounting for these points, higher effectiveness could be reached, as opposed to implementing area-wide inspections and subsequent rehabilitation of all defects, including the non-significant defects.

Inhalt

Kurzfassung		iii
Abstract		iv
Danksagung		v
Inhalt		vii
Abkürzungsverzeichnis		xi
1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Problemstellung	1
1.3	Ziele	3
2	Stand der Wissenschaft und Technik	4
2.1	Rechtliche Grundlagen	4
2.2	Technische Grundlagen für Abwasserleitungen und –kanäle	4
2.2.1	Abwasserleitungen und –kanäle	4
2.2.2	Prüfung von Grundleitungen mit häuslichem Abwasser	5
2.2.3	Schadens- und Zustandsbeschreibung	6
2.2.4	Zustandsklassifikation und –bewertung	6
2.2.5	Dichtheitsprüfungen an in Betrieb befindlichen Abwasserleitungen	8
2.3	Prüftechniken	8
2.3.1	Optische Zustandserfassung mit Kanalkamera	8
2.4	Abwasserkanäle und –leitungen	11
2.4.1	Bestand	11
2.4.2	Untersuchungsgrad	12
2.4.3	Schäden in Abwasserkanälen und Grundleitungen	13
2.5	Abwasserinhaltsstoffe	17
2.5.1	Häusliches Abwasser	17
2.6	Exfiltration	19
2.6.1	Begriffsdefinition	19
2.6.2	Hydraulische Grundlagen des Abwasseraustritts aus einer Leckage	20
2.6.3	Untersuchungen zur Exfiltration aus Abwasserkanälen	23
2.7	Selbstabdichtung durch Kolmation	24
2.7.1	Definitionen und Mechanismen	24
2.7.2	Kolmation in Bodenfiltern	25
2.7.3	Entwicklung der Kolmation	26
3	Material und Methoden	28
3.1	Überblick	28

3.2	Exfiltrationsmodell	28
3.2.1	Aufbau und Betrieb der Versuchsanlage	28
3.2.2	Außerplanmäßige Versuchereignisse	30
3.2.3	Messbehälter mit den Rohrleitungsleckagen	31
3.2.4	Messtechnik zur Quantifizierung des Abwasser	33
3.2.5	Messtechnik zur Quantifizierung des Exfiltrats	34
3.2.6	Sonderuntersuchungen	35
3.2.7	Probenahmen	35
3.3	Beprobte Grundstücke mit Kanalleckagen	36
3.3.1	Grundsätzlicher Gegenstand der Untersuchungen	36
3.3.2	Klassifizierung und Bewertung von Schäden in Grundleitungen	38
3.3.3	Überblick über die Grundstücke	39
3.3.4	Grundstück 1	39
3.3.5	Grundstück 2	40
3.3.6	Grundstück 3	41
3.3.7	Grundstück 4	42
3.3.8	Grundstück 5	45
3.3.9	Grundstück 6	46
3.3.10	Grundstück 7	47
3.3.11	Grundstück 8	48
3.3.12	Probenahme und Aufbereitung	48
3.4	Untersuchung der Bodenproben	50
3.4.1	Bodenansprache an der Entnahmestelle	50
3.4.2	Chemische Analysen	50
4	Ergebnisse	52
4.1	Exfiltrationsmodell	52
4.1.1	Quantifizierung der Abwassermengen	52
4.1.2	Quantität der Exfiltration	55
4.1.3	Einfluss der Reinigung	61
4.1.4	Exfiltration und Bodentemperatur	65
4.1.5	Einfluss der Abmessungen der Leckagen	68
4.1.6	Abwasser- und Wasserqualität	70
4.1.7	Untersuchungen des Bodenmaterials	71
4.2	Auswirkungen von Leckagen auf das Bodenmaterial	77
4.2.1	Grundsätzliche Feststellungen	77
4.2.2	Feststellungen bei den Grundstücken 1 bis 8	78
4.2.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	86
5	Diskussion der Ergebnisse	89

5.1	Schäden und Undichtheiten in Abwasserleitungen	89
5.1.1	Nachweis der Abwasserexfiltration im Bodenfeststoff	89
5.1.2	Räumliche Ausdehnung im Bodenkörper	92
5.1.3	Mobilität, Rückhalt und Abbau der Abwasserinhaltsstoffe	95
5.1.4	Vergleich mit Grenz-, Prüf-, und Vorsorgewerten	99
5.2	Exfiltration unter Betriebsbedingungen	106
5.2.1	Qualität des Exfiltrats	106
5.2.2	Auswirkungen der Abwasserexfiltration auf den Bodenkörper	111
5.3	Kolmation und Quantität der Exfiltration	113
5.3.1	Abnahme der Anfangsexfiltration, Phase I	113
5.3.2	Erhöhung der Exfiltration, Phase II	115
5.3.3	Erste Konsolidierungsphase der Exfiltration, Phase III	118
5.3.4	Gleichgewichtszustand der Exfiltration, Phase IV	119
5.3.5	Einflüsse auf die Exfiltration in der Phase IV	119
5.3.6	Aufbau der Selbstabdichtung	122
5.3.7	Häusliches Schmutzwasser	126
5.3.8	Hydraulische Durchlässigkeit der Kolmationsschicht	128
5.3.9	Exfiltrationsraten bei üblichen Betriebsbedingungen mit Teilfüllung	135
5.3.10	Exfiltrationsraten bei veränderten Betriebsbedingungen	136
5.4	Abschätzung der Exfiltrationsmengen und Stofffrachten	138
5.4.1	Grundsätzliche Vorgehensweise	138
5.4.2	Länge der Abwasserleitungen und -kanäle	138
5.4.3	Anzahl der exfiltrationswirksamen Schäden	140
5.4.4	Mittlere Sickerwassermengen aus Grundleitungen und Kanälen	142
5.4.5	Randbedingungen und Faktoren für die Betrachtung von Teilgebieten	144
5.4.6	Stofffrachten	148
5.5	Bewertung der Stofffrachten und Konzentrationen im Sickerwasser	153
5.5.1	Grundsätzliches Vorgehen bei der Bewertung	153
5.5.2	Bewertung der Auswirkungen auf der makroskaligen Ebene	154
5.5.3	Bewertung der Auswirkungen auf der mesoskaligen Ebene	160
5.5.4	Bewertung der Auswirkungen auf der mikroskaligen Ebene	164
6	Zusammenfassung	169
7	Literaturverzeichnis	174
8	Tabellenverzeichnis	181
9	Abbildungsverzeichnis	185
10	Anhang	I

10.1	Chemische Analysen der Bodenproben (Grundstücke)	I
10.1.1	Chemische Analysen der Bodenproben von Grundstück 1	I
10.1.2	Chemische Analysen der Bodenproben von Grundstück 2	II
10.1.3	Chemische Analysen der Bodenproben von Grundstück 3	III
10.1.4	Chemische Analysen der Bodenproben von Grundstück 4	IV
10.1.5	Chemische Analysen der Bodenproben von Grundstück 5	VIII
10.1.6	Chemische Analysen der Bodenproben von Grundstück 6	IX
10.1.7	Chemische Analysen der Bodenproben von Grundstück 7	X
10.1.8	Chemische Analysen der Bodenproben von Grundstück 8	XI
10.1.9	Chemische Analysen ausgewählter Bodenproben, Grundstücke	XII
10.1.10	Chemische Analysen der Bodenproben aller Grundstücke	XIII
10.2	Analysen der Bodenproben der Exfiltrationsbehälter	XVIII
10.2.1	Exfiltrationsbehälter B1	XVIII
10.2.2	Exfiltrationsbehälter B2	XIX
10.2.3	Exfiltrationsbehälter B3	XX
10.2.4	Exfiltrationsbehälter B4	XXI
10.2.5	Exfiltrationsbehälter B5	XXII
10.2.6	Exfiltrationsbehälter B6	XXIII
10.3	Wasser und Abwasseranalysen (Exfiltrationsmodell)	XXIV
10.3.1	Chemische Analysen des Abwassers	XXIV
10.3.2	Chemische Analysen des Exfiltrats	XXIV
10.4	Exfiltrationsmodell mit frischem, häuslichem Abwasser	XXVII