

BEWERTUNG VON METHODEN ZUR DICHTHEITSPRÜFUNG VON IN BETRIEB BEFINDLICHEN KANÄLEN

Diplomarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur

eingereicht von:
SOPHIE GUNZL

Betreuer: PD DI Dr. Thomas Ertl

Vorwort

Diese Arbeit ist am Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz an der Universität für Bodenkultur durchgeführt worden und wurde von PD DI Dr. Thomas Ertl betreut. Ihm möchte ich besonders dafür danken, dass er sich trotz Zeitmangels immer wieder die Zeit für lange Gespräche und interessante Diskussionen genommen hat. Von Ihm habe ich wertvollen Input bekommen und ich möchte mich bei Ihm auch herzlich für die Korrektur der Arbeit bedanken. Ich hätte mir keinen besseren Betreuer vorstellen können.

Die Idee zu dieser Arbeit habe ich Hr. Herbert Egger, Hr. Ing. Thomas Egger und Hr. Harald Hofer zu verdanken. Zusätzlich möchte ich mich bei Hr. Herbert Egger und Hr. Ing. Thomas Egger für die umfassende Unterstützung bei der Versuchsdurchführung, die immer wieder durch kulinarische Pausen unterbrochen wurde, bedanken. Durch ihr Wissen und ihre Erfahrung habe ich unglaublich profitiert. Nochmals vielen Dank!

Ich bedanke mich auch bei dem Institutsleiter für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz Univ. Prof. DI Dr. Raimund Haberl.

Danken möchte ich an dieser Stelle auch allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe 10 des Komitee 120 „Abwasserbeseitigung“ des Österreichischen Normungsinstituts für die interessante Ansätze und die Diskussionen, die mir zu einem besseren Verständnis im Bereich der Dichtheitsprüfung von Kanälen geholfen haben.

Im Bereich für strömungstechnische Abläufe hat mich Ass. Prof. DI Dr. Kammerer vom Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft auf der Universität für Bodenkultur unterstützt und zu meinem Verständnis dieser, Wesentliches beigetragen. Vielen Dank.

Ganz besonders möchte ich meinen Eltern danken, die mir das Studium durch ihre finanzielle Hilfe erst ermöglicht haben und mir in allen Lebenslagen immer zur Seite gestanden sind. An diesem Punkt möchte ich auch meiner Schwester danken. Durch sie habe ich überhaupt erst mit diesem Studium angefangen und sie war in meiner gesamten Studiumszeit eine große mentale Stütze und war immer da für mich, wenn ich sie gebraucht habe.

Außerdem möchte ich mich herzlich bei all meinen Freunden und Studienkollegen bedanken, die mich durch das Studium begleitet haben. Ohne sie wäre es lange nicht so interessant und schön gewesen. Danke für diese wunderschöne Zeit!

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Zielsetzung und Aufgabenstellung.....	3
3. Allgemeine Grundlagen.....	5
3.1 Rechtliche und technische Grundlagen	5
3.1.1 Wasserrechtsgesetz	5
3.1.2 ÖNORM EN 752 (2008)	5
3.1.3 ÖNORM EN 1610 (1998)	7
3.1.3.1 Prüfung mit Luft (Verfahren „L“).....	7
3.1.3.2 Prüfung mit Wasser	8
3.1.3.3 Prüfung bei Schächten	8
3.1.4 ÖNORM B 2503 (2009)	8
3.1.4.1 Prüfung mit Luft	9
3.1.4.2 Prüfung mit Wasser	10
3.1.4.3 Dichtheitsprüfung bei in Betrieb befindlichen Kanälen.....	10
3.1.4.4 Prüfung bei Schächten	10
3.1.5 ÖWAV - Regelblatt 22 (2011, Entwurf)	11
3.1.6 ATV M 143-6 (2004)	12
3.1.6.1 Dichtheitsprüfung mit Luft.....	12
3.1.6.2 Dichtheitsprüfung mit Wasser.....	13
3.1.6.3 Dichtheitsprüfung bei Schächten.....	13
3.2 Theoretische Grundlagen	13
3.2.1 Definitionen.....	13
3.2.2 Strömungstechnische Abläufe.....	15
3.2.3 Physikalischer Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Volumen	16
3.2.4 Infiltration, Exfiltration - Gefährdungspotenzial.....	17
3.2.5 Zugänglichkeit von Hausanschlüssen	18
4. Praktische Versuchsdurchführung	21
4.1 Allgemeines	21
4.2 Prüfung mit Wasser	22
4.2.1 Rahmenbedingungen für die Prüfung von in Betrieb befindlichen Kanälen.....	22
4.2.2 Versuchsstrecke	24
4.2.2.1 Werksgelände der Prüf- und Inspektionsstelle Egger	24
4.2.2.2 Öffentliches Kanalnetz.....	24
4.2.3 Eingesetzte Messmittel und zugehörige Ausrüstung	25
4.2.3.1 Absperrelemente	25
4.2.3.2 Druckmessgeräte.....	26
4.2.3.3 Pegelmessgerät.....	27
4.2.3.4 Leckblende	29
4.2.4 Versuchsdurchführung	29
4.3 Prüfung mit Luft.....	31
4.3.1 Versuchsstrecke	31
4.3.2 Eingesetzte Messmittel und zugehörige Ausrüstung	31
4.3.2.1 Absperrelemente	31
4.3.2.2 Drucksensoren Druckmessgeräte	32
4.3.2.3 Leckblende	32
4.3.3 Versuchsdurchführung	32
5. Ergebnisse.....	35
5.1 Prüfung mit Wasser	35
5.1.1 Prüfungen am Werksgelände der Prüf- und Inspektionsstelle Egger	35
5.1.1.1 Prüfungskriterien.....	35
5.1.1.2 Kontrollmessungen.....	35
5.1.1.3 Variation der Rahmenbedingungen.....	37

5.1.1.4	Referenzprüfung angelehnt an die Prüfung nach ÖNORM B 2503	43
5.1.2	Rechnungen zur Wasserdichtheitsprüfung	44
5.1.2.1	Zusammenhang Druck- Wasserverlust	44
5.1.2.2	Wasserverlustberechnungen nach Versuchsvorgabe	47
5.1.3	Prüfungen im öffentlichen Kanalnetz	48
5.2	Prüfung mit Luft	53
5.2.1	Prüfkriterien	53
5.2.2	Anfangsdruck	53
5.2.3	Variationen der Rahmenbedingungen	56
5.2.4	Referenzprüfung nach ÖNORM B 2503	64
6.	Kostenanalyse – Entscheidungsmodell	65
6.1	Allgemeines	65
6.2	Handlungsalternativen	66
6.2.1	Handlungsalternative 1 - Wasserdruckprüfung Neues Verfahren	66
6.2.2	Handlungsalternative 2 - Wasserdruckprüfung nach ÖNORM	66
6.2.3	Handlungsalternative 3 - Luftdruckprüfung Neuer Ansatz	67
6.2.4	Handlungsalternative 4 – Luftdruckprüfung nach ÖNORM	67
6.3	Szenarien	68
6.3.1	Szenario 1	68
6.3.2	Szenario 2	69
6.3.3	Szenario 3	69
6.3.3.1	Subszenario 3.1	69
6.4	Bewertung	69
7.	Interpretation und Diskussion der Ergebnisse	76
8.	Zusammenfassung	78
9.	Ausblick	80
10.	Literaturverzeichnis	81
11.	Abbildungsverzeichnis	84
12.	Tabellenverzeichnis	86
13.	Lebenslauf:	87

Abstract

Um Auswirkungen des Kanalnetzes auf die Umwelt zu minimieren und einer eventuellen Gefährdung vorzubeugen, sind umweltrelevante Untersuchungen wie z. B. die Dichtheitsprüfung notwendig. In Österreich sind zwar Normen, die auf die Dichtheitsprüfung eingehen, vorhanden, jedoch wird nicht zwischen Dichtheitsprüfungen zur Bauabnahme und Dichtheitsprüfungen von in Betrieb befindlichen Kanälen unterschieden. Um die Dichtheitsprüfung für im Betrieb befindliche Kanäle effizienter zu gestalten, sollte auf diese in den Normen auch gezielt eingegangen werden. Somit kann auch eine Verbesserung in wirtschaftlicher Hinsicht erzielt werden.

Im ersten Teil werden die rechtlichen, technischen und theoretischen Grundlagen beschrieben. Es wird ein Bild von der momentanen Situation von (für die Druckprüfung relevanten) deutschsprachigen technischen Regelwerken gezeichnet.

Im Zuge der Arbeit wurden zwei neue Methoden untersucht, eine neue Methode der Wasserdruckprüfung und ein neuer Ansatz der Luftdruckprüfung. Der zweite Teil beschäftigt sich eingehend mit den neuen Prüfungsmethoden. Er enthält sämtliche Beschreibungen von der Versuchsplanung über die Durchführung bis hin zu den Ergebnissen und deren Interpretation.

Im letzten Teil werden die neuen Methoden den Methoden nach ÖNORM B 2503 in einer Kostenanalyse gegenübergestellt. Es werden vier Prüfungsmethoden in drei unterschiedlichen Szenarien miteinander verglichen.

Abstract

It is important to prevent potential hazards to soil and groundwater. In order to minimize the environmental impact of a sewer system, the leak through of a leakage test is necessary. The Austrian Standards include the issues of leakage tests. Nevertheless there is no difference made between the leakage test as quality control of the construction work and the environmental investigation. The leakage test during full operation of the sewer system has to be carried out under completely different circumstances than at the end of construction work. Therefore the leakage test for environmental investigation should be configured more efficiently, especially from an economic point of view.

The first part of this thesis describes the technical, the theoretical and the judicial basics of sewer leakage tests. In addition, an image of the momentary legal situation of this topic in Austria and Germany is shown.

In the thesis, two different new methods are discussed. One is a new method of the water pressure test and the other is a new accretion of the air pressure test. The second part includes the specifications, the test procedures, the test results and conclusions and their interpretation.

In the last part the new methods and the methods of the Austrian Standards (ÖNORM B 2503) are compared in a cost analysis. Four different methods in three different scenarios are discussed.

1. Einleitung

„Wasser ist unsere wichtigste Lebensgrundlage. Es ist eine unverzichtbare Ressource für die Landwirtschaft, den Freizeit- und Tourismusbereich sowie die Energiewirtschaft und Lebensraum für Flora und Fauna. Nur der verantwortungsbewusste Umgang damit sichert auch für unsere Kinder eine hohe Wasserqualität und erhält die Gewässer als Lebensader für die Regionen.“ (LEBENS MINISTERIUM, 2011)

Undichte Kanäle stellen ein Gefahrenpotenzial für das Grundwasser, den Boden und in weiterer Folge für die ganze Umwelt dar. Zusätzlich kann durch undichte Stellen Fremdwasser in den Kanal infiltrieren, welches zu einer Erhöhung des Fremdwasseranteils im Kanalnetz führt. Um die Auswirkungen des Kanalnetzes auf die Umwelt festzustellen und einer eventuellen Gefährdung vorzubeugen sind umweltrelevante Untersuchungen notwendig. Einen wesentlichen Teil der umweltrelevanten Prüfungen machen die Dichtheitsprüfungen aus.

Dichtheitsprüfungen sind nicht nur bei der Bauabnahme, sondern auch bei in Betrieb befindlichen Kanälen in regelmäßigen Abständen verlangt. Bei der Durchführung von Dichtheitsprüfungen bei in Betrieb befindlichen Kanälen herrschen andere Umstände als bei Dichtheitsprüfungen bei Bauabnahmen. Trotzdem wird in den österreichischen Normen nicht weiter auf die Prüfungen von „alten“ (in Betrieb befindlichen) Kanälen eingegangen. Sie werden mit den gleichen Verfahren geprüft wie sie bei einer Bauabnahme üblich sind (siehe Kap. 3.1.4).

Auf Grund der kostenintensiven Dichtheitsprüfung bei „alten“ Kanälen wurde die Frage nach einer Möglichkeit einer kostengünstigeren und an die Bedingungen besser angepassten Variante in den Raum gestellt. Das vorrangige Ziel dieser Arbeit ist es eine Methode zur umweltrelevanten Prüfung von „alten“ Kanälen unter Berücksichtigung von wirtschaftlicher und praxisrelevanter Fragestellungen zu überprüfen.

Im Zuge der Arbeit werden zwei mögliche Methoden zur Dichtheitsprüfung diskutiert und auf Praxistauglichkeit bei „alten“ Kanälen untersucht. Eine neue Methode der Wasserdruckprüfung stützt sich auf Unterlagen und Überlegungen der akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle Egger. Bei der zweiten Methode handelt es sich um einen neuen Ansatz der Luftdruckprüfung. Dieser neue Ansatz wurde von Hofer bei dem Normungskomitee ON K 120 vorgestellt.

Im Zuge der Arbeit wurde auch mehrmals über die in den Normen existierenden Prüfkriterien und über eine eventuelle Änderung dieser für alte Kanäle diskutiert. In Deutschland sind im Regelwerk ATV 143_6 Prüfkriterien die nur für in Betrieb befindliche Kanäle gelten, vorhanden. Die Prüfkriterien sind im Vergleich zu denen in Österreich geltenden Prüfkriterien abgeschwächt. Dadurch, dass bei „alten“ Kanälen keine Festigkeitsprüfung mehr notwendig ist, könnte man argumentieren, dass eine Auflockerung der Prüfkriterien zulässig ist. Andererseits ist laut Regelblatt 22 des ÖWAVs nur mehr eine Dichtheitsprüfung bei Grundwassergefährdung maßgebend. Gerade bei Grundwassergefährdung ist eine Auflockerung der Prüfkriterien nicht zielführend. Diese Arbeit liefert die Diskussionsbasis für die aufgezeigte Problematik, es wird aber Abstand davon genommen, eine diesbezügliche Empfehlung auszusprechen.

Beide Versuchsdurchläufe fanden auf dem Prüfungsgelände der akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle Egger statt. Die Wasserprüfungsmethode wurde auch im öffentlichen Kanalnetz durchgeführt. Somit wurde die praktische Durchführung im Allgemeinen getestet aber nicht für spezielle Rahmenbedingungen oder Szenarien. Auf diese wurde im Zuge der Arbeit eingegangen, es wurden aber keine praktischen Tests durchgeführt.

Um die Kostenersparnis und die Vorteile der neuen Methoden deutlich zu machen, wurde ein Kostenvergleich durchgeführt.

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Generell ist die Arbeit in drei Abschnitte gegliedert: in die Grundlagen, die Versuchsdurchführungen (Druckprüfungen) und deren Ergebnisse und den Kostenvergleich.

Im ersten Teil werden die rechtlichen, technischen und theoretischen Grundlagen beschrieben. Es wird ein Bild von der momentanen Situation von für die Druckprüfung relevanten deutschsprachigen Normen und technischen Regelwerken gezeichnet. Weiters werden die für die Druckprüfung wichtigen Grundlagen und Problematiken erläutert und diskutiert.

Der zweite Teil ist der Hauptteil der Arbeit. Er enthält sämtliche Beschreibungen von der Versuchsplanung über die Durchführung bis hin zu den Ergebnissen und deren Interpretation.

Im letzten Teil der Arbeit wird eine Kostenanalyse erstellt. Sie vergleicht die Anwendung unterschiedlicher Prüfungsmethoden in verschiedenen Szenarien. Das Modell der Kostenanalyse wurde auf den Grundlagen der praktisch normativen Entscheidungstheorie erstellt.

Das vorrangige Ziel ist die Überprüfung von Methoden zur umweltrelevanten Prüfung von „alten“ Kanälen unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen und praxisrelevanten Fragestellungen.

Der Aufgabenbereich gliedert sich in folgende Punkte:

- Überblick und Zusammenfassung zur derzeitigen rechtlichen und technischen Situation in Österreich,
- Definition von alten Kanälen (für diese Arbeit),
- Diskussion der Umweltrelevanz von undichten Kanälen,
- Beschreibung der beiden zu prüfenden Verfahren,
 - Neue Methode zur Wasserdruckprüfung,
 - Neuer Ansatz zur Luftdruckprüfung,
- Entwurf von Versuchsprogrammen für beide Methoden,
- Beschreibung der beeinflussenden Parameter,
- Durchführung und Auswertung der Versuche,

Die Versuchsdurchläufe finden auf dem Werksgelände der akkreditierten Prüfungs- und Inspektionsstelle Egger statt. Um die Praxistauglichkeit der neuen Methode zur Wasserdruckprüfung zu testen wurden bei dieser Methode auch Prüfungsreihen im öffentlichen Kanalnetz mit anschließender TV- Inspektion durchgeführt.

- Wasserdruckprüfung

Es soll herausgefunden werden, ob mit der neuen Methode genaue und aussagekräftige Prüfungsergebnisse erzielt werden können. Weiteres wird geprüft, wie weit die Prüfzeit verkürzt werden kann. In den Versuchsdurchläufen werden die Prüfzeit, die Wassersäule und der Leckblendenlochdurchmesser variiert.

- Luftdruckprüfung

Mit den durchgeführten Versuchen soll eine Grundlage für den anzubringenden Druck gefunden werden und nachgewiesen werden, dass es nur mit der Beruhigungszeit auch praktisch möglich ist, eine Aussage über die Dichtheit der Haltung zu treffen. In den Versuchsdurchläufen sind die Zeit in welchen der Druck aufgebracht ist, der Druck selbst und der Leckblendendlochdurchmesser variiert.

- Schaffung einer Diskussionsgrundlage für Prüfungskriterien der neuen Prüfungsmethoden

Für die Methode zur Wasserdruckprüfung wurde ein mathematisches Modell erstellt um eine bessere Aussage über die Zusammenhänge zwischen den die Dichtheitsprüfung beeinflussenden Faktoren treffen zu können.

- Erstellung eines Kostenvergleiches der verschiedenen Varianten

Um die unterschiedlichen Prüfungsmethoden untereinander vergleichen zu können und die Vorteile hervorzuheben, wurde ein Kostenvergleich in Form eines klassischen Entscheidungsmodells erstellt.

3. Allgemeine Grundlagen

3.1 Rechtliche und technische Grundlagen

3.1.1 Wasserrechtsgesetz

Das WRG beinhaltet einige Paragraphen die für die Dichtheitsprüfung bei in Betrieb befindlichen Kanälen relevant sind. Insbesondere trifft das auf den §31 Allgemeine Sorge für die Reinhaltung, §50 Instandhaltung und den §134 Besondere Aufsichtsbestimmungen zu.

§31

(1) Jedermann, dessen Anlagen, Maßnahmen oder Unterlassungen eine Einwirkung auf Gewässer herbeiführen können, ... seine Anlagen so herzustellen, instandzuhalten und zu betreiben oder sich so zu verhalten, dass eine Gewässerverunreinigung vermieden wird, die den Bestimmungen des § 30 zuwiderläuft und nicht durch eine wasserrechtliche Bewilligung gedeckt ist.

§50

(1) Sofern keine rechtsgültigen Verpflichtungen anderer bestehen, haben die Wasserberechtigten ihre Wasserbenutzungsanlagen einschließlich der dazugehörigen Kanäle, künstlichen Gerinne, Wasseransammlungen sowie sonstigen Vorrichtungen in dem der Bewilligung entsprechenden Zustand und, wenn dieser nicht erweislich ist, derart zu erhalten und zu bedienen, dass keine Verletzung öffentlicher Interessen oder fremder Rechte stattfindet. Ebenso obliegt den Wasserberechtigten die Instandhaltung der Gewässerstrecken im unmittelbaren Anlagenbereich.

§134

(1) Öffentliche Wasserversorgungsanlagen einschließlich der Schutzgebiete sind vom Wasserberechtigten auf seine Kosten durch Sachverständige oder geeignete Anstalten und Unternehmungen hygienisch und technisch überprüfen zu lassen.

(2) Ebenso haben die im Sinne des § 32 Wasserberechtigten das Maß ihrer Einwirkung auf ein Gewässer sowie den Betriebszustand und die Wirksamkeit der bewilligten Abwasserreinigungsanlagen auf ihre Kosten überprüfen zu lassen.

(3) Überprüfungen nach Abs. 1 und 2 haben in Zeitabständen von höchstens fünf Jahren zu erfolgen, sofern die Wasserrechtsbehörde nicht unter Bedachtnahme auf besondere Umstände kürzere Zeitabstände vorschreibt.

(4) Der Betreiber einer Anlage zur Lagerung oder zur Leitung wassergefährdender Stoffe (§ 31a) hat die Wirksamkeit der zum Schutz der Gewässer getroffenen Vorkehrungen, insbesondere die Dichtheit von Behältern und Leitungen, in Zeitabständen von höchstens fünf Jahren auf seine Kosten überprüfen zu lassen, sofern die Behörde nicht unter Bedachtnahme auf besondere Umstände kürzere Zeitabstände vorschreibt. Untersuchungen gemäß § 82b der Gewerbeordnung gelten als Überprüfung im Sinne dieses Bundesgesetzes, wenn sie in gleichen oder kürzeren Zeitabständen erfolgen.

3.1.2 ÖNORM EN 752 (2008)

Die ÖNORM EN 752 über Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden beinhaltet unter anderem die Punkte zu erfüllenden Anforderungen an ein Entwässerungssystem, Integrales Kanalmanagement, Gesundheit und Sicherheit, Planungsgrundsätze,

Grundsätze für den Bau von Entwässerungssystemen und die Rahmenbedingungen für Betrieb und Unterhaltung.

Diese Norm beinhaltet somit die allgemeinen Grundlagen für die ÖNORM EN 1610 und weiterführend auch für die ergänzende ÖNORM B 2503.

Die definierten Ziele der Norm sind:

- Öffentliche Gesundheit und Sicherheit
- Gesundheit und Sicherheit
- Umweltschutz
- Nachhaltige Entwicklung

Tabelle 1: Beziehung zwischen Ziel und Funktionalanforderung (ÖNORM EN 752, 2008)

Abschnitt	Öffentliche Gesundheit und Sicherheit	Gesundheit und Sicherheit des Betriebspersonals	Umweltschutz	Nachhaltige Entwicklung
5.1.7 Vermeidung von Lärm und Erschütterungen	XX	XXX	X	X
5.1.8 Nachhaltige Verwendung von Produkten und Werkstoffen	—	—	XX	XXX
5.1.9 Nachhaltige Verwendung von Energie	—	—	XX	XXX
5.1.10 Baulicher Zustand und Nutzungsdauer	XXX	XXX	XXX	XXX
5.1.11 Aufrechterhaltung des Abflusses	XXX	—	XXX	X
5.1.12 Wasserdichtheit	XXX	X	XXX	XX
5.1.13 Angrenzende Bauten sowie Ver- und Entsorgungseinrichtungen nicht gefährden	XXX	XXX	X	XX
5.1.14 Beschaffenheit der Abwassereinleitungen in das System	XX	XXX	XXX	XX
ANMERKUNG	XXX X —	hoch niedrig kein Zusammenhang		

In der Tabelle wird der Zusammenhang zwischen der Wasserdichtheit des Kanalsystems und den vorher genannten Zielen ersichtlich. Das Ableiten des Abwassers soll ohne unzulässige Beeinträchtigungen der Umwelt und ohne Risiko für die öffentliche Gesundheit und Sicherheit erfolgen.

Um das Potenzial bestimmen zu können mit dem das Abwasser aus dem System entweicht, ist eine Dichtheitsprüfung erforderlich. Abwasserleitungen in Grundwasserschutzgebieten oder Abwasserleitungen die gefährliche Stoffe transportieren sollen vorrangig behandelt werden. Wenn besondere Schutzmaßnahmen benötigt werden, können durch nationale und lokale Vorschriften strengere Anforderungen und Prüfbedingungen beim Bau und Betrieb vorgegeben werden.

Zur Sicherstellung der Wasserdichtheit von Kanälen wird auf die nationalen Prüfanforderungen und damit auf die ÖNORM EN 1610 und die ONÖRM B 2503 verwiesen.

„Bestehende Abwasserleitungen und -kanäle und dazugehörige Sonderbauwerke müssen entsprechend den nationalen oder örtlichen Prüfanforderungen dicht sein.“ (ON EN 752, 2008)

3.1.3 ÖNORM EN 1610 (1998)

Die europäische Norm EN 1610 wurde 1998 als österreichische Norm übernommen und ersetzte ab diesem Zeitpunkt die alte ÖNORM B 2503 (1992). Unter anderem wegen der mildereren Prüfungskriterien wurde vom Fachnormenausschuss 120 „Abwasserbeseitigung“ beschlossen, eine ergänzende Restnorm B 2503 herauszugeben.

In der ÖNORM 1610 zur Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanäle wird in Kapitel 13 auf die Grundlagen der Prüfung von Freispiegelleitungen eingegangen.

Der Anwendungsbereich der Dichtheitsprüfung beinhaltet Freispiegelleitungen, Schächte und Inspektionsöffnungen. Zum Nachweis der Dichte kann mit Luft als auch mit Wasser geprüft werden, wobei die Wasserdruckprüfung maßgebend ist. Der Auftraggeber ist dazu berechtigt das Prüfverfahren auszuwählen.

Luftdruckprüfungen können unbegrenzt wiederholt werden und bei einem negativen Ergebnis kann die Prüfung mit Wasser erneut erfolgen.

3.1.3.1 Prüfung mit Luft (Verfahren „L“)

Es sind vier verschiedene Prüfungsmethoden zulässig (LA, LB, LC, LD), die sich durch ihre Rahmenbedingungen (Anfangsdruck, zulässiger Druckverlust, Prüfzeit) unterscheiden.

Tabelle 2: Prüfdruck, Druckabfall und Prüfzeiten für die Prüfung mit Luft (ÖNORM EN 1610, 1998)

Werkstoff	Prüfverfahren	p ₀ *)	Δp mbar (kPa)	Prüfzeit (min)						
				DN 100	DN 200	DN 300	DN 400	DN 600	DN 800	DN 1000
Trockene Betonrohre	LA	10 (1)	2,5 (0,25)	5	5	5	7	11	14	18
	LB	50 (5)	10 (1)	4	4	4	6	8	11	14
	LC	100 (10)	15 (1,5)	3	3	3	4	6	8	10
	LD	200 (20)	15 (1,5)	1,5	1,5	1,5	2	3	4	5
K _p -Wert **)				0,058	0,058	0,053	0,040	0,0267	0,020	0,016
Feuchte Beton- rohre und alle anderen Werk- stoffe	LA	10 (1)	2,5 (0,25)	5	5	7	10	14	19	24
	LB	50 (5)	10 (1)	4	4	6	7	11	15	19
	LC	100 (10)	15 (1,5)	3	3	4	5	8	11	14
	LD	200 (20)	15 (1,5)	1,5	1,5	2	2,5	4	5	7
K _p -Wert **)				0,058	0,058	0,040	0,030	0,020	0,015	0,012
*) Druck über Atmosphärendruck										
**)										

Der zu prüfende Kanalabschnitt ist mit luftdichten Verschlüssen abzudichten, wobei besonders bei groß dimensionierten Kanälen (> DN 1000) auf die Arbeitssicherheit zu achten ist. Nach dem Anbringen des Anfangsdruckes ist eine Beruhigungszeit von rund 5

min. vorgesehen. Ein Messfehler von 10% und eine Ungenauigkeit von 5 sek. ist zulässig.

3.1.3.2 Prüfung mit Wasser

Die Wasserdruckprüfung ist mit maximal 50 kPa (500 mbar) und minimal 10 kPa (100 mbar), gemessen am Rohschiebel durchzuführen, wobei eine Toleranz von 1 kPa (10 mbar) eingeräumt wird. Die Prüfungszeit beträgt 30 s \pm 1 min. Durch die Ermittlung des Bedarfs der um den Druck zu erhaltenen Wassermenge wird der Kanalabschnitt als dicht oder undicht bewertet. Die kritische Menge des zugegebenen Wassers ist bei Rohrleitungen mit 0,15 l/m² und bei Rohrleitungen mit Schächten mit 0,2 l/m² definiert.

3.1.3.3 Prüfung bei Schächten

Eine getrennte Prüfung von Schächten und Rohrleitungen darf durchgeführt werden. In dieser Norm ist die Prüfung mit Wasser und Luft zulässig. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass eine Prüfung mit Luft schwierig durchzuführen ist und dass bis ausreichend Erfahrung in der Prüfung von Schächten mit Luft vorliegt, die Prüfzeit zu verwenden ist, die halb so lange wie die für Rohrleitungen mit gleichem Durchmesser ist.

Bei der Prüfung von Schächten mit Wasser betragen die Prüfzeit 30 Minuten und der zulässige Wasserverlust 0,4 l/m². Der Prüfdruck soll, genau wie bei der Prüfung von Kanälen, zwischen 10 kPa (100 mbar) und 50 kPa (500 mbar) sein. Es können Schacht und Rohrleitung auch zusammen geprüft werden. In diesem Fall beträgt der zulässige Wasserverlust bei einer Prüfzeit von 30 Minuten 0,2 l/m².

3.1.4 ÖNORM B 2503 (2009)

Die ÖNORM B 2503 behandelt ergänzend mit der ÖNORM EN 1610 die Planung, Ausführung und Prüfung von Kanalanlagen. Der Abschnitt 6 behandelt die Prüfung von Freispiegel-Kanalanlagen, Schächten und Behälter.

Der Abschnitt 6 ist in die zwei Unterpunkte „Sichtprüfung“ und „Dichtheitsprüfung“, Verfahren und Anforderungen unterteilt. Die Angaben zu letzteren Punkt beziehen sich auf neu errichtete aber auch auf in Betrieb befindliche Kanalanlagen.

Die Dichtheitsprüfung kann mittels Luft oder Wasser durchgeführt werden. Die Entscheidung welches Verfahren angewandt wird, hat der Auftragsgeber zu entscheiden.

Die Prüfung ist in einer gereinigten Freispiegelleitung durchzuführen. Die Prüfungsabschnitte entsprechen den Längen der Haltungen, das heißt, es wird mit jeweils einer Dichtheitsprüfung ein Teilstück zwischen zwei Schächten geprüft. Beim Druckaufbau darf der Prüfdruck um maximal 15% höher sein als der zulässig vorgegebene Prüfdruck und mittels Sicherheitsventil soll eine Beschädigung am Kanalabschnitt vermieden werden.

Die Dichtheitsprüfung muss von einem dafür geschulten Prüfer und mit geeichten und jährlich kalibrierten Messgeräten durchgeführt werden. Als Nachweis muss ein, von einer akkreditierten Prüfungsstelle ausgestellter Überprüfungsbericht über die durchgeführte Vergleichs- und Eignungsprüfung bei der Prüfung mitgeführt werden.

Vor Ort ist vom Prüfer ein Prüfbericht/Protokoll über die Dichtheitsprüfung anzufertigen, das mindestens folgende Informationen Beinhaltend muss:

- Datum
- Prüfobjekt

- Angaben über die an der Prüfung beteiligten Personen (inklusive 2. Person, die zur Sicherung vorgeschrieben ist)
- Prüfverfahren
- Messmittelstandort/Prüfortbestimmung von einem nicht zugriffsfähigen GPS, integriert im kalibrierten/geeichten Druckmessgerät, in Grade und Minuten und der Zeit automatisch übernommen und im Prüfprotokoll dokumentiert
- Atmosphärendruck bei Prüfbeginn und Prüfende
- Alle erforderlichen Angaben , die für eine Wiederholung der Prüfung notwendig sind (Reproduzierbarkeit)

3.1.4.1 Prüfung mit Luft

Die Prüfung mit Luft erfolgt in Anlehnung an die ÖNORM EN 1610. Es wird zwischen zwei Anforderungsklassen unterschieden. Die Prüfanforderungen der Klasse LE gelten für alle Rohrwerkstoffe außer Beton und die Prüfungsanforderungen der Klasse LF gelten für Rohre aus Beton. Rohre aus Beton müssen etwas niedrigeren Anforderungen entsprechen als Rohre aus anderen Werkstoffen.

Nach dem Druckaufbau im Prüfungsabschnitt ist eine Beruhigungszeit einzuhalten die abhängig vom Rohrdurchmesser ist (1 min. für DN 100; 1,5min. für DN 150; 2min. für DN 200; etc.). Danach ist der Prüfdruck p_0 einzustellen und der Druckabfall Δp in einem definierten Zeitabschnitt zu messen. Ist der Wert von Δp geringer als jener in der Tabelle, so kann der Rohrabschnitt als dicht angenommen werden. Bei der Prüfzeit ist ein Messfehler von ± 5 s zulässig und beim Prüfdruck ein Messfehler von $\pm 0,5$ mbar.

Falls nach der Prüfung mit Luft der Rohrabschnitt als undicht eingestuft wird, kann die Prüfung mit Wasser wiederholt werden. Das Ergebnis der Prüfung mit Wasser ist maßgebend.

Tabelle 3: Prüfdruck, Druckabfall und Prüfzeit mit Luft, die obere Tabelle beinhaltet die Angaben für LE- Prüfung, die untere Tabelle beinhaltet die Angaben für LF- Prüfung (ON EN 1610, 1998)

p_0 in mbar	Δp in mbar	DN	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
200	15	t in min	5	7,5	9	10	11	12,5	14	15	17,5	20	22	25	30	35

p_0 in mbar	Δp in mbar	DN	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2500
100	10	t in min	52	57	65	68	70	75	77	82	87	95	105	120

Fehlergrenze der Messgeräte: $\pm 0,5$ mbar

p_0 in mbar	Δp in mbar	DN	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
200	15	t in min	2,5	4	4,5	5	5,5	6	7	7,5	9	10	11	12,5	15	17,5

p_0 in mbar	Δp in mbar	DN	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2500
100	10	t in min	26	28	32	34	35	37	38	41	43	47	52	60

Fehlergrenze der Messgeräte: $\pm 0,5$ mbar

Die Prüfklassen LE und LF mit Luft sind adäquat zu den Prüfklassen WE und WF mit Wasser (siehe 6.2.3).

3.1.4.2 Prüfung mit Wasser

Bei der Prüfung mit Wasser wird ebenfalls zwischen den Anforderungsklassen WE und WF unterschieden. Die Klasse WE gilt wie bei der Prüfung mit Luft für alle Rohrwerkstoffe außer Beton und die Klasse WF für alle Rohre aus Beton.

Bei trockenen wasseraufnehmenden Rohrwerkstoffen ist eine Vorbereitungszeit erforderlich.

An der tiefsten Stelle des Prüfungsabschnittes hat der Prüfdruck p_0 50 kPa (500 mbar) zu betragen und sollte über die gesamte Prüfstrecke 30 kPa (300 mbar) nicht unterschreiten. Außerdem müssen zusätzlich bezüglich des Prüfdruckes die Angaben der ÖNORM EN 1610 berücksichtigt werden. Die Prüfzeit beträgt 30 min. und der maximal zulässige Wasserverlust bei Rohrwerkstoffen außer Beton 0,06 l/m² und bei Rohren aus Beton 0,1 l/m². Bei der Prüfzeit ist ein Messfehler von ± 1 min erlaubt und bei dem Wasserverlust ein Messfehler von 4%.

3.1.4.3 Dichtheitsprüfung bei in Betrieb befindlichen Kanälen

Seit der Überarbeitung der ON EN B 2503 im Jahr 2009 wird kein Bezug mehr zur Dichtheitsprüfung bei in Betrieb befindlichen Kanälen genommen. Der Abschnitt 8, bei dem kurz auf Dichtheitsprüfungen bei in Betrieb befindlichen Kanälen eingegangen wurde, wurde gestrichen.

Im Abschnitt 8 wurde im Allgemeinen kein Unterschied bei der Dichtheitsprüfung zwischen einer Bauabnahme von neu errichteten oder sanierten Kanälen und in Betrieb befindlichen Kanälen gemacht. Nur bei der Prüfung mit Luft durfte auf Grund von ökonomischen Kriterien die Prüfzeit um die Hälfte verringert werden, wobei der Druckverlust nur die Hälfte betragen durfte.

Aufgrund dieser Streichung fehlt in den technischen Regelwerken jegliche spezifischen Prüfungsanforderungen für Dichtheitsprüfungen in Betrieb befindlichen Kanälen.

3.1.4.4 Prüfung bei Schächten

Schächte werden nach ÖNORM 2503 B nur mit Wasser geprüft. Es ist bis 1 m $\pm 0,1$ m unter Geländeoberkante auf Dichtheit zu prüfen. Falls Wasser bis zur Geländeoberkante in den Schacht eindringen kann wird bis zur Geländeoberkante geprüft.

Der maximale Prüfdruck beläuft sich auf 50 kPa (500 mbar) und der minimale auf 5 kPa (50 mbar). Bei einer Prüfzeit von 30 Minuten ist ein Wasserverlust von 0,3 l/m² zulässig.

Wenn nach der Hälfte der Prüfzeit weniger als die Hälfte des zulässigen Wasserverlustes nachgewiesen wurde kann die Prüfung abgebrochen werden und der Schacht kann als dicht bezeichnet werden.

3.1.5 ÖWAV - Regelblatt 22 (2011, Entwurf)

Das Regelblatt 22 des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband befasst sich mit dem Betrieb, der Wartung und der Überprüfung von Kanalanlagen.

In diesem Regelblatt wird die Dichtheitsprüfung für in Betrieb befindliche Kanäle vorläufig nur noch vorgeschrieben, wenn ein besonderes Gefährdungspotential besteht, zum Beispiel bei Grundwasserschutzgebieten. Ansonsten wird die TV- Inspektion als ausreichend angesehen.

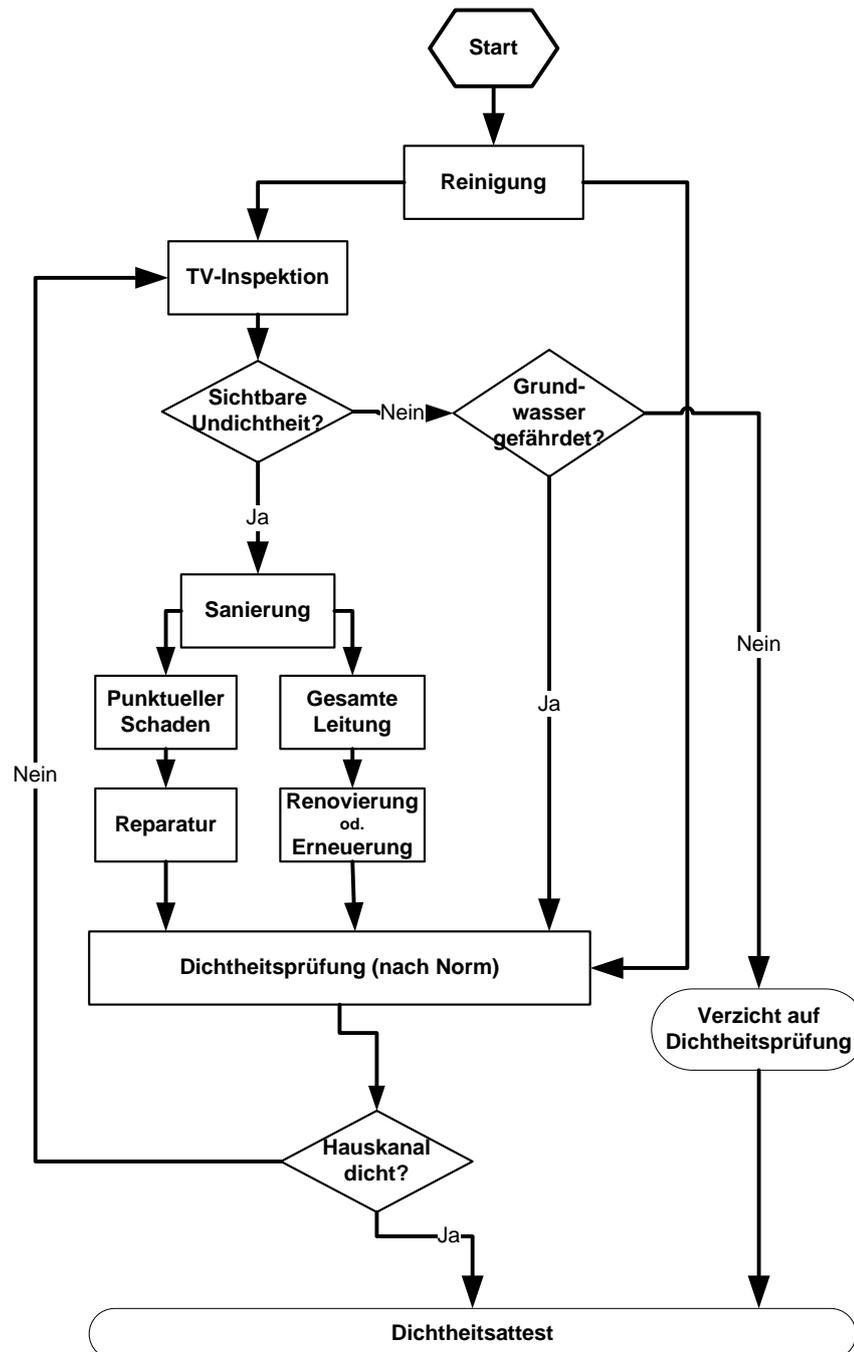


Abbildung 1: Entwurf Ablaufschema Dichtheitsattest von Kanälen, analog zu ÖWAV RB 42 (ÖWAV, 2011a)

Es ist darauf hinzuweisen, dass das ÖWAV RB 42 mit analogem Ablaufschema für die Sanierung von Hauskanälen bereits veröffentlicht wurde (ÖWAV, 2011b).

3.1.6 ATV M 143-6 (2004)

Das ATV Merkblatt 143 Teil 6 befasst sich mit den Dichtheitsprüfungen bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und –kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und –unterdruck. 1998 wurde das Merkblatt vom Arbeitskreis „Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen“ erarbeitet. Ziel der Arbeitsgruppe war es eine entsprechende technische Regel für in Betrieb befindliche Abwasserkanäle zu schaffen.

Der Anwendungsbereich der ATV M 143-6 gilt für Dichtheitsprüfungen an bestehenden, als Freispiegelleitungen betriebenen Abwasserleitungen und –kanälen einschließlich Schächte.

Die Dichtheitsprüfung kann mittels Wasser oder Luft erfolgen und kann abschnittsweise oder punktuell durchgeführt werden. Aufgrund von Zeitersparnis wird die Prüfung mit Luft empfohlen, jedoch ist die Prüfung mit Wasser maßgebend.

Aus den Planungsunterlagen zur Durchführung müssen folgende Daten ersichtlich sein:

- Einsatzort
- Lage , Art, Umfang und Ordnungsmerkmale des zu prüfenden Objektes
- Einstieg- und Fluchtmöglichkeiten

Der Prüfungsabschnitt muss vor der Druckprüfung gereinigt werden um den dichten Verschluss mit den Absperrelementen garantieren zu können. Die Einbringung der Absperrelemente für Muffenprüfungen oder Rohrabschnitten die nicht begehbar sind, ist unter Kontrolle mittels TV-Inspektion zu erfolgen. Während der Dichtheitsprüfung muss der Abschnitt abwasserfrei sein.

3.1.6.1 Dichtheitsprüfung mit Luft

Die Prüfung ist ausdrücklich als gefährliche Arbeit eingestuft und somit wird auf die Sicherheitsvorkehrungen besonders eingegangen. Die Durchführung darf nicht nur von einer Person erfolgen, außerdem sind geeignete Personen zu beauftragen die mit den Gefahren bei einer Prüfung mit Luft vertraut sind und es ist ein Aufsichtsführender zu bestellen. Weiter darf sich während der Prüfung niemand vor dem Absperrelement oder im Gefahrenbereich aufhalten.

Das erforderliche Equipment zur Messung muss gewisse Anforderungen erfüllen. Nach fachgerechtem Einbau der Absperrelemente und Anbringung eines Manometers zur Kontrolle und eines Sicherheitsventils, kann mit der Prüfung begonnen werden. Der Druck wird mittels eines hochauflösenden, elektronischen Feinmessmanometers gemessen. Der zulässige Messfehler beträgt 2 mbar (0,2 kPa). Zusätzlich ist dieses Gerät jährlich zu überprüfen.

Der Prüfdruck wird mit 100 mbar (10 kPa) und die zulässige Druckdifferenz mit 15 mbar (1,5 kPa) festgelegt. Die Beruhigungszeit ist abhängig vom Durchmesser des Rohres, ebenso wie die erforderliche Prüfzeit.

Tabelle 4: Erforderliche Prüfzeiten [min] bei der haltungs- bzw. abschnittsweisen Dichtheitsprüfung mit Luftüber- bzw. Unterdruck (ATV-DVWK, 2004)

Nennweite DN	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Prüfzeit [min]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Copyright ATV-DVWK, Hennef 2004

3.1.6.2 Dichtheitsprüfung mit Wasser

Auch bei der Wasserprüfung sollen ab dem Beginn der Füllung der Haltung sämtliche Arbeiten in anschließenden Schächten und Haltungen bis zum Ende der Prüfung aus sicherheitstechnischen Gründen unterbrochen werden.

Der Prüfdruck wird mit 30 mbar (3 kPa) am höchstgelegenen Punkt über Rohrscheitel angegeben. Der maximale Prüfdruck wird mit 0,5 bar (50 kPa) am tiefsten Punkt der Prüfstrecke festgelegt. Über die Prüfzeit von 15 Minuten wird die Wasserverlustrate ermittelt. Der Grenzwert der Wasserverlustmenge zwischen dichten und undichten Kanälen ist 0,2 l/m².

3.1.6.3 Dichtheitsprüfung bei Schächten

Es wird empfohlen die Dichtheitsprüfung bei Schächten mit Wasser durchzuführen. Bei einer Prüfzeit von 15 Minuten darf der zulässige Wasserverlust /die notwendige Wasserzugabe 0,4 l/m² nicht überschreiten. Der Schacht wird bis 0,5 m oberhalb des Rohrscheitels der einbindenden Abwasserleitungen und Abwasserkanäle geprüft.

3.2 Theoretische Grundlagen

3.2.1 Definitionen

Alte Kanäle

Nach dem Merkblatt 4.3/ 6 des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (2002) werden alte Anlagen zur Abwasserableitung wie folgt definiert: *„In Betrieb befindliche Abwasserleitungen, -kanäle und Schächte, die bei der Dichtheitsprüfung in der Regel geringere Anforderungen als neu gebaute Anlagen erfüllen dürfen.“*

Da sich im Zuge der Arbeit durch das Regelblatt 22 ergeben hat, dass die Prüfkriterien bei „alten“ Kanälen nicht aufgelockert werden sollen, ist die Definition von „alten“ Kanälen bezüglich angepasster Prüfkriterien nicht mehr relevant. Allerdings kann mit den in der Arbeit beschriebenen neuen Prüfungsmethoden keine Festigkeitsprüfung durchgeführt werden. Somit sind die neuen Prüfungsmethoden für eine Wiederholungsprüfung zulässig, allerdings nicht für eine Neubauabnahme- oder Sanierungsabnahme. (KÖRKEMEYER, 2001)

Die folgenden Definitionen dienen zum besseren Verständnis der behandelten Materie und wurden ausschließlich aus der ÖNORM EN 752 entnommen.

Abwasser

Wasser, bestehend aus jeglicher Kombination von abgeleitetem Wasser aus Haushalten, Industrie- und Gewerbebetrieben, Oberflächenabfluss und unbeabsichtigter Fremdwasserzufluss
[EN 1085:2007, Begriff 1010]

Betrieb

Tätigkeiten, die im Zuge der normalen Funktionsweise eines Entwässerungssystems unternommen werden (z. B. Überwachung und Steuerung oder Umleitung des Abwasserflusses)

Entwässerung

natürliches oder künstliches System zur Entwässerung eines Einzugsgebiets

Exfiltration

Versickerung aus einem Entwässerungssystem in den Untergrund
[EN 1085:2007, Begriff 2230]

Freispiegelsystem

Entwässerungssystem, bei dem der Abfluss durch Schwerkraft erfolgt und bei dem die Rohrleitung üblicherweise mit Teilfüllung betrieben wird
[EN 1085:2007, Begriff 2260]

Fremdwasser

unerwünschter Abfluss in einem Entwässerungssystem

Infiltration

⟨in ein Entwässerungssystem⟩ ungewollter Volumsstrom durch Eintritt von Grundwasser in ein Entwässerungssystem
[EN 1085:2007, Begriff 2220]

Inspektionsöffnung

Öffnung mit abnehmbarem Deckel, angebracht auf einer Abwasserleitung oder einem Abwasserkanal, die die Zugänglichkeit nur von der Oberfläche aus erlaubt, nicht jedoch den Einstieg von Personen gestattet

Kanalisation

Netz von Rohrleitungen und zugehörigen Bauwerken, das Abwasser von Abwasserleitungen zu Kläranlagen oder an anderen Entsorgungsstellen ableitet
[EN 1085:2007, Begriff 2280]

Nutzungsdauer

für Planungszwecke erwartete Lebensdauer eines Anlagenteils

Rückstaulinie

berechneter oder tatsächlich auftretender Wasserstand des Abwassers in einem Entwässerungssystem infolge der hydraulischen Bedingungen stromabwärts

Schacht

Einstieg mit abnehmbarem Deckel, angebracht auf einer Abwasserleitung oder einem Abwasserkanal, um den Einstieg von Personen zu ermöglichen

Überflutung

Zustand, bei dem Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser aus einem Entwässerungssystem entweichen oder nicht in dieses eintreten können und entweder auf der Oberfläche verbleiben oder in Gebäude eindringen

3.2.2 Strömungstechnische Abläufe

Dieses Kapitel ist in Anlehnung an die Unterlagen aus der Hydraulikvorlesung nach Loiskandl und Kammerer, LVA- Nr. 815.100 entstanden.

Die strömungstechnischen Abläufe bei der Dichtheitsprüfung mit Wasser bei einem beschädigten Rohr können vereinfacht durch das Toricelli Theorem beschrieben werden.

Allerdings muss der Wasserspiegel konstant gehalten werden, um eine stationäre Bewegung zu gewährleisten. Weiteres ist die Voraussetzung zu erfüllen, dass die Ausflussfläche um ein Vielfaches kleiner als die Wasserspiegelfläche ist.

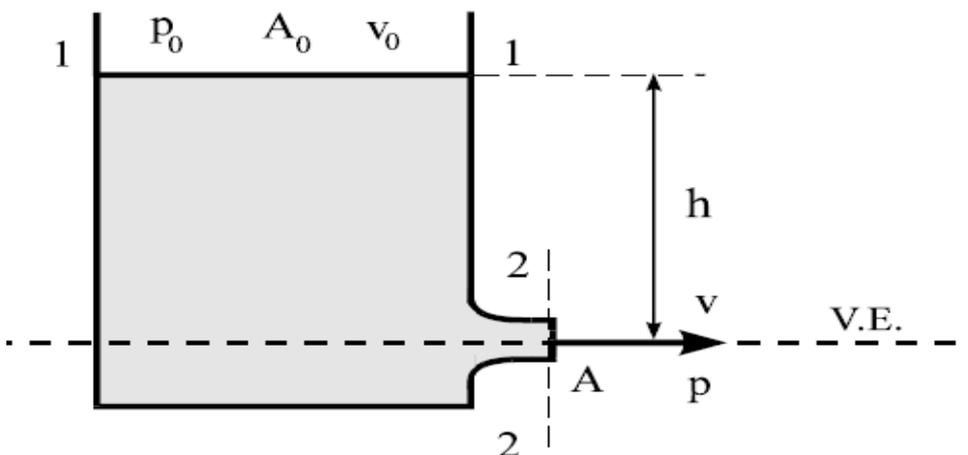


Abbildung 2: Ausfluss aus kleinen Öffnungen (LOISKANDL, 2009)

Das Toricelli Theorem basiert auf dem Satz von Bernoulli. Die Energiegleichung wird auf die Flächen 1 und 2 angewendet.

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{P_0}{\rho g} + h = \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} \quad (2);$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2g \left(\frac{P_0 - P}{\rho g} + h \right)};$$

Es kann angenommen werden, dass die Geschwindigkeit v_0 gegen 0 geht weil die Wasserspiegelfläche um ein Vielfaches größer ist als die Ausflussfläche.

Durch die Kontinuitätsbedingung kann p gleich p_0 gesetzt werden.

Aus der Formel können nun die Ausdrücke in denen v_0 und $p - p_0$ enthalten sind gestrichen werden:

$$v = \sqrt{2 g h}$$

$$\text{THEOREM von Toricelli} \rightarrow Q = v A = A \sqrt{2 g h}.$$

Zusätzlich ist noch zu berücksichtigen, dass die tatsächliche Austrittsfläche durch eine effektive Austrittsfläche ersetzt werden muss. Der Grund dafür ist die Annahme einer idealen Flüssigkeit und die Vernachlässigung der Einschnürung.

Die effektive Austrittsfläche wird mittels des Ausflusskoeffizienten μ errechnet, der sich aus dem Geschwindigkeitskoeffizienten zur Berücksichtigung einer nicht idealen Flüssigkeit und dem Einschnürungskoeffizienten zusammensetzt.

$$A_{\text{eff}} = A \mu$$

3.2.3 Physikalischer Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und Volumen

Bei der Luftdruckprüfung wird mit dem Medium Luft also einem Gas, geprüft. Über die Zustandsänderung der Luft wird eine Aussage über die Dichtigkeit des Kanalabschnittes getroffen.

Durch die drei Faktoren Temperatur, Druck und Volumen wird die Zustandsänderung eines Gases beschrieben. Es können sich alle drei Faktoren ändern aber auch nur zwei und ein Faktor bleibt konstant. Je nachdem welcher Faktor konstant bleibt, spricht man von einer isothermischen Zustandsänderung ($T = \text{const.}$), isochoren Zustandsänderung ($V = \text{const.}$) oder einer isobaren Zustandsänderung ($p = \text{const.}$) (DOBRINSKI et.al., 2010).

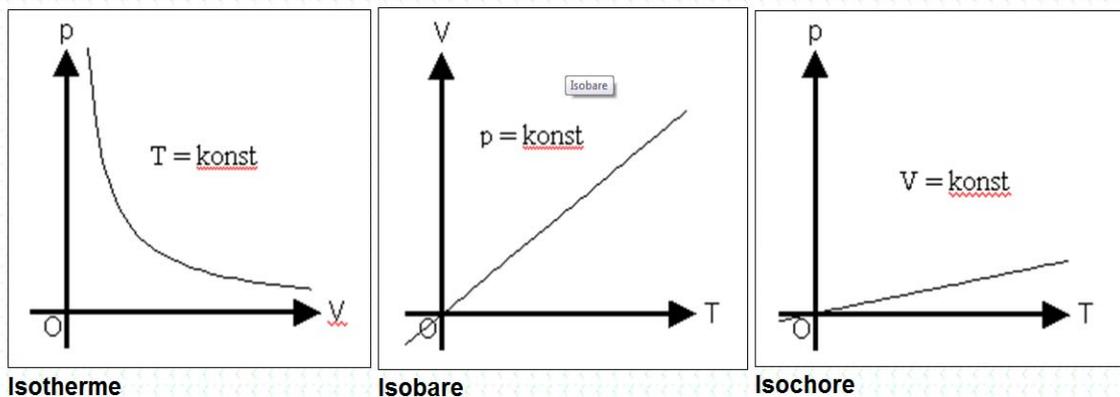


Abbildung 3: Zustandsänderung bei einer konstanten Zustandsgröße (WETZSTEIN, 1999)

Bei der Luftdruckprüfung nach ÖNORM B 2503 könnte man nach der Beruhigungszeit eine isotherme Zustandsänderung annehmen. Bei einer Prüfung in der Beruhigungszeit, bei undichtem Kanal ändern sich alle drei maßgebenden Faktoren.

Bei einem dichten Kanalabschnitt würde das Volumen konstant bleiben und die Druckänderung von der Temperatur abhängen.

$$p = p_0 \cdot T / T_0$$

Im Rahmen der Versuchsdurchläufe wurden Druckverlustkurven bei gleichbleibenden Volumen aufgenommen, wie in Abbildung 4 ersichtlich.

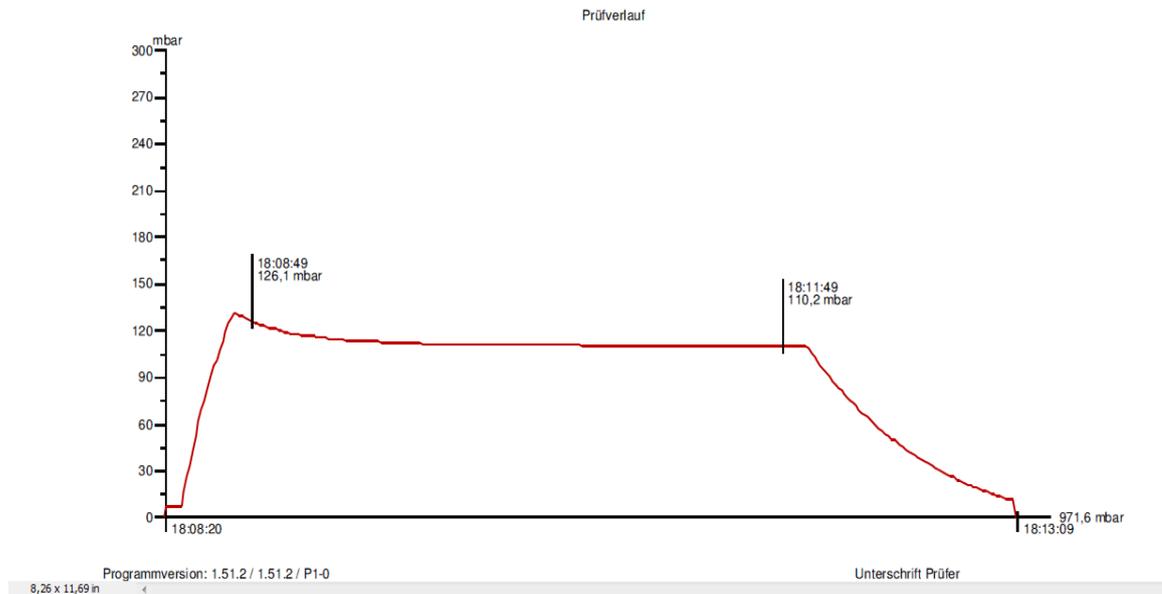


Abbildung 4: Druckverlustkurve im Bereich von 100 mbar und bei konstantem Volumen

3.2.4 Infiltration, Exfiltration - Gefährdungspotenzial

In diesem Kapitel sollen die Auswirkungen von undichten Kanälen überblicksmäßig erläutert werden, da sie im direkten Zusammenhang mit den Dichtheitskriterien stehen und somit das essentielle Thema bei der Frage darstellen, wann und mit welchen Grenzwerten geprüft werden soll.

Bei undichten und beschädigten Kanälen kommt es je nach Grundwasserspiegel zur Ex- und Infiltration. Die Exfiltration von Abwasser kann zu Kontamination im Boden und Grundwasser führen (KAINZ et.al. 2006). Durch Infiltration in das Kanalsystem werden die Rohrleitungen hydraulisch stärker beansprucht und somit ergibt sich eine Verkürzung der Nutzungsdauer. Außerdem kommt es noch zu einer zusätzlichen Belastung der Kläranlage (DOHMANN, 2006).

Bei dem Thema der Exfiltration wird vor allem dem Schutz des Grundwassers höchste Priorität eingeräumt und nicht dem Schutz des Bodens (DOHMANN, 2006). Die Frage wie sehr das Grundwasser durch undichte Kanäle gefährdet ist wurde in mehreren Forschungsprojekten ausführlich behandelt.

Der Spannweitebereich der Exfiltration wird laut DOHMANN (1999) von den Eigenschaften des umgebenden Bodens und dem Zusammenwirken des exfiltrierten Wassers mit dem Bettungsmaterial beeinflusst. *„Als wesentliche, die Exfiltration beeinflussende Faktoren stellten sich die Fließtiefe bzw. Druckhöhe im beschädigten Rohr, Art und Umfang des Kanalschadens sowie die bodenmechanischen und hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes heraus.“*(DOHMANN, 1999)

Nach der DFG Forschungsgruppe „Gefährdungspotential von Abwasser aus undichten Kanälen für Boden und Grundwasser“, Universität Karlsruhe ist die Reinigungsleistung des Bodens und der Umfang der Stabilität der sich einstellenden Selbstabdichtung oder Kolmation ausschlaggebend für die aus einer Leckage resultierende Boden- und Grundwasserbelastung. Die Kolmationsschicht wirkt wie ein Filter, der im Abwasser enthaltene Bakterien zurückhält. Diese Schicht reißt aber in regelmäßigen Abständen durch Gasbildung wieder auf (TURKOVIĆ et.al. 2006).

Durch die Selbstabdichtung und die Reinigungsleistung des Bodens werden Keime und andere Abwasserkomponenten stark dezimiert (TURKOVIĆ et.al. 2006). Wobei

persistente Stoffe, hohe Restkeimdichte mit Mehrfachresistenz und nicht biologisch abbaubare Pharmazeutika ein multiples Gefährdungspotential darstellen (HUA et.al. 2006).

Im Zuge des Forschungsprojektes der Universität Karlsruhe wurden Untersuchungen bezüglich des Gefährdungspotentials für Grundwasser in mittelgroßen Städten durchgeführt. Das Ergebnis dieser Untersuchung zeigt, dass die Kolmationsprozesse nicht ausreichen um messbare Beeinträchtigung der Grundwasserqualität zu verhindern. Es wurde allerdings nur bei mikrobiologischen Indikatorparametern eine Überschreitung der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung festgestellt. Auf Grund der Ergebnisse wird eine ausreichende Trennung zwischen Grundwassernutzung und defekten Abwassersystem empfohlen und eine erhöhte Aufmerksamkeit bei Schutzgebieten vorgeschlagen (WOLF et.al. 2006).

3.2.5 Zugänglichkeit von Hausanschlüssen

Um Dichtheitsprüfungen im Kanalsystem durchzuführen, ist eine gute Zugänglichkeit der Schächte Voraussetzung. Für eine Prüfung mit Luft als auch mit Wasser muss der zu prüfende Kanalabschnitt beziehungsweise die zu prüfende Haltung abgedichtet werden. Alle in den Prüfungsabschnitt mündenden Leitungen müssen mit Dichtekissen verschlossen werden. Das wiederum setzt eine Zugänglichkeit dieser Leitungen voraus. Vorhandene Blindanschlüsse verkomplizieren die Dichtheitsprüfung.

In der Diplomarbeit von POLLINGER, „Multikriterielle, funktionale Bewertung von Hauskanälen in Entwässerungssystemen“ (2009) wurde das Thema der Hauskanäle und die daran gekoppelten Probleme ausführlich diskutiert.

In dieser Arbeit wurden die vier gängigsten Grundvarianten von Einstiegsschachtordnung für Hauskanäle diskutiert und mittels der SWOT-Analyse bewertet. Bei den bewertenden Faktoren wurde auch die Zugänglichkeit zu Hauskanälen für betriebliche Aktivitäten berücksichtigt:

„Bei den Varianten 1 bis 3 werden zusätzliche Einsteigschächte gesetzt. Diese ermöglichen dem Kanalunternehmen eine verbesserte Zugänglichkeit des Hauskanals für erforderliche Arbeiten, allerdings nur solange sie auch erhalten bleibt. Zudem wird durch zusätzliche Einsteigschächte der Verzweigungsgrad des Hauskanals verringert und dadurch die Möglichkeit einer kompletteren Aufnahme von verzweigten Hauskanälen geboten.“ (siehe Abbildung 5)

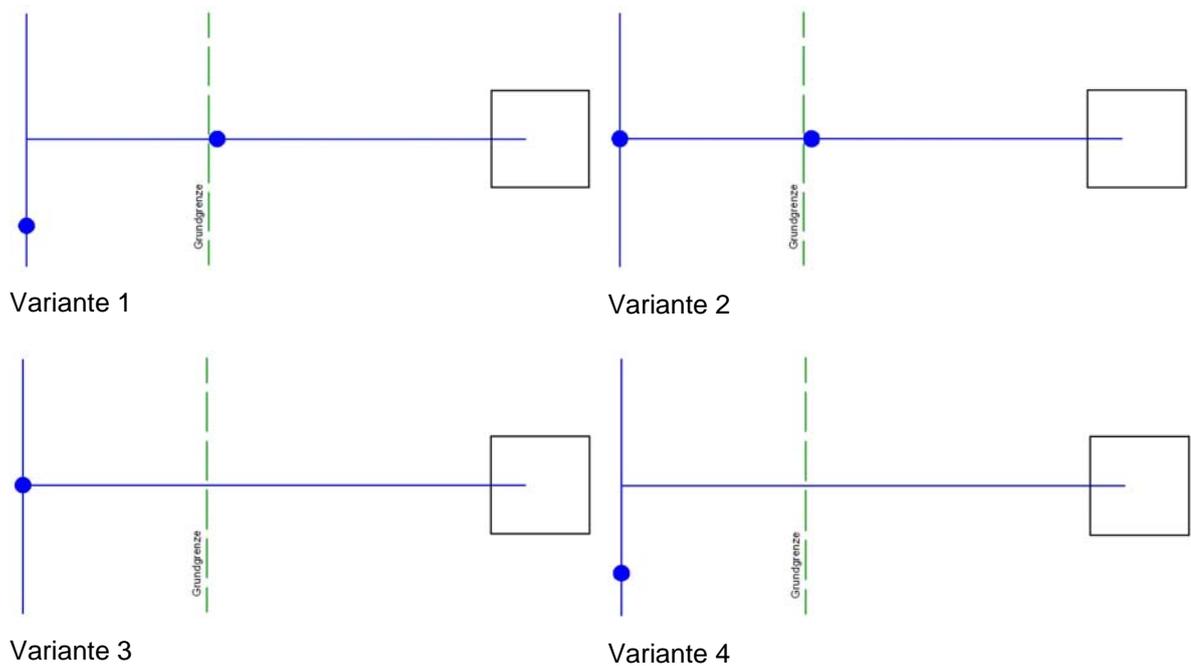


Abbildung 5.: Überblick der Grundvarianten 1-4 von Einstiegsschachtordnungen für Hauskanäle (POLLINGER, 2009)

Die Funktionalanforderungen werden wie folgt aufgezählt und bewertet:

- *Die Wartung des Hauskanals mit unterschiedlichen Gerätschaften wird für das Betriebspersonal durch besseren Zugang erleichtert.*
- *Durch den Anschluss des Hauskanals an den Hauptkanal in einem Einsteigschacht sind Fehlanlüsse einfacher festzustellen und zu beheben.*
- *Durch die gute Zugänglichkeit des Hauskanals werden Inspektionen durchgeführt und Schäden, die In- und Exfiltrationen erzeugen, früher entdeckt.*
- *Aufgrund der besseren Zugänglichkeit können Hindernisse im Hauskanal einfacher und schneller beseitigt werden, eventuell noch bevor es zu einer Geruchsbelästigung kommt.*
- *Durch einen guten Zugang zum Hauskanal steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Inspektionen in regelmäßigen zeitlichen Abständen durchgeführt werden. Die dabei entdeckten Schäden können ausgebessert werden, und somit steigt auch die Lebensdauer des Systems an sich. Statt einer notwendigen kompletten Erneuerung aufgrund grober Schäden kommt eine Reihe von billigeren partiellen Instandsetzungen in Frage.*
- *Aufgrund einer besseren Zugänglichkeit können Hindernisse im Hauskanal einfacher und schneller beseitigt werden. Die Aufrechterhaltung des Abflusses wird gefördert.*
- *Kann die Sanierung des Hauskanals von einem Einsteigschacht direkt vor Ort erfolgen, dann ist dadurch die Wasserdichtheit einfacher zu gewährleisten, weil die Arbeiten weniger komplex sind und daher eher durchgeführt werden.*
- *Die Abwasserbeschaffenheit kann direkt an der Anschlussstelle an den Hauptkanal oder bereits auf Privatgrund überprüft werden, wenn sich dort ein*

Einstiegsschacht befindet. Das anfallende Abwasser ist einfacher einem Verursacher zuordenbar.

(POLLINGER, 2009)

Nach der qualitativen Untersuchung mit der SWOT- Analyse und einer quantitativen Untersuchung einer Fallstudie wurde Variante 3 im Vergleich zu den anderen Varianten am besten bewertet. Wobei die Variante 2 die meisten Vorteile bei den Funktionalanforderungen bietet, jedoch ist der finanzielle Mehraufwand zu berücksichtigen.

Wenn man diese Varianten nur im Hinblick auf die Dichtheitsprüfung betrachtet, wäre die Variante 2 optimal. Bei der Variante 2 befinden sich ein Einstiegsschacht an der Grundstücksgrenze und ein Einstiegsschacht bei der Einmündung des Hauskanals in den Sammelkanal. Durch diese Platzierung ist eine gute Zugänglichkeit gegeben. Zusätzlich kann durch den Einstiegsschacht an der Grundstücksgrenze der Hauskanal vom öffentlichen Kanal getrennt werden. Diese Abtrennung wäre zum Beispiel bei einer Dichtheitsprüfung der Hauskanäle notwendig.

Bei Variante 3 befindet sich ein Einstiegsschacht bei der Einmündung des Hauskanals in den Sammelkanal. Diese Variante wäre in Bezug auf die Dichtheitsprüfung die zweitbeste Variante. Sie würde eine gute Zugänglichkeit garantieren und es wären keine „Blindanschlüssen“ vorhanden.

Die Variante 1 wäre für die Dichtheitsprüfung akzeptabel. Hier befinden sich die Einstiegsschächte an der Grundstücksgrenze. Die Einstiegsschächte liegen auf Privatgrund und somit wird die Zugänglichkeit der Einstiegsschächte erschwert.

Bei Variante 4 ist eine ökonomisch effiziente Dichtheitsprüfung unmöglich. Alle Abzweigungen zu den Hauskanälen sind nicht mehr über die Einstiegsschächte erreichbar.

4. Praktische Versuchsdurchführung

4.1 Allgemeines

Am Anfang der Diplomarbeit wurde ein Versuchsplan entworfen der sich mit Fortschreiten der Arbeit verändert hat. Die folgenden Versuchspläne (siehe Tab. 5 und Tab. 6) entsprechen den tatsächlichen Versuchsdurchführungen im Bereich der Wasserdruckprüfung und der Luftdruckprüfung. In beiden Bereichen wurden Referenzprüfungen (nur am Werksgelände) durchgeführt, um die Ergebnisse der neuen Methoden mit den aktuellen Norm-Methoden vergleichen zu können.

Bezüglich der Wasserdruckprüfung wurde die Referenzprüfung in Anlehnung an die ÖNORM B 2503 durchgeführt. Die in Tab. 5 gelb hinterlegten Bereiche markieren jene Kriterien, die der ÖNORM B 2503 entsprechen.

Die Referenzprüfung der Luftdruckprüfung wurde exakt nach der ÖNORM B 2503 durchgeführt.

Tabelle 5: Versuchsplan für die Wasserdruckprüfung

	<i>Versuche nach neuer Methode</i>	<i>Versuche mit Prüfkriterien der ÖNORM B 2503</i>
<i>Prüfort 1</i>	Werksgelände der Prüfstelle Egger	Werksgelände der Prüfstelle Egger
<i>Prüfumfang</i>	Oberer Schacht inkl. Zulaufmuffen anschließende Haltung bis zum nächsten Schacht (exkl. Zulaufmuffen)	gleicher Prüfumfang
<i>Prüfmittel</i>	Messschacht am Hochpunkt: Pegelerlängerung (Niveaumessung, Versuchsdurchführung mit geeichter Waage mit Tauchkörper) Messschacht am Tiefpunkt: Kontrollmessung Wassersäule (Drucksensor)	gleiche Prüfmittel
<i>Variation</i>	Wassersäule, Prüfzeit, Leckblendenlochdurchmesser	Leckblendenlochdurchmesser
<i>Prüfzeit</i>	2,5 und 5 min.	30 min.
<i>Dichtheitskriterium</i>	0,035 l/m ² in 2,5 min.; 0,07 l/m ² in 5 min.	0,42 l/m ² in 30 min.
<i>Prüfdruck</i>	30 cm und 1 m über erster Schachtfuge	5 m Wassersäule
<i>Prüfort 2</i>	Öffentliches Kanalnetz	Öffentliches Kanalnetz

Tabelle 6.: Versuchsplan für die Luftdruckprüfung

	<i>neuer Ansatz</i>	<i>Methode nach ÖNORM B2503</i>
<i>Prüfort</i>	Werksgelände der Prüfstelle Egger	Werksgelände der Prüfstelle Egger
<i>Prüfumfang</i>	Haltung (PVC - Rohr, DN 300), ohne Schacht	gleicher Prüfumfang

<i>Prüfmittel</i>	geeichter Drucksensor	geeichter Drucksensor
<i>Variation</i>	Leckblende, Anfangsdruck, Zeit der Aufbringung	Leckblende
<i>Prüfdruck</i>	200 mbar, 100mbar	
<i>Prüfzeit</i>	3 min	11 min
<i>Dichtheitskriterium</i>	1,36 mbar in letzter Minute	15 mbar in Prüfzeit

4.2 Prüfung mit Wasser

4.2.1 Rahmenbedingungen für die Prüfung von in Betrieb befindlichen Kanälen

Die Durchführung einer Wasserdruckprüfung wird von verschiedenen Rahmenbedingungen bestimmt.

Der erste maßgebende Parameter ist der Abwasseranfall. Die Wasserdruckprüfung wird entweder mit dem vorhandenen Abwasser durchgeführt oder mittels von einem Tankwagen zugeführtem Wasser. Die Menge des vorhandene Abwassers und ob diese Menge schnell genug für eine effiziente Wasserdruckprüfung vorhanden ist, ist von mehreren Faktoren abhängig.

Grundsätzlich muss zwischen Misch- und Schmutzwasserkanälen unterschieden. Bei Schmutzwasserkanälen ist die anfallende Abwassermenge von der Anzahl der angeschlossenen Haushalte und von der Tageszeit abhängig. Der Verlauf der abfließenden Abwassermenge wird mittels Tagesganglinie dargestellt (HABERL, 2009). Bei Mischwassersystemen ist die Abflussmenge auch von der momentanen Wetterlage abhängig. Zusätzlich bestimmen die geometrischen Abmessungen des Kanalabschnittes die für die Prüfung benötigte Wassermenge.

Bei großem Abwasseranfall kann dieser zu einer Rückstauproblematik führen. Ein Rückstau kann in den angeschlossenen Kanälen an den Prüfungsabschnitt auftreten, nämlich dann, wenn die anfallenden Wassermengen die Kapazität der Kanäle überschreiten und durch die Prüfung das Abfließen des Wassers behindert wird (WASSER UND ABWASSER, 2011). Falls ein Gefährdungspotential durch die Druckprüfung gegeben ist, muss umgepumpt oder eine Umleitung eingerichtet werden (KAUFMANN, 1999). Um eine kostenintensive Umleitung zu umgehen, werden kurze Prüfzeiten bei den Druckprüfungen angestrebt.

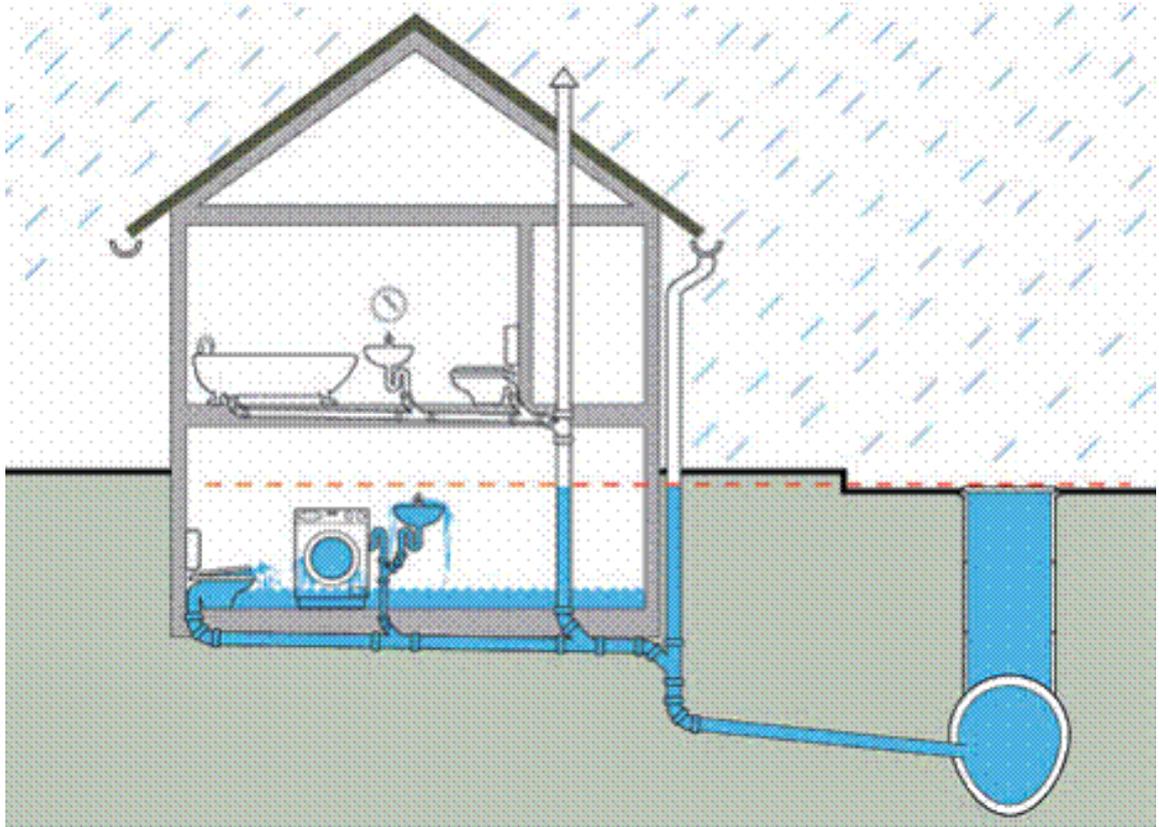


Abbildung 6: Rückstau und Rückstauenebene (SANITÄR HEIZUNG KLIMA INFORMATIONEN, 2011)

Ein anderer wesentlicher Parameter ist das Rohrgefälle. Wenn das Gefälle zu groß ist, kann es zu einer Überschreitung des maximal zulässigen Prüfdrucks kommen, was eine Prüfung mit Wasser bedingt möglich machen würde. Bei einer Prüfung mit 1 m Wassersäule und einer maximalen Entfernung zweier Schächte von 50 m (Annahme gemäß ÖNORM, in der Praxis können auch längere Haltungen vorkommen) würde das maximale Gefälle bei dem eine Wasserdruckprüfung noch zulässig ist 8% betragen.

Eine Randbedingung, welche den Ablauf und die tatsächlichen Kosten der Dichtheitsprüfung maßgebend beeinflusst, ist das Verkehrsaufkommen. In Österreich gilt für Arbeitsfahrten von Fahrzeugen der Kanalwartung folgendes:

In der Straßenverkehrsordnung 1960- StVO 1960 (21. StVO- Novelle) §27, Abs.5 steht: *„Soweit dies zur Erreichung des Zwecks der jeweiligen Arbeitsfahrt notwendig ist, sind auch die Lenker von Fahrzeugen der Kanalwartung und –revision bei Arbeitsfahrten an die Bestimmungen über das Verhalten bei Bodenmarkierungen und über das Einordnen sowie an Zufahrtsbeschränkungen, an Halte- und Parkverbote und an die Verbote bezüglich des Zufahrens zum linken Fahrbahnrand nicht gebunden. Sie dürfen dabei auch durch Nebenfahrbahnen durchfahren und das Fahrzeug erforderlichenfalls abweichend von den Bestimmungen des §23 Abs.2 aufstellen.“*

Nach Deutschmann (2011) sind bei Arbeitsfahrten mit ausreichender Sicht, die Fahrzeuge mit einer eingeschalteten gelb/rot Warnleuchte auszustatten. Bei Arbeitsfahrten mit schlechter beziehungsweise nicht ausreichender Sichtweite, ist zusätzlich zur der Warnleuchte eine Warntafel und eine Person in Warnkleidung in ausreichendem Abstand vor dem Fahrzeug zu platzieren.

4.2.2 Versuchsstrecke

4.2.2.1 Werksgelände der Prüf- und Inspektionsstelle Egger

Aufgrund der beschriebenen Rahmenbedingungen bei der Prüfung von in Betrieb befindlichen Kanälen und deren Auswirkungen auf die Versuchsdurchführung wurden die Basisversuche und Referenzprüfungen zur besseren Vergleichbarkeit am Werksgelände der akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle Egger in Wettmannstätten, Steiermark durchgeführt.

Bei der beim Versuch verwendeten nicht in Betrieb befindlichen Leitung handelt es sich um eine PVC- Rohrleitung mit 300 mm Durchmesser und einer Länge von 23,5 m. Bei der Wasserprüfung wurde nicht nur die Rohrleitung sondern zusätzlich auch der anschließende Schacht geprüft. Die effektive Strecke ist bei dieser Prüfung 23 m lang und der mitgeprüfte Schacht hat einen Durchmesser von 1m und eine Tiefe von 2,04 m.

4.2.2.2 Öffentliches Kanalnetz

Am 14.07.2011 vormittags wurde der erste Versuch im öffentlichen Kanalnetz durchgeführt. Es wurden mehre Haltungen abgefahren um günstige Rahmenbedingungen zu finden. Die Wahl des Kanalabschnittes fiel auf die Haltungen in der Carl- Zelligasse, Gemeinde Wagna, Bezirk Leibnitz. Bei diesen Leitungen handelt es sich um ein Steinzeugrohr DN 300. In diesem Abschnitt wird das Abwassers von zumindest 50 Haushalten abgeführt. In weiterer Folge mündet der Abwasserkanal in einen Sammelkanal in der Feldgasse (siehe. Abbildung 7).

Der erste Versuch am 14.07.2011 wurde nach 2,5 Stunden Vorbereitungszeit abgebrochen. Das Problem war die lange Füllzeit, welche sich durch die geringe Menge an Abwasserdurchfluss ergab. Die geringe Abwassermenge ist wahrscheinlich auf die Uhrzeit aber auch auf die Urlaubszeit zurückzuführen.

Schließlich konnte die Versuchsreihe am 27.07.2011 mit Hilfe eines Tankwagens in der Zelligasse wieder aufgenommen und erfolgreich beendet werden.

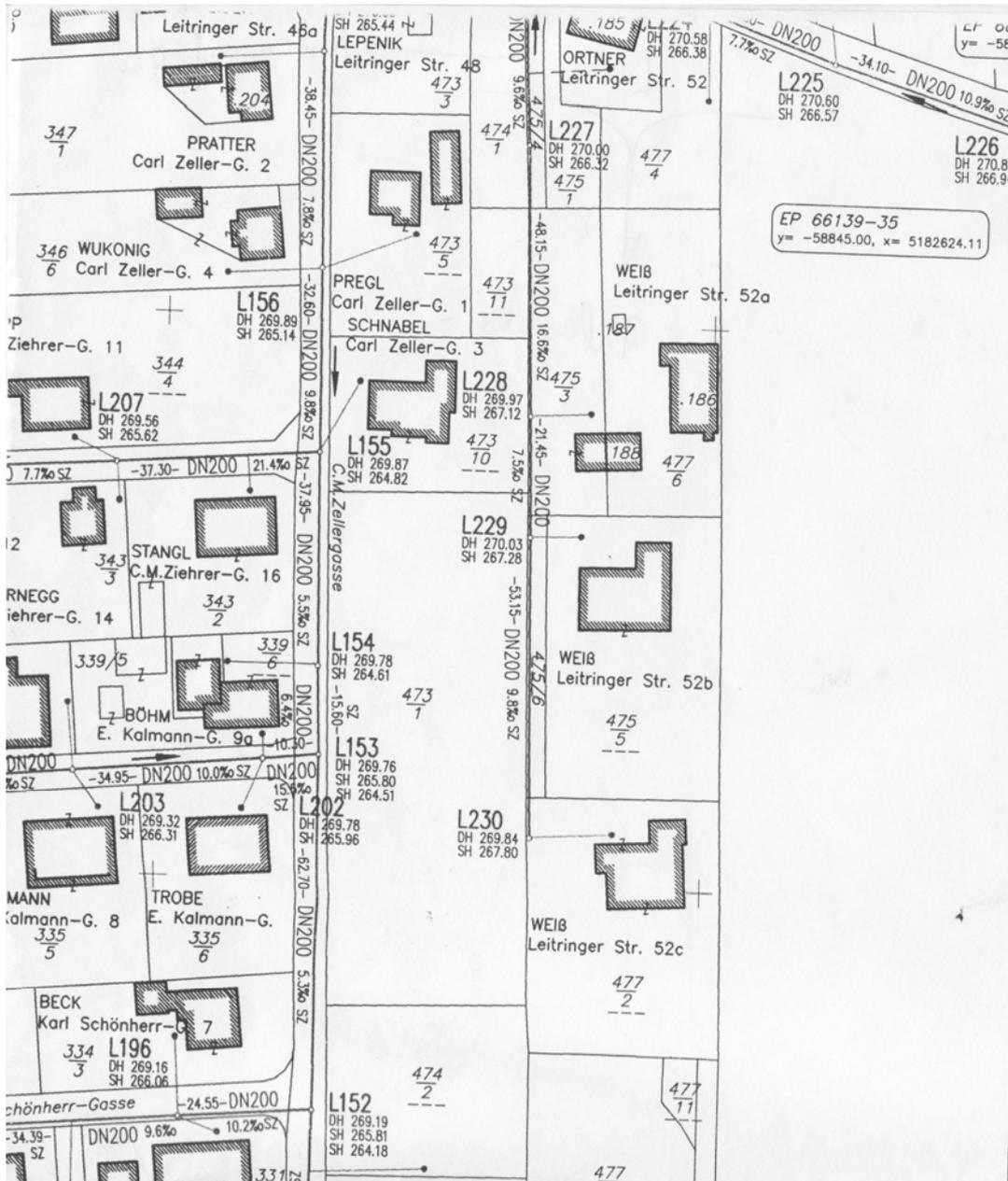


Abbildung 7: Kanalkatasterausschnitt, Carl Zeller-gasse, Leitring, Gemeinde Wagna

4.2.3 Eingesetzte Messmittel und zugehörige Ausrüstung

4.2.3.1 Absperrerelemente

Die verwendeten Dichtekissen werden mit circa 2 bar (200 kPa) Überdruck gefüllt, um einen guten Halt und eine gute Abdichtung gegen Luft und Wasser zu garantieren. Je größer der Durchmesser der Dichtekissen ist, desto weniger Druck benötigt man. Das kommt daher, dass die großen Dichtkissen eine sehr große Anpressfläche haben.

Bei den Druckprüfungen wirkt durch das Prüfmedium ein enormer Druck auf das Dichtekissen. Besonders bei großen Kanaldurchmessern ist die auftretende Schubkraft enorm.

Schubkraft = $d^2 \times 0,785 \times p$

d...Durchmesser [m]

p...Druck [bar]

(EGGER H., 2011b)

Bei einem Rohrdurchmesser von 0,5 m und einer Wassersäule von 5 m (entspricht 0,5 bar) würde eine Schubkraft von rund 9,8 kN auf das Dichtekissen wirken. Deshalb soll beim Ein- und Ausbau der Dichtekissen besonders auf die Sicherheit der arbeitenden Personen geachtet werden (EGGER T., 2011).

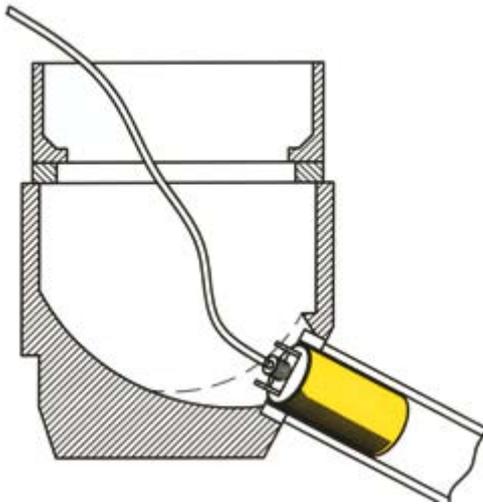


Abbildung 8: Dichtkissen, hier Prüfdichtkissen (VETTER, 2011)

4.2.3.2 Druckmessgeräte

Alle Daten wurden dem Zulassungsschein des verwendeten Gerätes vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen entnommen.

Das Druckmessgerät der Bauart UPTS (siehe Abbildung 9) verfügt über zwei intern eingebaute Drucksensoren. Der Sensor Pamb misst den aktuell herrschenden Umgebungsluftdruck. Dieser Sensor wird als Referenzsensor für den Nullabgleich herangezogen. Der Sensor L 1100 ist der eigentliche Messsensor. An der Rückseite des Gerätes können zusätzlich externe Drucksensoren angeschlossen werden. In diesem Fall wechselt die Druckanzeige auf den Wert des externen Sensors. Die Linearisierung erfolgt über eine Mehrpunktkalibrierung. Die Auswahl und die Bestätigung der einzelnen Menüpunkte erfolgt über die Tasten. Die Anzeige der Druckwerte und der Zusatzinformationen (z.B. Datum, Uhrzeit, GPS-Koordinaten, Ladezustand usw.) erfolgt über das Display. (ZULASSUNGSSCHEIN, 2010)

Bei dem externen Sensor handelt es sich hier um einen W 110 dessen Verwendungsbereich von 0 bis 110 kPa (1100 mbar) reicht.



Abbildung 9: UPTS, Ser. Nr.: 2001 mit W110-2 Ser. Nr.: 1701

4.2.3.3 Pegelmessgerät

Das Pegelmessgerät besteht aus einer Gewichtswaage, an der ein Eintauchkörper angebracht ist. Die Funktionsweise des Pegelmessgerätes bezieht sich auf das archimedische Prinzip.

Das Volumen und die Masse des Tauchkörpers sind genau definiert. Durch die Veränderung des Wasserspiegels verändert sich das von der Waage gemessene Gewicht des Tauchkörpers. Mit dieser Art der Wasserspiegelmessung wird eine Genauigkeit von 0,01 mm erzielt und ermöglicht somit eine Verkürzung der Prüfzeit.

Die nachfolgenden Daten sind aus dem Bauartzulassungsschein des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen entnommen.

Die Waage besteht aus dem elektronischen Auswertegerät "DLG" mit integrierter Lasteinheit mit Dehnungsmessstreifen - Wägezelle und der Zusatzeinrichtung "UPTS" zur Spannungsversorgung. Die Waage hat einen Bereich mit konstantem Teilungswert.

Nach Speisung der Wägezellen wird die Ausgangsspannung in einem Vorverstärker verstärkt, gefiltert und anschließend mit einem A/D-Wandler digitalisiert. Messwertverarbeitung sowie Gerätejustage werden von einem Mikrocomputer gesteuert. (EG-BAUARTZULASSUNGSSCHEIN, 2007)



Abbildung 10: Eintauchkörper



Abbildung 11: Pegelmessgerät DLG, Ser. Nr.: 001 (Ausführung: Gewichtswaage mit Eintauchkörper)

4.2.3.4 Leckblende

Bei der Leckblende handelt es sich um eine 3 mm dicke Aluminiumscheibe mit 25 mm Durchmesser in deren Mitte sich ein mit Laser ausgemessenes und gebohrtes Loch befindet. Um eine Verwirbelung beim Ausströmen und einer Verlegung durch kleine Partikel zu verhindern werden die Kanten des Loches leicht abgerundet.

Bei den Versuchsdurchläufen mit Wasser wurde die Leckgröße variiert. Es wurde mit Durchmessern von 0,85 mm, 0,60 mm, 0,50 mm und 0,40 mm gearbeitet.

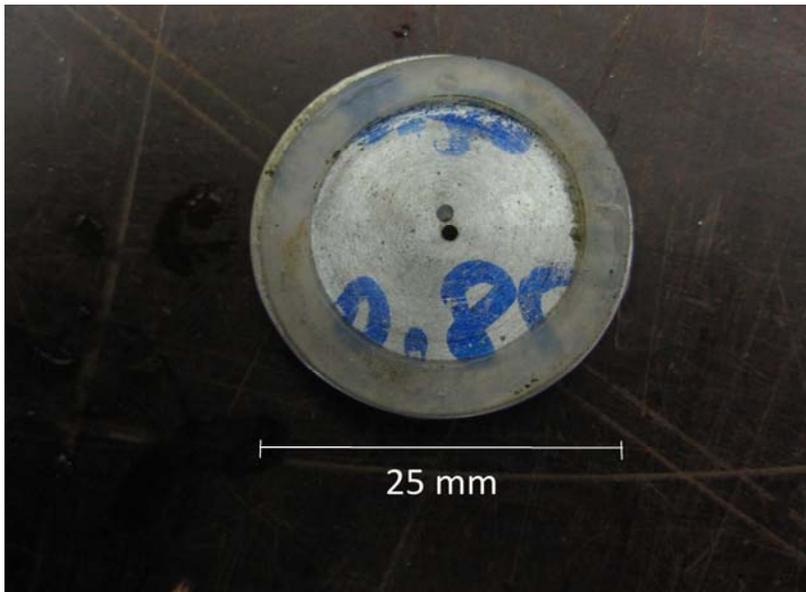


Abbildung 12.: Leckblende mit 0,85 mm Lochbohrung und 25 mm Aussendurchmesser

4.2.4 Versuchsdurchführung

Vor der Versuchsdurchführung wird das Prüfdichtkissen am Tiefpunkt der Prüfstrecke positioniert. Es wird mit Luft bis zum zulässigen Druck (ca. 2,5 bar) gefüllt, sodass es die Haltung dicht verschließt. Danach wird die Haltung mit Wasser gefüllt. Bei den Versuchsdurchläufen am Werksgelände der akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle Egger wurde mit Reinwasser gearbeitet.

Zusätzlich wird im öffentlichen Kanalnetz ein zweites Dichtkissen am Hochpunkt (im Schachtzulauf) des zu prüfenden Abschnittes eingebaut. Das Dichtkissen wird erst mit Luft gefüllt, wenn die gewünschte Einstauhöhe erreicht ist. Für die Prüfung soll aus ökonomischer Sicht (vorzugsweise) das zufließende Abwasser verwendet werden, welches man so lang zurückstaut bis es die erforderliche Einstauhöhe im Schacht erreicht hat und der gewünschte Prüfdruck für die Prüfzeit erreicht wird. Falls die zufließende Wassermenge nicht ausreicht um den zu prüfenden Abschnitt zu füllen, muss dieser mittels Tankewagen gefüllt werden.

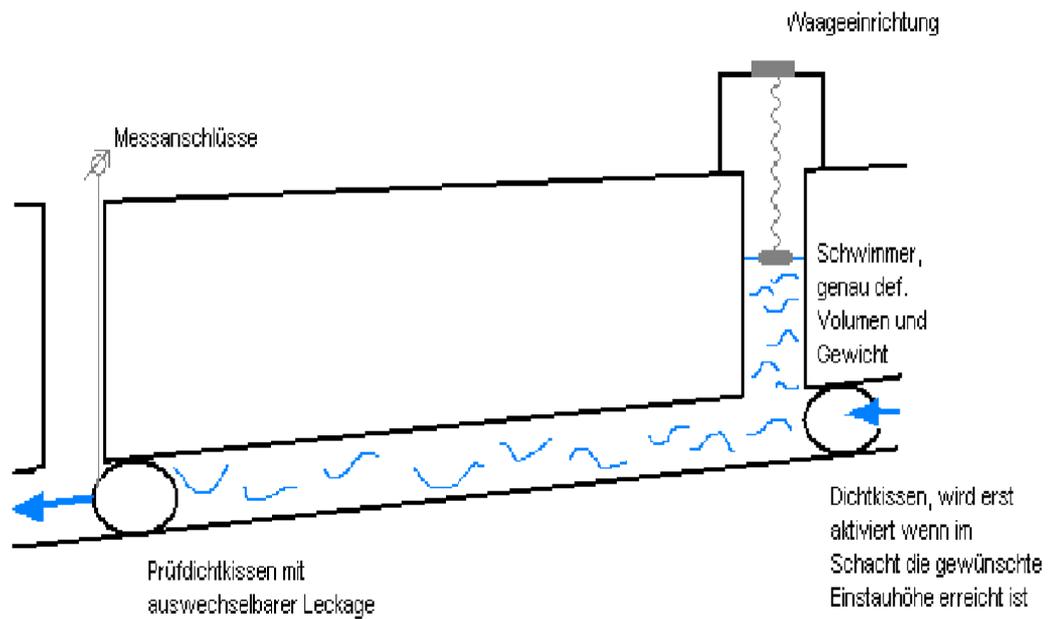


Abbildung 13.: Prinzipskizze der neuen Methode der Wasserdruckprüfung

Nach Füllen der Haltung wird der zulässige Wasserverlust gemessen. Der Wasserverlust wird durch die Änderung des Wasserspiegels (Pegelveränderung) bestimmt. Zur Verwendung kommt eine Gewichtswaage mit Auftriebskörper (archimedisches Prinzip). Zusätzlich wird das durch die Leckblende austretende Wasser gesammelt und als Kontrollmessung verwendet. Die Messung wird mit der Vorgabe von fünf Minuten und in einer verkürzten Messzeit von 2,5 Minuten durchgeführt.

Auf dem Werksgelände der akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle Egger werden die Leckblendenlochdurchmesser und die Einstauhöhe variiert. Im öffentlichen Kanalnetz wird mit einer Einstauhöhe von 30 cm über der ersten Fuge im Schacht bei 5 Minuten Prüfzeit gemessen.



Abbildung 14.: Einstauhöhe im Schacht, 30 cm über erster Schachtfuge

4.3 Prüfung mit Luft

4.3.1 Versuchsstrecke

Die Versuche zur Luftdruckprüfung fanden alle am Werksgelände der akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle Egger in Wettmannstätten, Steiermark statt.

Bei der beim Versuch verwendeten Leitung handelt es sich um eine PVC- Rohrleitung mit 300mm Durchmesser und einer Länge von 23,5 m. Bei der Luftdruckprüfung werden zwei Dichtekissen benötigt, deshalb beträgt hier die effektive Länge 22,5 m.

4.3.2 Eingesetzte Messmittel und zugehörige Ausrüstung

4.3.2.1 Absperrelemente

Bei der Luftdruckprüfung wurden die gleichen Absperrelemente wie bei der Wasserdruckprüfung verwendet und ebenfalls mit 2 bar Überdruck gefüllt (siehe Kapitel 4.2.3)



Abbildung 15.: Angeschlossenes Dichtkissen (Prüfdichtkissen) für die Prüfung mit Luft

4.3.2.2 Drucksensoren Druckmessgeräte

Es wurde das gleiche Universaldruckmessgerät wie bei der Wasserprüfung verwendet (siehe Kapitel 4.2.3). Als eigentlicher Messsensor wurde der Sensor L1100 verwendet. Dieser kann in einem Messbereich von 500 bis 1100 mbar (50 bis 110 kPa) eingesetzt werden.

4.3.2.3 Leckblende

Es wurden die Leckblenden mit den Lochdurchmessern von 0,85 mm, 0,60 mm, 0,50 mm und 0,35 mm verwendet.

4.3.3 Versuchsdurchführung

Vor der Prüfung werden die Dichtkissen angebracht, an denen die Druckmess- und Befüllrichtungen bereits angeschlossen sind. Ein Dichtkissen befindet sich am Hochpunkt (Prüfdichtkissen) und eines am Tiefpunkt (Dichtkissen) der Haltung. Sie werden mittels einer Stange über die Schächte in den Rohrleitungen positioniert. Danach werden sie aufgeblasen bis die Haltung komplett abdichtet wird.

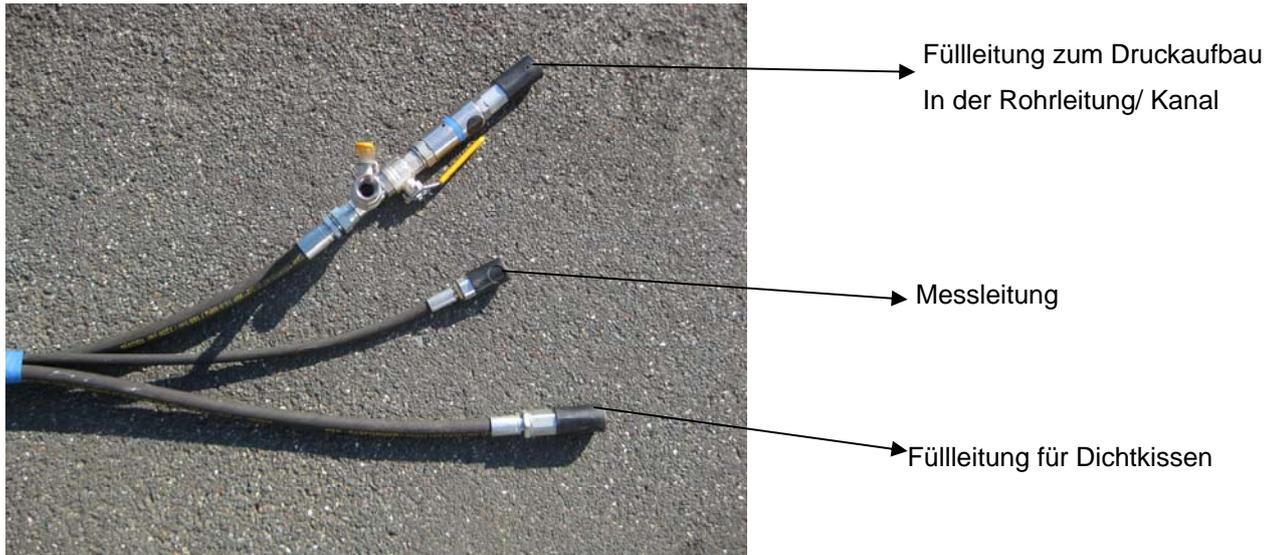


Abbildung 16.: Anschlüsse für die Prüfung mit Luft

Anschließend wird ein Anfangsprüfdruck von circa 100 mbar aufgebracht und über die Beruhigungszeit gemessen.

Bei dieser Versuchsreihe wird die Zeit zum Aufbringen des Prüfdruckes, der Prüfdruck selbst und die Leckblende variiert.

Für die Festlegung der Grenzwerte für die Versuchsreihen wurde die ÖNORM B 2503 (2009) herangezogen. Die ÖNORM gibt für einen PVC Kanal mit einem Durchmesser von 300 mm, bei einer Prüfzeit von 11 min. einen zulässigen Druckverlust von 15 mbar an. Die Beruhigungszeit ist mit 3 min. vorgegeben. Die Beruhigungszeit ist der Zeitraum in dem sich die mit dem Druckaufbau eingebrachte erhöhte Temperatur (vom Kompressor) an die Temperatur der Rohrwand angepasst hat und sich der Druck stabilisiert hat. Die Prüfzeit der am Werksgelände der akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle Egger durchgeführten Versuche betrug 3 min., mit einem zulässigen Druckverlust von 15 mbar/11 min. In der letzten Minute der Prüfung muss der Druckverlust weniger als 1,36 mbar betragen, damit die Rohrleitung als dicht bewertet werden darf.

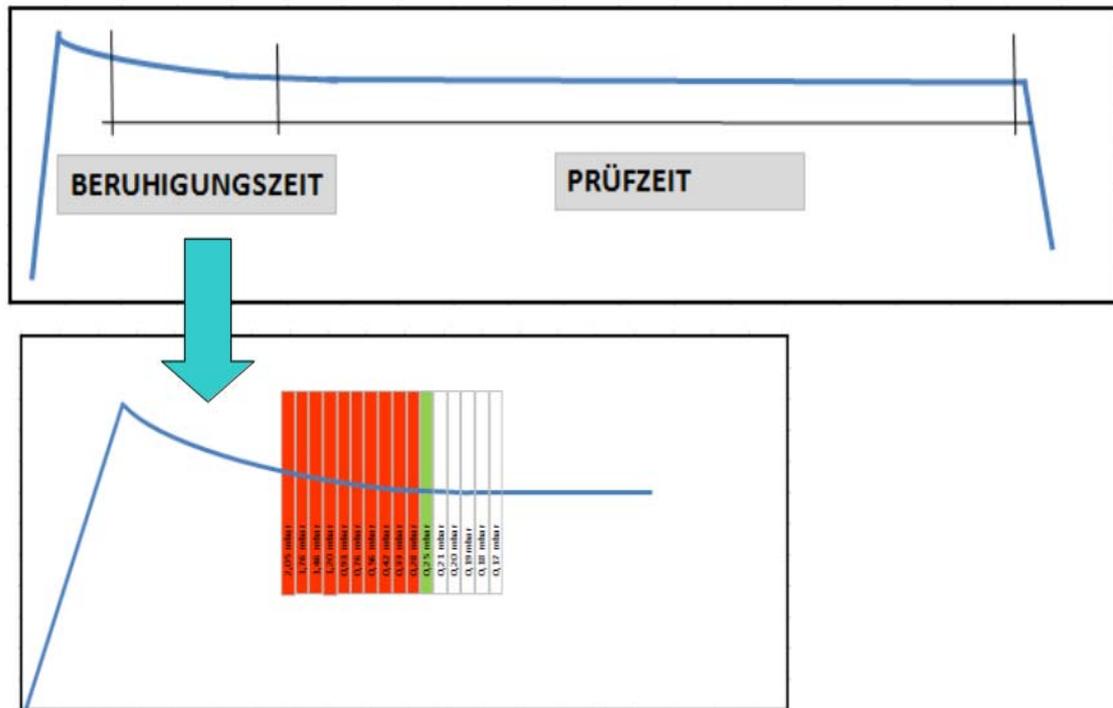


Abbildung 17.: Messung in der Beruhigungszeit (HOFER, 2010)

Mit den durchgeführten Versuchen soll eine Grundlage für den anzubringenden Druck gefunden werden und auch nachgewiesen werden, dass es nur mit der Beruhigungszeit praktisch möglich ist, eine Aussage über die Dichtheit der Haltung zu treffen. In den Versuchsdurchläufen werden die Zeit mit der der Druck aufgebracht wird und die Leckblende variiert.

5. Ergebnisse

Bei den hier vorgestellten numerischen Ergebnissen der Versuche am Prüfgelände handelt es sich um Mittelwerte von jeweils drei Einzelergebnissen. Die mittlere Stichprobenvarianz beläuft sich bei den Versuchsreihen der Wasserdruckprüfung auf 3,9 %. Bei den Versuchsreihen der Luftdruckprüfung ergab sich eine mittlere Stichprobenvarianz von 8,9 % in der letzten Prüfminute.

5.1 Prüfung mit Wasser

5.1.1 Prüfungen am Werksgelände der Prüf- und Inspektionsstelle Egger

5.1.1.1 Prüfungskriterien

Die untersuchte Prüfmethode mit Wasser ermöglicht es Rohr und Schacht mittels einer einzigen Prüfung auf Dichtheit zu überprüfen. Bisher wurden Rohr und Schacht immer in separaten Vorgängen geprüft. Deshalb werden in den technischen Regelwerken ein Grenzwert für Rohre und ein Grenzwert für Schächte angegeben. Die Grenzwerte sind für Rohre und Schächte unterschiedlich, werden aber beide in Liter pro Quadratmeter Wandfläche angegeben.

Wenn nun die ganze Haltung auf einmal geprüft werden kann, ist ein neues Dichtheitskriterium, welches auf die Kombination Schacht – Rohr adaptiert ist, notwendig. Dadurch, dass beide Grenzwerte der technischen Regelwerke in Liter pro Quadratmeter angegeben sind, wäre es am einfachsten, die dafür vorgesehenen Prüfungskriterien für Rohr und Schacht zu verwenden und die beiden zu kombinieren.

In den Versuchsreihen wurden die Grenzwerte von Schacht (0,3 l/m² und 30 min) und Kanal (0,1 l/m² und 30 min) miteinander kombiniert. Es wurde die Annahme getroffen, dass sich die Gesamtfläche des zu prüfenden Abschnittes zu 75% aus der Haltunginnenwand und zu 15% aus der Schachtinnenwand zusammensetzt.

Berechnung des zulässigen Wasserverlusts [l/m²]:

$$0,75 \times 0,1 + 0,15 \times 0,3 = 0,12$$

Außerdem musste der kombinierte Wert auf die Prüfzeiten von 5 bzw. 2,5 Minuten zurückgerechnet werden. Es ergab sich für die Prüfstrecke am Werksgelände der akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle Egger ein Grenzwert von rund 0,02 l Wasserverlust pro Quadratmeter in 5 Minuten (0,01 l/m² in 2,5 Minuten).

5.1.1.2 Kontrollmessungen

Um den Beweis zu liefern, dass die neue Messmethode korrekte Messergebnisse liefert wurde parallel zu jeder durchgeführten Wasserdruckprüfung mit einem Eintauchkörper eine Kontrollprüfung durchgeführt. Bei der Kontrollprüfung wurde die tatsächliche Wasserverlustmenge ermittelt. Das durch die Leckage austretende Wasser wurde in einem Behälter gesammelt und dann mit Hilfe eines geeichten Messzylinders die Menge bestimmt.



Abbildung 18.: Bestimmung der ausgetretenen Wassermenge mittels Messzylinder

Durch die Kontrollmessungen wurde ersichtlich, dass die Ergebnisse der Wasserdruckprüfung mit dem Eintauchkörper häufig um 10% vom tatsächlichen Wasserverlust abweichen (siehe Abbildung 19). Der Grund für diese Abweichung ist die Mittelwertbildung bei der Gewichtsmessung des Eintauchkörpers. Um Erschütterungen oder Schwankungen des Eintauchkörpers zu kompensieren, wird alle 15 Sekunden ein Mittelwert gebildet. Wenn aber der Wasserspiegel in den letzten 15 Sekunden sinkt, ist nicht automatisch der letzte Wert das Ergebnis der Mittelwertbildung. Jede Sekunde wird eine Messung gemacht. Wenn zum Beispiel in den ersten 10 Sekunden 14 g gemessen wird und in den letzten 5 Sekunden die Waage durch den stetig sinkenden Wasserspiegel auf 15 g springt wird durch die Mittelwertbildung als Ergebnis nicht 15 g, sondern noch immer 14 g angezeigt.

Aufgrund der konstanten Pegelveränderung wird der nicht berücksichtigte letzte Wert der Messung, für diese Arbeit mit der Addition um den Korrekturfaktor 10 % mathematisch berichtigt. An dem Problem wird bereits gearbeitet. (EGGER H., 2011a)

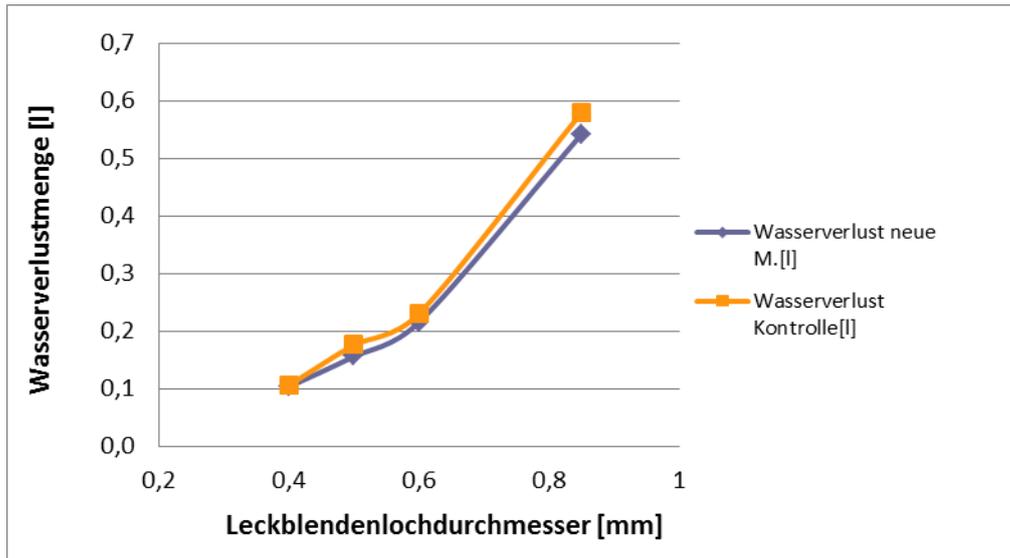


Abbildung 19: Gemessener Wasserverlust mit neuer Methode und Kontrollmessung

5.1.1.3 Variation der Rahmenbedingungen

In den Versuchsdurchläufen am Werksgelände der akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle Egger wurden Variationen bei der Leckblende, der Wassersäule und der Prüfzeit vorgenommen.

- *Variation der Leckblende*

Es wurden Wasserdichtheitsprüfungen mit vier unterschiedlichen Leckblenden durchgeführt. Die Leckblenden hatten einen Lochdurchmesser von 0,4 mm; 0,5 mm; 0,6 mm und 0,85 mm. Die Leckblendenlochdurchmesser wurden so gewählt, dass der kritische Wasserverlust nach ÖNORM B 2503 mit den jeweiligen Leckblenden über- und unterschritten wird.

Der kombinierte Grenzwert fällt in jeder Versuchsreihe in den Bereich zwischen die Leckblendenlochdurchmesser von 0,6 mm und 0,8 mm. In den Abbildungen 20 bis 23 ist ersichtlich, dass die kritische Leckfläche näher beim Lochdurchmesser mit 0,6 mm liegt. Wobei man hier auf einen Unterschied hinweisen muss, der durch die Variation der Wassersäule zustande kommt. Bei einem Einstau von 1 m über erster Schachtfuge liegt der kritische Bereich deutlich näher an der Leckfläche mit 0,6 mm Lochdurchmesser als bei einer Einstauhöhe von 0,3 m über erster Schachtfuge. Das liegt daran, dass durch die höhere Wassersäule der Druck auf das in der Haltung befindliche Wasser erhöht wird. In Folge fließt mehr Wasser durch die Leckfläche.

Im Vergleich zu den Ergebnissen bei den Versuchsdurchläufen von HARING (2001) wird hier durch die Kombination von Rohr und Schacht ein abgeschwächter Grenzwert genommen und somit entspricht der Durchmesser der kritischen Leckfläche nicht mehr 0,52 mm sondern er befindet sich im Bereich zwischen 0,6 mm und 0,8 mm.

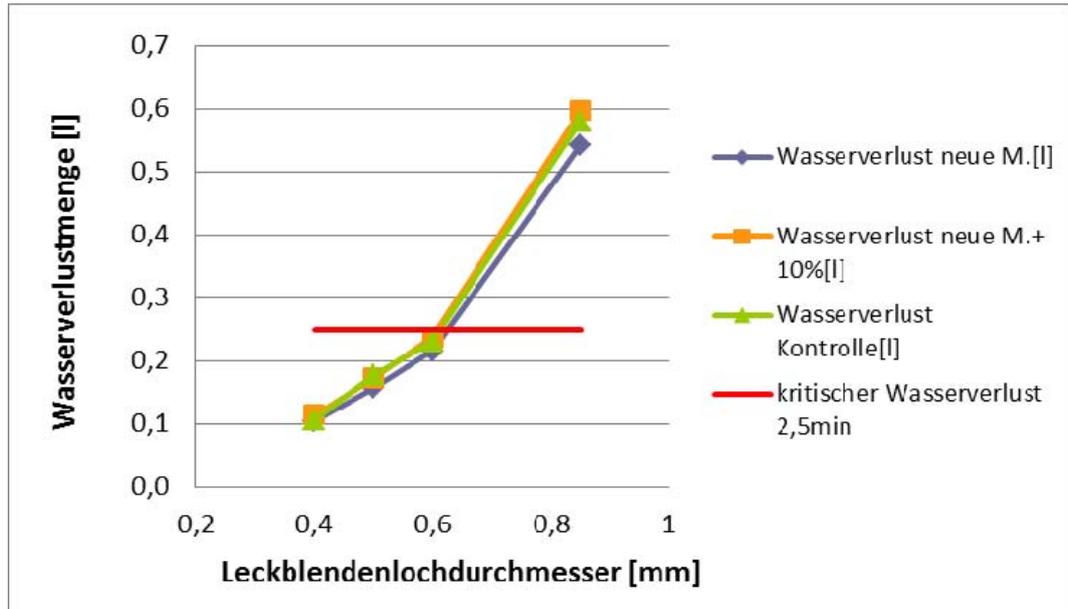


Abbildung 20.: Wasserverlust bei 1m Wassersäule über erster Schachtfuge und 2,5 min Prüfzeit

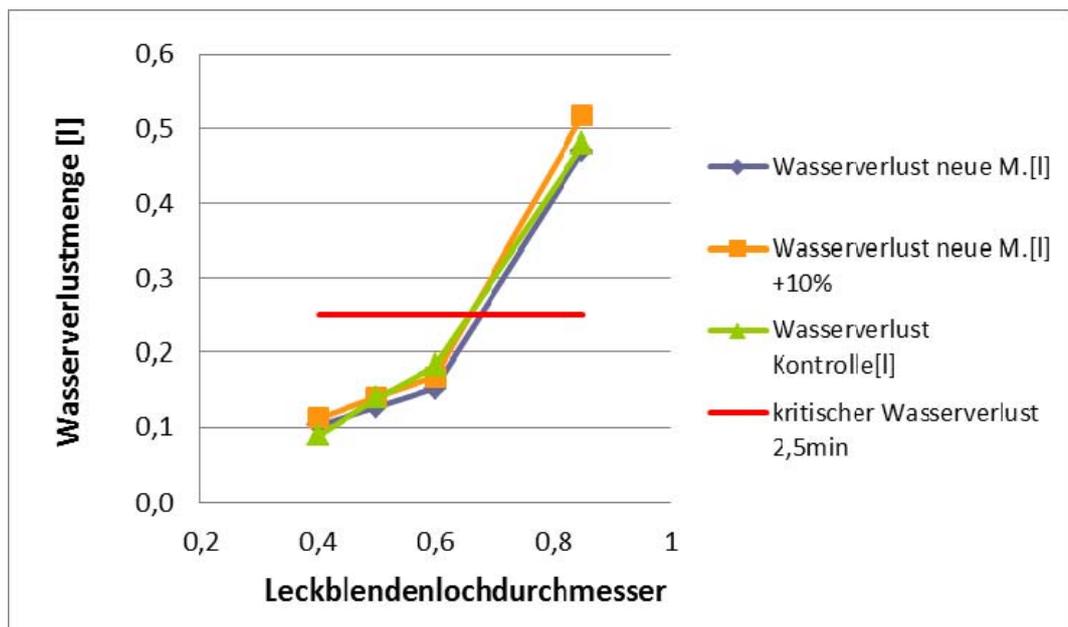


Abbildung 21.: Wasserverlust bei 0,3 m Wassersäule über erster Schachtfuge und 2,5min. Prüfzeit

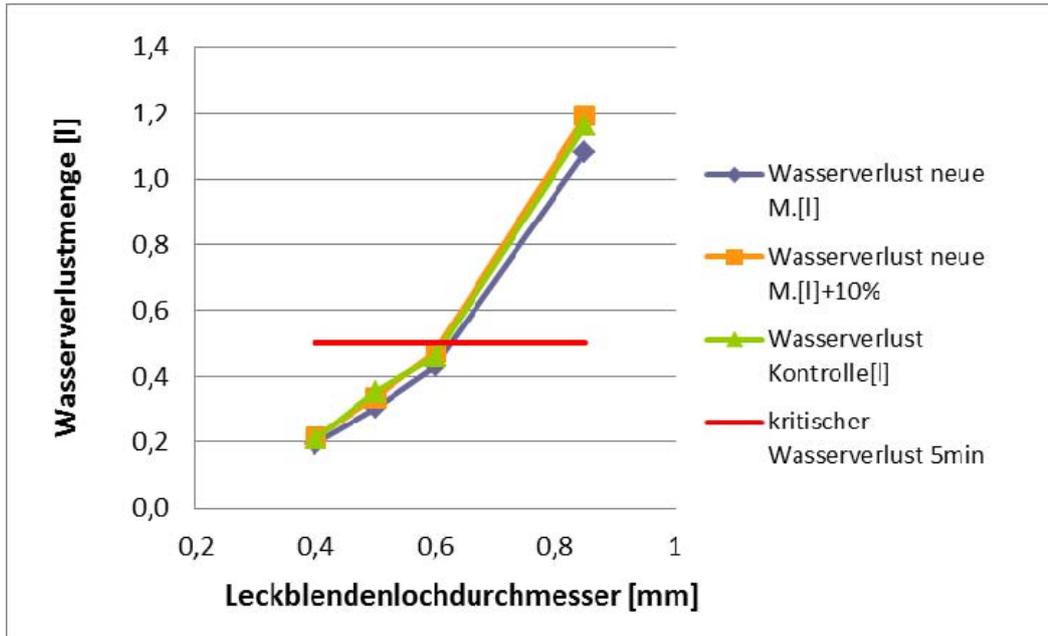


Abbildung 22.: Wasserverlust bei 1m Wassersäule über erster Schachtfuge und 5 min Prüfzeit

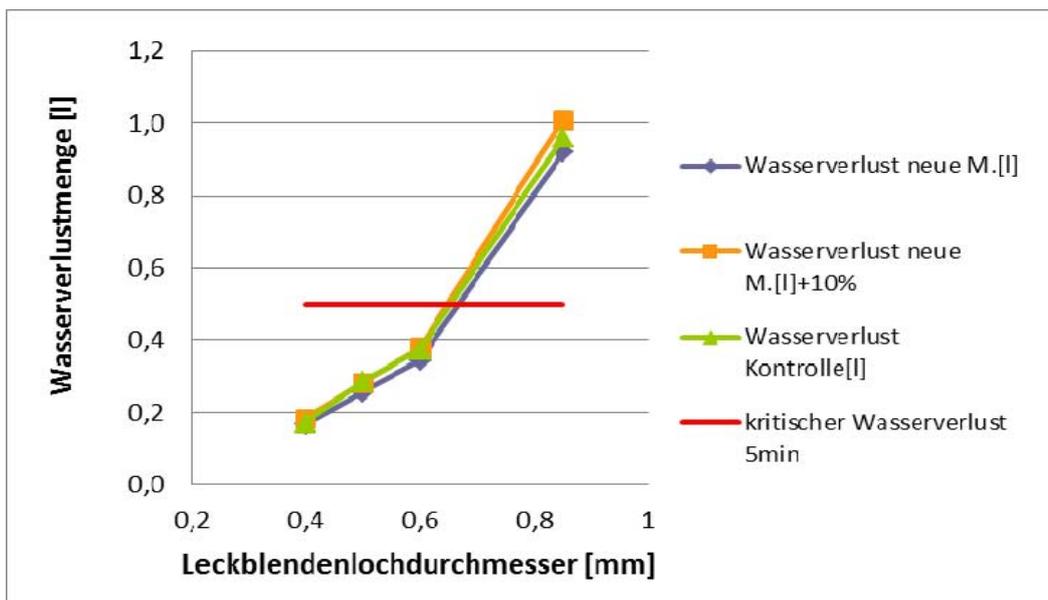


Abbildung 23.: Wasserverlust bei 0,3 m Wassersäule über erster Schachtfuge und 5min Prüfzeit

Bei allen vier Grafiken kann man deutlich erkennen, dass der Wasserverlust bei dem Leckblendenlochdurchmesser von 0,6 mm einen Knick aufweist ausgelöst von dem Wasserverlust bei der Leckblende mit dem Lochdurchmesser 0,85 mm.

- *Variation der Einstauhöhe*

Die Versuche wurden mit jeweils zwei verschiedenen Einstauhöhen durchgeführt. Die Prüfungsstrecke wurde einmal bis 0,3 m über erster Schachtfuge gefüllt und einmal bis 1 m über erster Schachtfuge.

Bei 1 m Wassersäule wirkt ein Druck von rund 15 kPa (150 mbar) auf das System, bei 0,3 m ein Druck von rund 8 kPa (80 mbar). In der ÖNORM B2503 darf der Wasserdruck bei Dichtheitsprüfungen am tiefsten Punkt maximal 50 kPa (500 mbar) betragen und am höchsten Punkt der Messung muss er mindestens 10 kPa (100 mbar) aufweisen. Diese Vorgabe gilt allerdings nur für Dichtheitsprüfungen bei Rohren. Bei der Versuchsdurchführung mit einer Wassersäule von 0,3 m über erster Schachtfuge als auch bei der Durchführung mit 1 m über erster Schachtfuge werden die 10 kPa (100 mbar) am Höchstpunkt der Messung aus praktischen Gründen nicht eingehalten. Je weniger Wasser im Schacht aufgestaut werden muss, desto mehr Zeit und Kosten werden eingespart. Um bei der neuen Methode mit Eintauchkörper trotzdem ÖNORM- konform zu sein, müsste theoretisch der zulässige Wasserverlust vermindert werden.

Mit der Variation der Wassersäule soll dargestellt werden wie sich eine Druckerhöhung auf den tatsächlichen Wasserverlust auswirkt.

In der Abbildung 24 und in der Tabelle 7 wird deutlich sichtbar, dass je größer die Leckfläche ist, desto größer ist der Unterschied des absoluten Wasserverlustes bei unterschiedlicher Wassersäule.

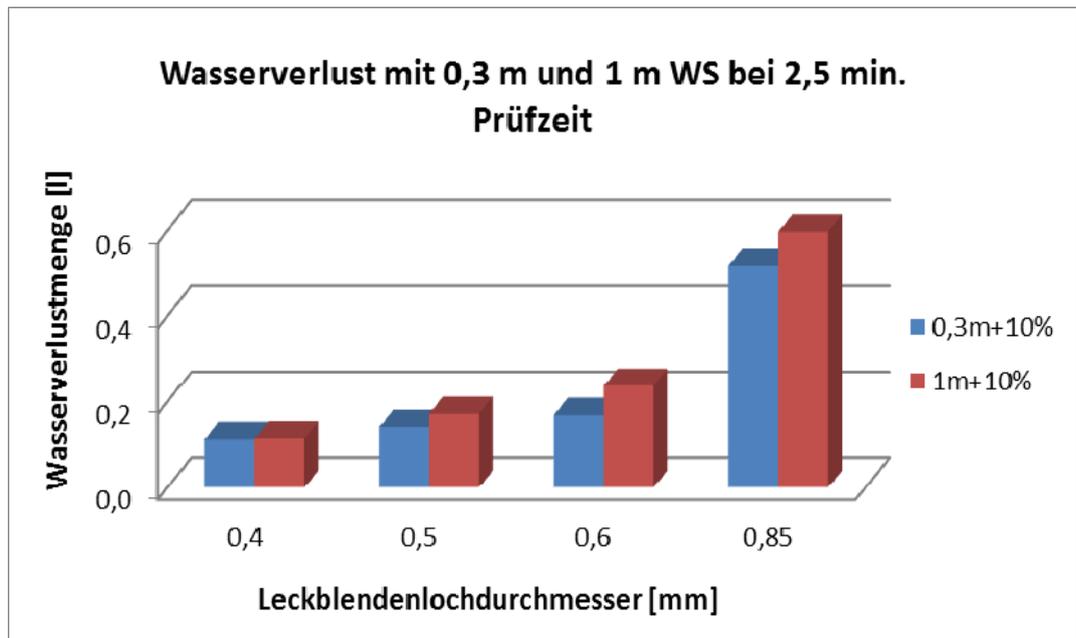


Abbildung 24.: Vergleich des Wasserverlustes bei einer Wassersäule von 0,3 m und 1 m bei 2,5 min Prüfzeit

Tabelle 7: Vergleich des Wasserverlustes bei einer Wassersäule von 0,3 m und 1 m bei 2,5 min Prüfzeit

Prüfzeit 2,5 min

Wassersäule über erster Fuge	Wasserverlust [l]		Δ Wasserverlust [l]	Δ Wasserverlust [%]
	0,3m+10%	1m+10%		
Durchmesser- Leckblende [mm]				
0,4	0,113	0,114	0,001	1,3
0,5	0,140	0,172	0,031	22,2
0,6	0,168	0,237	0,069	41,0
0,85	0,518	0,597	0,078	15,1

Im Vergleich zu den Prüfungen mit 2,5 min Prüfzeit wirkt sich die unterschiedliche Wassersäule bei den Versuchen mit 5 min Prüfzeit stärker aus (siehe Abbildung 25 und Tabelle 8). Hier ergibt sich bei einer Leckblende mit dem Lochdurchmesser von 0,85 mm einen Unterschied von 0,180 l in 5 min. Insgesamt wäre der zulässige Wasserverlust der Versuchsstrecke bei 5 min rund 1,74 l. Ein Unterschied von 0,7 m in der Wassersäule würde ein Delta von circa 10% des zulässigen Wasserverlustes bedeuten.

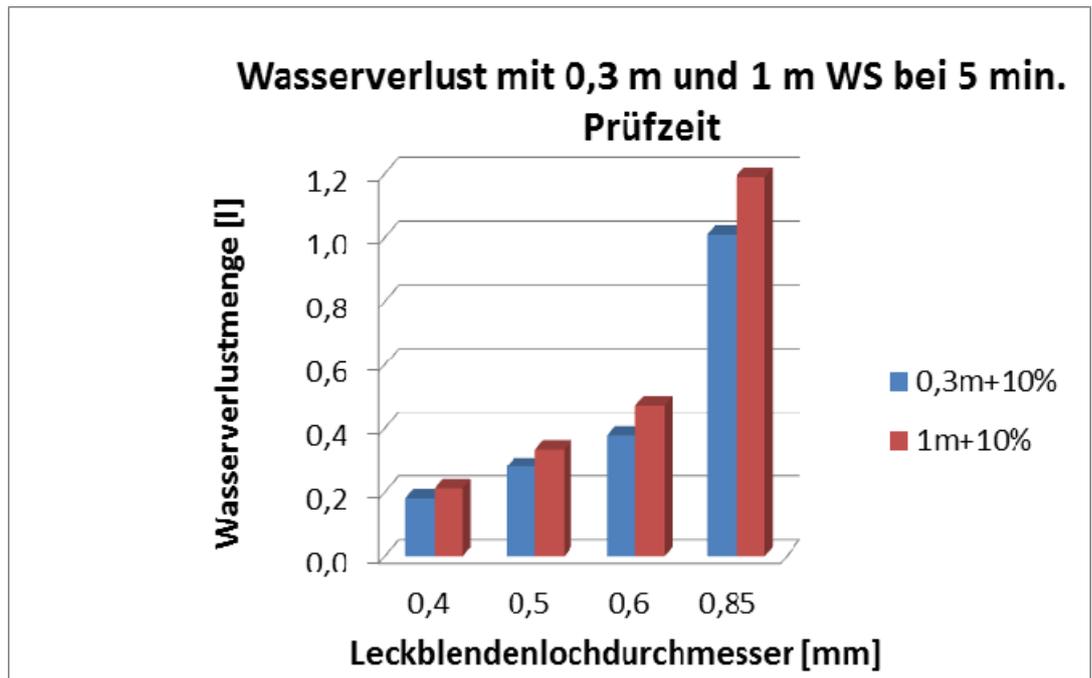


Abbildung 25.: Vergleich des Wasserverlustes bei einer Wassersäule von 0,3 m und 1 m bei 5 min Prüfzeit

Tabelle 8: Vergleich des Wasserverlustes bei einer Wassersäule von 0,3 m und 1 m bei 5 min Prüfzeit

Prüfzeit 5 min

Wassersäule über erster Fuge Durchmesser- Leckblende [mm]	Wasserverlust [l]		Δ Wasserverlust [l]	Δ Wasserverlust [%]
	0,3m+10%	1m+10%		
0,4	0,182	0,213	0,030	16,7
0,5	0,281	0,335	0,054	19,3
0,6	0,378	0,474	0,095	25,2
0,85	1,010	1,190	0,180	17,9

- Variation der Prüfzeit

Die Prüfzeit ist bei der Druckprüfung ein Faktor dessen Minimierung angestrebt wird. Durch eine verkürzte Prüfzeit ergeben sich einige Vorteile. Je kürzer die Prüfzeit wird, desto kleiner wird der Zeitaufwand und desto mehr Kosten werden reduziert. Zusätzlich wird bei Auftreten eines Rückstaus mit potentieller Gefährdung der Kellerräume durch eine Verkürzung der Prüfzeit die Wahrscheinlichkeit eines solchen minimiert. Es ergibt sich nun die Frage ob eine Verkürzung der Prüfzeit trotzdem zu aussagekräftigen Ergebnissen führt. In den nachfolgenden Abbildungen 26 und 27 werden die Ergebnisse der Testreihe mit einer Prüfzeit von 5 min den Ergebnissen der Testreihe mit einer Prüfzeit von 2,5 Minuten entgegengestellt.

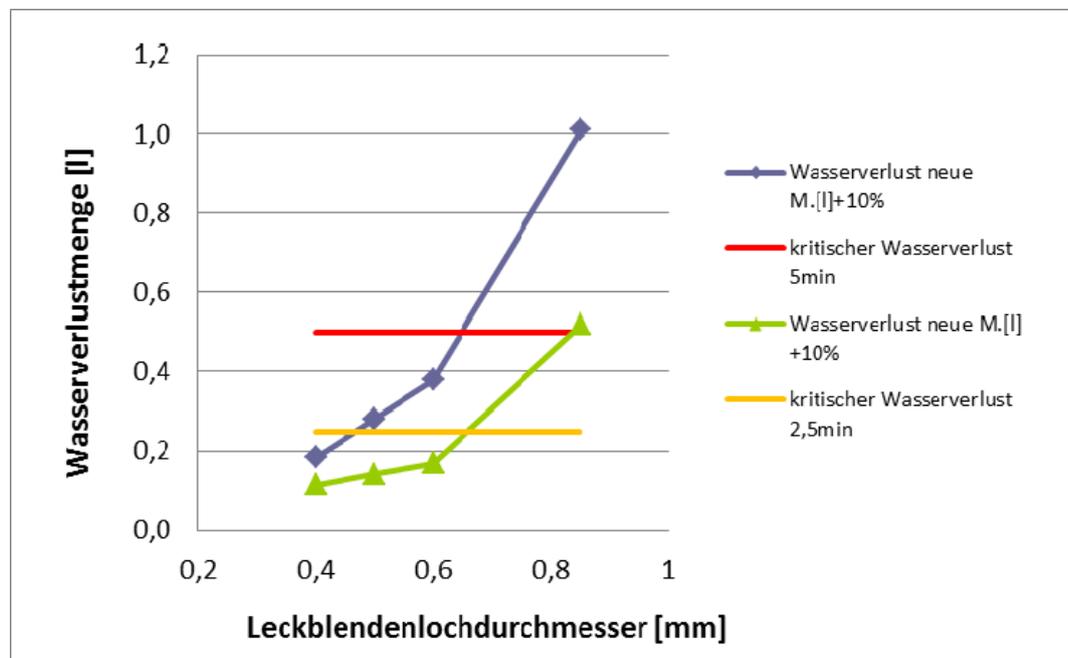


Abbildung 26.: Gegenüberstellung der Prüfzeit mit 0,3 m Einstau über erster Schachtfuge
Bei den Versuchen mit der halben Prüfzeit muss natürlich auch der kritische Wasserverlust halbiert werden. Unter Berücksichtigung des veränderten kritischen

Grenzwertes bekommt man bei einer Prüfzeit von 5 min als auch bei einer Prüfzeit von 2,5 min die gleichen Ergebnisse.

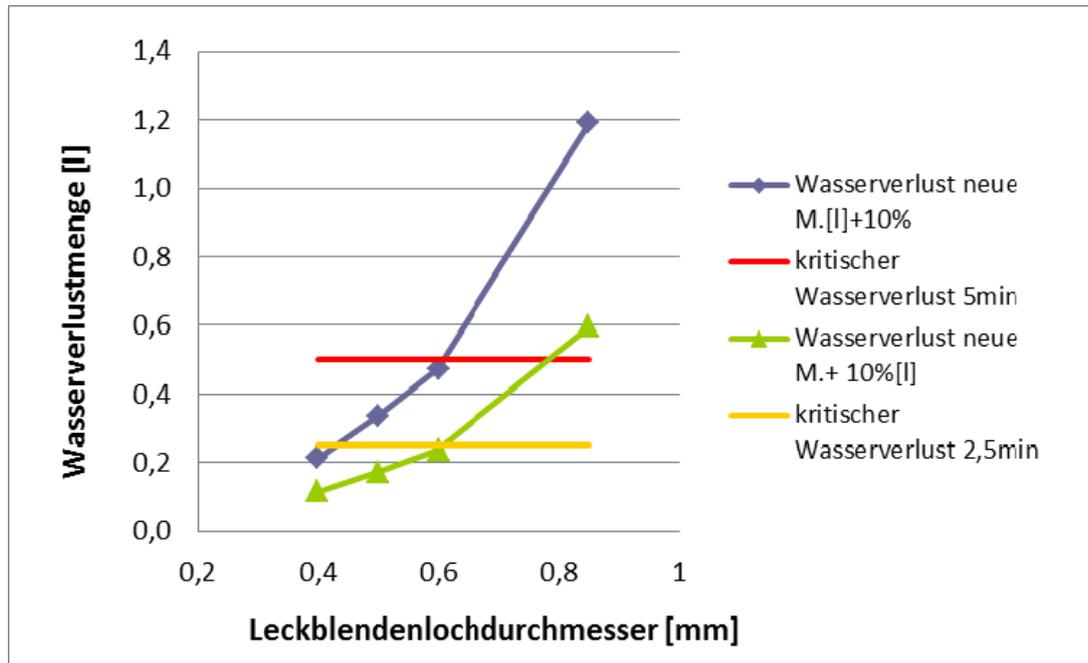


Abbildung 27.: Gegenüberstellung der Prüfzeit mit 1 m Einstauhöhe über erster Schachtfuge

Man muss allerdings darauf hinweisen, dass bei der Prüfung mit 2,5 min Messfehler stärker ins Gewicht fallen als bei Versuchen mit längerer Prüfzeit. Wie schon vorher erwähnt, kann es wegen der Mittelung der Messwerte zu einem Messfehler kommen. Dieser Messfehler ist bei einer Prüfzeit von 2,5 min deutlich zu sehen. Es wird daran gearbeitet, den Messfehler, der durch die Methode der Mittelwertbildung entsteht, zu eliminieren.

5.1.1.4 Referenzprüfung angelehnt an die Prüfung nach ÖNORM B 2503

Um die neue Methode der Wasserprüfung mit Referenzprüfungen vergleichen zu können, wurden Prüfungen in Anlehnung an die ÖNORM B 2503 durchgeführt. Bei diesen Prüfungen betrug die Prüfzeit 30 min und der Prüfdruck wurde am Haltungstiefpunkt mit 50 kPa (500 mbar) angesetzt.

Der Vergleich dieser Prüfung mit der Wasserdruckprüfung nach neuer Methode ist, durch die komplett anderen Rahmenbedingungen wie zum Beispiel den Prüfdruck, komplizierter. Als kritischer Wasserverlust wurde der kombinierte Grenzwert der neuen Prüfungsmethode genommen und für eine Prüfzeit von 30 min umgerechnet.

In Abbildung 28 kann man erkennen, dass bei der Prüfung nach ÖNORM B 2503 der kritische Bereich zwischen den Leckblendenlochdurchmesser von 0,5 und 0,6 mm liegt. Bei der neuen Prüfungsmethode liegt er jedoch fast bei dem Leckblendenlochdurchmesser von 0,6 mm. Dieser Unterschied kann mit dem erhöhten Prüfdruck bei einer längeren Prüfzeit erklärt werden.

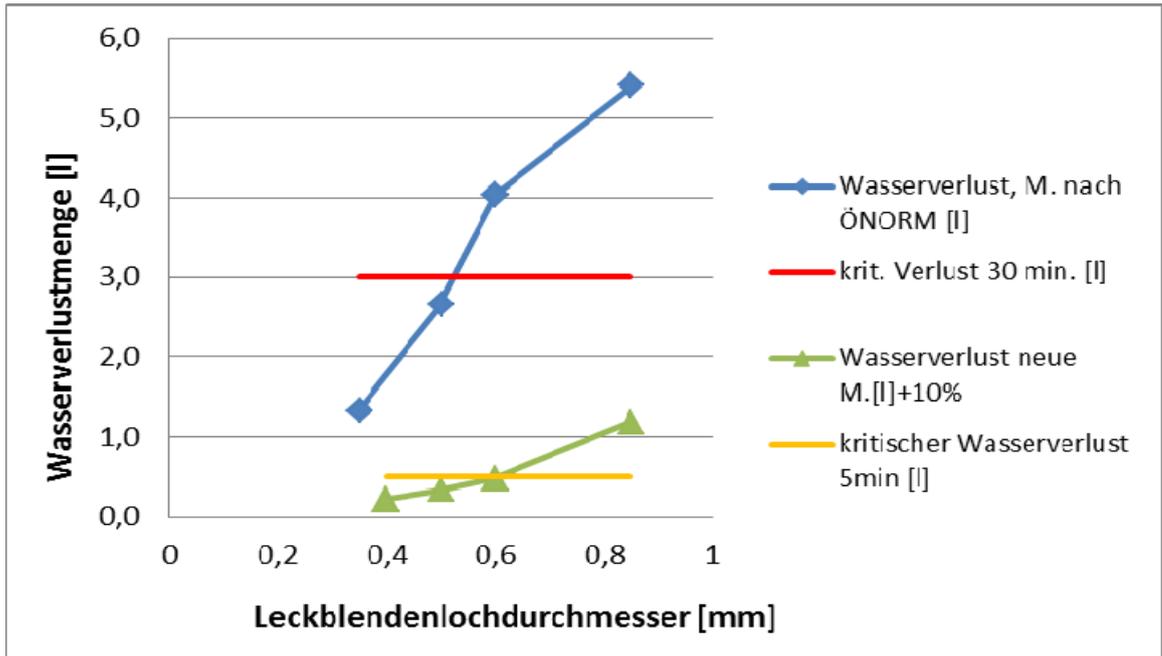


Abbildung 28.: Vergleich des Wasserverlust zwischen der Prüfung nach ÖNORM B 2503 und der neuen Prüfungsmethode

5.1.2 Rechnungen zur Wasserdichtheitsprüfung

Die Grundlage der Berechnungen bildet das in Kapitel 3.2.2 erklärte Toricelli Theorem. Zum einen wurden Berechnungen durchgeführt, um die Auswirkung von unterschiedlichen Drücken auf den Wasserverlust darzustellen, zum anderen wurde die Verlustmenge unter den Rahmenbedingungen der durchgeführten Wasserdichtheitsprüfungen ermittelt.

Grundlage der Berechnung:

$$W = t \cdot A_{\text{eff}} \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{1/2} / l$$

$$A_{\text{eff}} = A \cdot \mu$$

- W... Wasserverlust
- A... Austrittsfläche
- A_{eff}... effektive Austrittsfläche
- h... Wasserspiegelhöhe
- l... Länge
- μ... Ausflusskoeffizient
- t... Zeit

5.1.2.1 Zusammenhang Druck- Wasserverlust

Anfangs musste die kritische Leckfläche über den zulässigen Wasserverlust nach den technischen Regelwerken berechnet werden.

$$W_{\text{zul.}} = 0,06 \text{ l/m}^2 = 0,06 \cdot 10^{-3}$$

Ergebnisse

g	9,81 m/s ²	
h	1 m	nach Norm max. 5m WS, min. 1m WS
l	23 m	
μ	0,62	zwischen gut gerundet und scharfkantig
t	1800 s	

$$A = W \cdot l / (t \cdot \mu \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{1/2})$$

$$A = 2,79168E-07 \text{ m}^2$$

$$A = d^2 \cdot \pi / 4$$

$$d = 0,000596194 \text{ m}$$

$$d = (4 \cdot A / \pi)^{1/2}$$

$$d = 0,60 \text{ mm} \quad \text{Grenzdurchmesser}$$

$$w_{\text{zul.}} = 0,06 \text{ l/m}^2 = 0,06 \cdot 10^{-3}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$h = 5 \text{ m} \quad \text{nach Norm max. 5m WS, min. 1m WS}$$

$$l = 23 \text{ m}$$

$$\mu = 0,62 \quad \text{zwischen gut gerundet und scharfkantig}$$

$$t = 1800 \text{ s}$$

$$A = W \cdot l / (t \cdot \mu \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{1/2})$$

$$A = 1,24848E-07 \text{ m}^2$$

$$A = d^2 \cdot \pi / 4$$

$$d = 0,000398699 \text{ m}$$

$$d = (4 \cdot A / \pi)^{1/2}$$

$$d = 0,40 \text{ mm} \quad \text{Grenzdurchmesser}$$

Dadurch, dass in den ÖNORMen ein gewisser Spielraum bezüglich des herrschenden Druckes auf das zu prüfende System eingeräumt wird, kann kein exakter Wert für die kritische Fläche berechnet werden; es können nur die Grenzen bestimmt werden. Für folgende Berechnungen ist aber ein exakter Wert notwendig. Als kritischer Leckdurchmesser wurde 0,5 mm gewählt.

Es wird nun der Wasserverlust für die kritische Leckfläche bei unterschiedlichen Drücken berechnet und in Abbildung 29 der Zusammenhang dargestellt.

Tabelle 9: Berechnung der Wasserverluste bei unterschiedlichen Wassers

gew. $d_{gr} = 0,5 \text{ mm} = 0,0005 \text{ m}$
 gew. $A_{gr} = 1,9635E-07 \text{ m}^2$

$$W = t \cdot A_{eff} \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{1/2} / l$$

$h \text{ [m]}$	zul. $W \text{ [m}^3\text{]}$	zul. $W \text{ [l]}$
0,1	2,22415E-06	0,00
0,2	3,14543E-06	0,00
0,3	3,85234E-06	0,00
0,4	4,4483E-06	0,00
0,5	4,97336E-06	0,00
0,6	5,44804E-06	0,01
0,7	5,88455E-06	0,01
0,8	6,29085E-06	0,01
0,9	6,67246E-06	0,01
1	7,03339E-06	0,01
1,5	8,6141E-06	0,01
2	9,94671E-06	0,01
3	1,21822E-05	0,01
4	1,40668E-05	0,01
5	1,57271E-05	0,02

Die Versuche wurden mit einer Wassersäule mit 0,3 m und 1 m über erster Schachtfuge durchgeführt. Das entspricht einem Druck von rund 8 kPa (80 mbar) und 15 kPa (150 mbar) auf die Leckblende. Durch diese Berechnung sollte die Auswirkung der Veränderung des Druckes auf den Wasserverlust dargestellt werden.

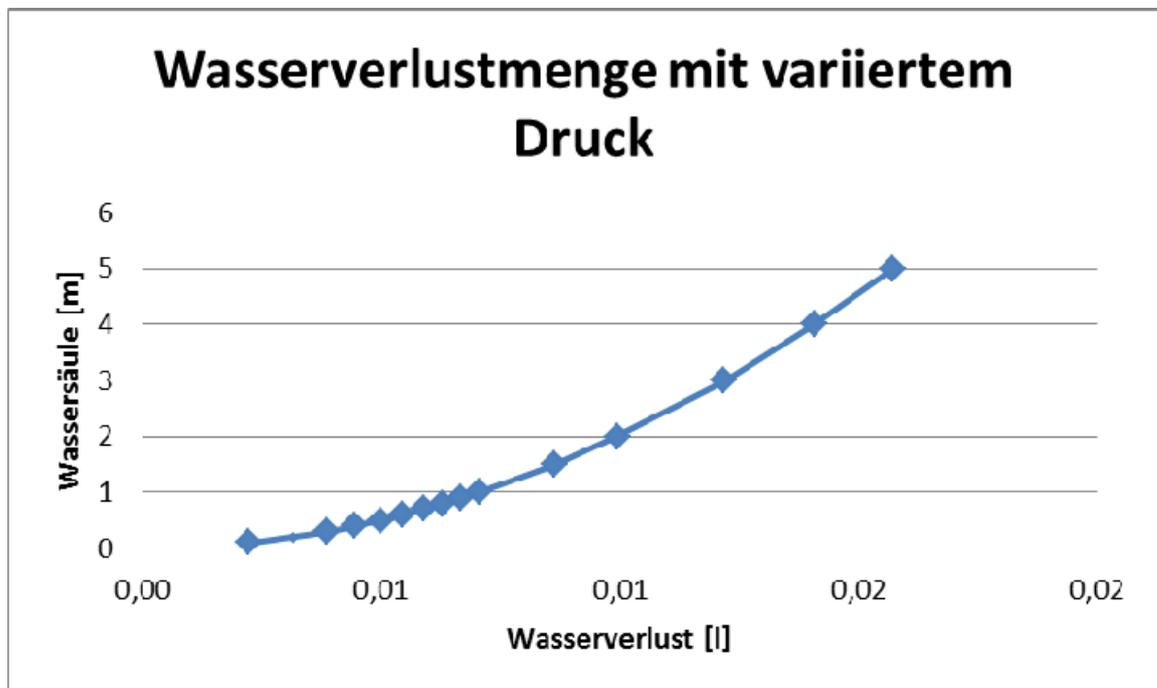


Abbildung 29.: Wasserverlustmenge mit variiertem Druck

Der Unterschied des Wasserverlustes bei 8 kPa (80 mbar) und 15 kPa (150 mbar) liegt hinter der zweiten Kommastelle und ist somit vernachlässigbar klein. Selbst zwischen 1 m und 5 m Wassersäule beträgt der Unterschied nur 0,01 l in 5 min.

5.1.2.2 Wasserverlustberechnungen nach Versuchsvorgabe

Für diese Berechnungen muss ein zusätzlicher Faktor β eingefügt werden um die permanente Diffusion durch die Betonschachtwand zu berücksichtigen. Der Faktor wurde mit 0,06 l in 5 min. angenommen (KAMMERER, 2011). Der Ausflussbeiwert μ kann über die Versuchsergebnisse festgelegt werden und somit die zwei Kurven einander angepasst werden.

Tabelle 10: Berechnung der Wasserverluste bei unterschiedlichen Leckblenden

$$W = t \cdot A_{\text{eff}} \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{1/2} / l + \beta$$

$$A = d^2 \cdot \pi / 4$$

d	0,4	0,5	0,6	0,85mm
g	9,81m/s ²			
h	1,5m	0,8m		
l	23m			
μ	0,8	veränderbar		
t	300s			
A _{Innen}	27,2m ²			
β	0,06l/5 min.	Wasserdiffusion durch Schachtwand		

d [mm]	A [m ²]	A _{eff} [m ²]	W _{0,3} [m ³ /m ²]	W _{0,3} [l/m ²]	W _{0,3} [l]
0,4	1,25664E-07	1,0053E-07	5,19503E-06	0,0052	0,20
0,5	1,9635E-07	1,5708E-07	8,11723E-06	0,0081	0,28
0,6	2,82743E-07	2,2619E-07	1,16888E-05	0,0117	0,38
0,85	5,6745E-07	4,5396E-07	2,34588E-05	0,0235	0,70

d [mm]	A [m ²]	A _{eff} [m ²]	W ₁ [m ³ /m ²]	W ₁ [l/m ²]	W ₁ [l]
0,4	1,25664E-07	1,0053E-07	7,11358E-06	0,0071	0,22
0,5	1,9635E-07	1,5708E-07	1,1115E-05	0,0111	0,32
0,6	2,82743E-07	2,2619E-07	1,60056E-05	0,0160	0,43
0,85	5,6745E-07	4,5396E-07	3,21223E-05	0,0321	0,80

d [mm]	A [mm ²]	Berechnung		Messung	
		$W_{0,3B}$ [l]	W_{1B} [l]	$W_{0,3M}$ [l]	W_{1M} [l]
0,4	0,000125664	0,20	0,22	0,18	0,21
0,5	0,00019635	0,28	0,32	0,28	0,34
0,6	0,000282743	0,38	0,43	0,38	0,47
0,85	0,00056745	0,70	0,80	1,01	1,19

Die Berechnungen zeigen das Problem, dass ab dem Leckblendenlochdurchmesser von 0,85 mm die Ergebnisse der Versuchsdurchführung mit den theoretischen Berechnungen nicht mehr übereinstimmen. In Abbildung 30 ist die Abweichung noch deutlicher zu sehen.

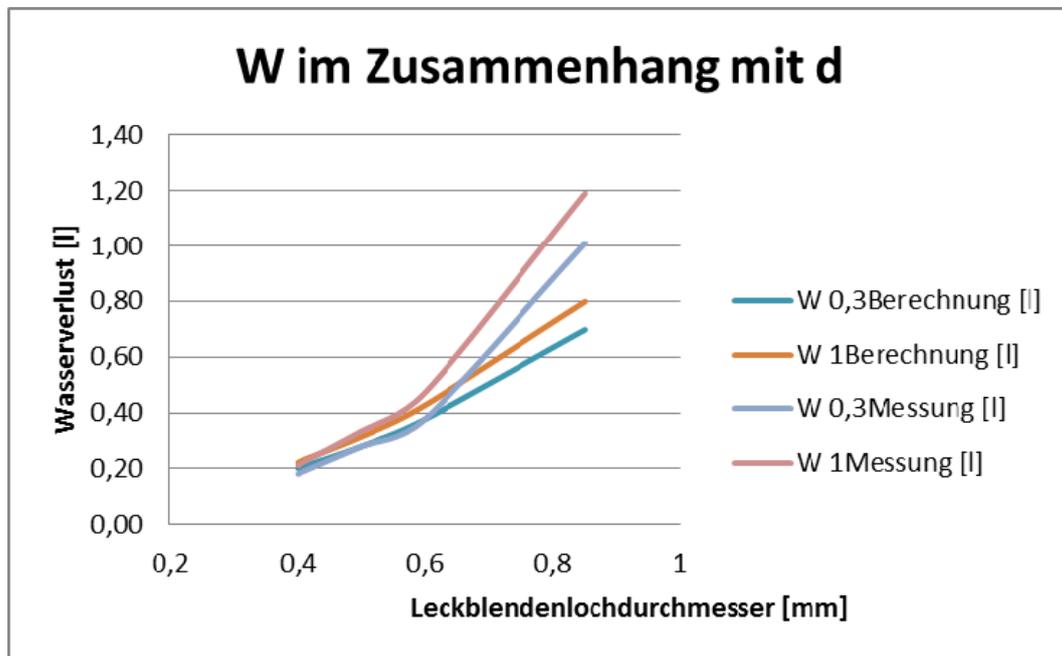


Abbildung 30.: Vergleich der Ergebnisse zwischen Berechnung ($W_{0,3}$ Berechnung, W_1 Berechnung) und Versuchsdurchführung ($W_{0,3}$ Messung, W_1 Messung)

Im Bereich der kritischen Wasserverluste (Grenze zwischen dicht und undicht) stimmen die Messungen und Berechnungen gut überein. Im undichten Bereich ist man mit den Messungen auf der sicheren Seite.

Die Ursachen für den Knick nach oben könnten in weiterführenden Untersuchungen erforscht werden.

5.1.3 Prüfungen im öffentlichen Kanalnetz

Um mehr Informationen über die praktische Anwendbarkeit der neuen Messmethode zu erlangen, wurden Versuche im öffentlichen Kanalnetz durchgeführt.

Die Auswahl des Stranges wurde nach folgenden Kriterien getroffen. Die Bedingungen waren gut, es bestand keine Gefahr durch Einstau, auf Grund des geringen Verkehrsaufkommens war keine aufwendige Sicherung oder Umleitung notwendig und die Haltungen befanden sich am Ende eines Entwässerungssystem eines ganzen Siedlungsgebietes kurz vor einem größeren Sammelkanal. Wegen letzterem wurde die

Annahme getroffen mit dem vorhandenen abfließenden Abwasser die zu prüfende Haltung füllen zu können. Es wurden Leitungen aus Steinzeug in Leitring gewählt.

Der erste Versuch schlug jedoch fehl weil zu wenig Abwasser vorhanden war. Der zweite Versuchsdurchlauf wurde in Kombination mit einem Tankwagen, der 5 m³ Wasser fassen konnte, durchgeführt.

In den Fällen der hier geprüften Haltungen und Schächte war zu wenig Abwasser vorhanden, deshalb war das Durchführen der Dichtheitsprüfungen in Fließrichtung effizienter. Die Prüfungen wurde bei der höchstgelegenen Haltung begonnen und das Füllwasser wurde von dieser Haltung mitgenommen. Bei dieser Vorgangsweise ist es wichtig, vor dem Fluten des nächsten Kanalabschnittes vorher alle Zuleitungen abzudichten und ebenso das Dichtekissen am Ende der zu prüfenden Haltung anzubringen. Wenn das untere Dichtekissen der vorangegangenen Prüfung ausgelassen wird, muss es mittels einer Stange in der Leitung gehalten werden, während das Wasser die nächste Haltung füllt. Nach Füllen der Haltung wird es wieder aufgeblasen und es kann mit der nächsten Prüfung begonnen werden.

Im Fall von zu viel anfallendem Abwasser ist es besser, gegen die Fließrichtung zu arbeiten. Das zum Füllen von Haltung und Schacht verwendete Abwasser kann nach Beendigung der Prüfung ungehindert abfließen. Wenn sich Abwasser schon bis zum nächsten Schacht zurück gestaut hat, kann es nötig sein, auch das obere Dichtekissen auszulassen.

Wie schon oben erwähnt, ist es wichtig, alle Hausanschlüsse und Zubringer mit Dichtekissen zu verschließen. Bei der Versuchsreihe wurde eine Prüfung durchgeführt, ohne einen Hausanschluss abzudichten und eine ohne abgedichteten Zubringer. Beide Male war der Unterschied deutlich sichtbar. Durch die Notwendigkeit des Abdichtens aller Zuflüsse ist die Problematik von „Blindanschlüssen“ auch hier gegeben, da durch den geringsten Zulauf das Ergebnis der Wasserdruckprüfung nach neuer Methode schon verfälscht wäre. Somit ist eine Prüfung bei vorhandenen „Blindanschlüssen“ nur bedingt und unter großem Aufwand möglich.

In der Arbeit von Pollinger (2009) werden, wie schon erwähnte (siehe Kap.3.2.5), die verschiedenen Einstiegsschachtordnung für Hauskanäle bewertet. Wenn man diese Varianten nur im Blickwinkel der Dichtheitsprüfung betrachtet, wäre die Variante 2 optimal. Bei der Variante 2 befindet sich ein Einstiegsschacht an der Grundstücksgrenze und ein Einstiegsschacht bei der Einmündung des Hauskanals in den Sammelkanal. Durch diese Platzierung ist eine gute Zugänglichkeit gegeben. Zusätzlich kann durch den Einstiegsschacht an der Grundstücksgrenze der Hauskanal vom öffentlichen Kanal getrennt werden. Diese Abtrennung wäre zum Beispiel bei einer Dichtheitsprüfung der Hauskanäle notwendig.

Bei Variante 3 befindet sich ein Einstiegsschacht bei der Einmündung des Hauskanals in den Sammelkanal. Diese Variante wäre in Bezug auf die Dichtheitsprüfung die zweitbeste Variante. Sie würde eine gute Zugänglichkeit garantieren und es wären keine „Blindanschlüssen“ vorhanden.

Die Variante 1 wäre für die Dichtheitsprüfung akzeptabel. Hier befinden sich die Einstiegsschächte an der Grundstücksgrenze. Die Einstiegsschächte liegen somit auf Privatgrund und somit wird die Zugänglichkeit der Einstiegsschächte erschwert.

Bei Variante 4 ist eine ökonomisch effiziente Dichtheitsprüfung unmöglich. Alle Abzweigungen zu den Hauskanälen sind nicht mehr über die Einstiegsschächte erreichbar.

Obwohl vom Hausanschluss kein sichtbarer Abwasserzufluss vorhanden war, konnte mittels Eintauchkörper und Waage ein geringer Anstieg des Wasserspiegels verzeichnet

werden. Beim Versuch mit offener Zubringerleitung (Nebensammler) wurde ein wellenartiger Rückstau im Zubringer vom Programm aufgezeichnet (siehe Abbildung 31).

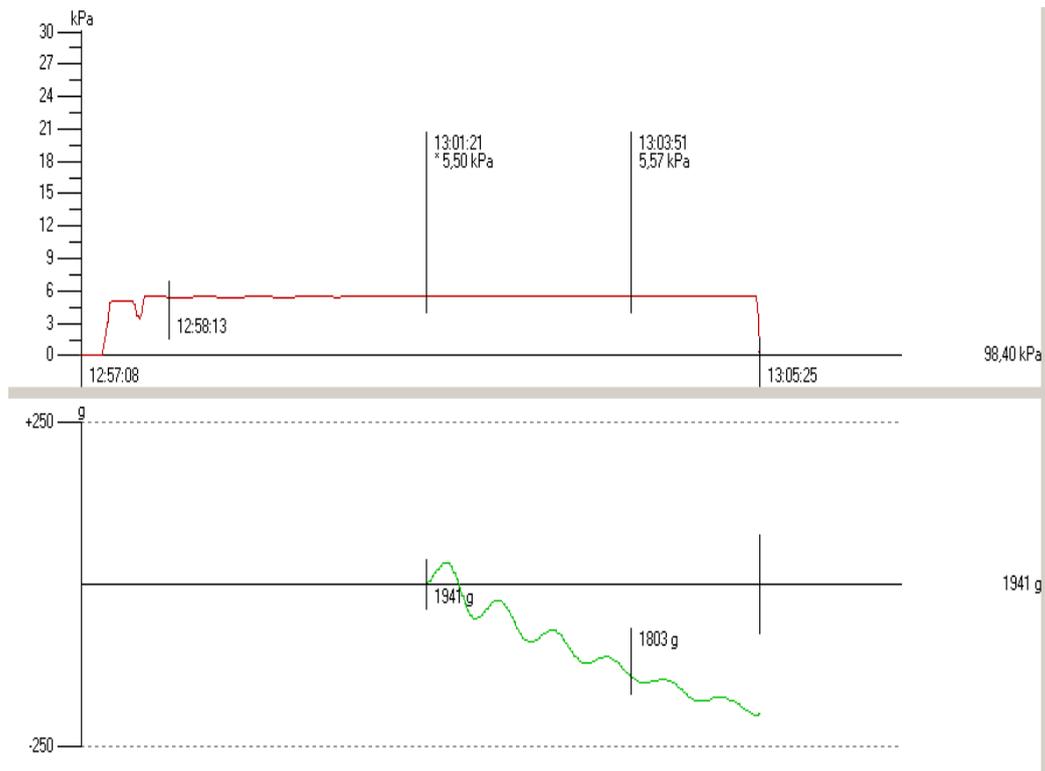


Abbildung 31.: wellenartige Ausbreitung des Rückstaus bei nicht verschlossenen Zubringer, Prüfungsprotokoll 43

Ein Prüfungsabschnitt (Haltung) wurde im öffentlichen Kanalnetz als undicht bewertet. Es wurden drei Prüfungen an dieser Haltung durchgeführt, die unterschiedliche Ergebnisse lieferten (siehe Abbildung 32 bis 34).



Abbildung 32.: Undichter Kanalabschnitt, Prüfungsprotokoll 44

Die erste Prüfung lieferte ein Ergebnis nach dem der Abschnitt als undicht zu bewerten war. Auffällig ist, dass am Anfang der Prüfung ein höherer Wasserverlust auftritt, welcher mit fortschreitender Prüfzeit immer geringer wird. Eine Erklärung für dieses Ergebnis könnte ein vorhandener Grundwasserspiegel auf Höhe des geprüften Abschnittes sein.

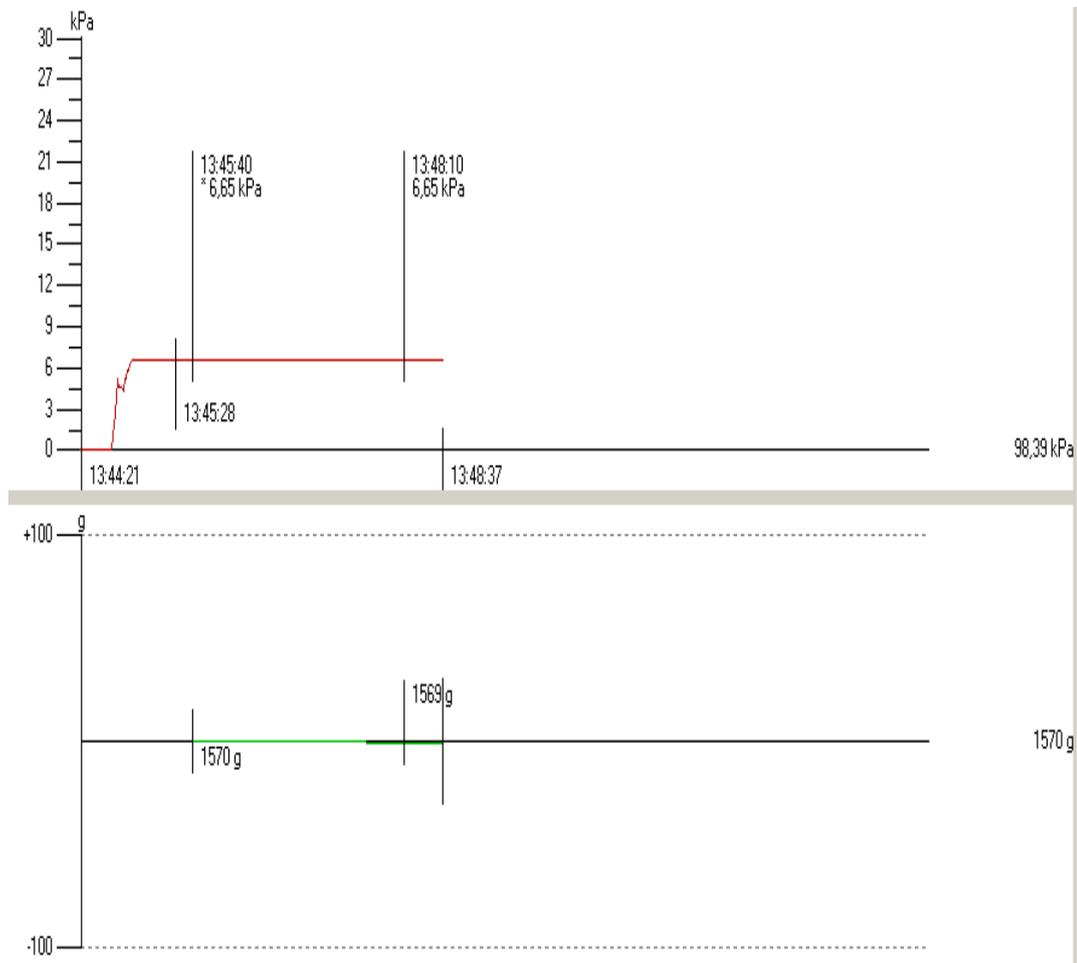


Abbildung 33.: Erste Kontrollprüfung des undichten Kanals, Prüfprotokoll 45

Bei der ersten Kontrollprüfung wurde der Abschnitt als dicht ausgewiesen. Durch den Wasserverlust bei der ersten Dichtheitsprüfung wurde der Wasserspiegel abgesenkt, dadurch wurde weniger Druck auf den zu prüfenden Abschnitt ausgeübt. Der verringerte Druck entsprach dem Druck der vom Grundwasser auf das Rohr ausgeübt wurde. Somit wurde bei der ersten Kontrollprüfung der Abschnitt als dicht ausgewiesen.

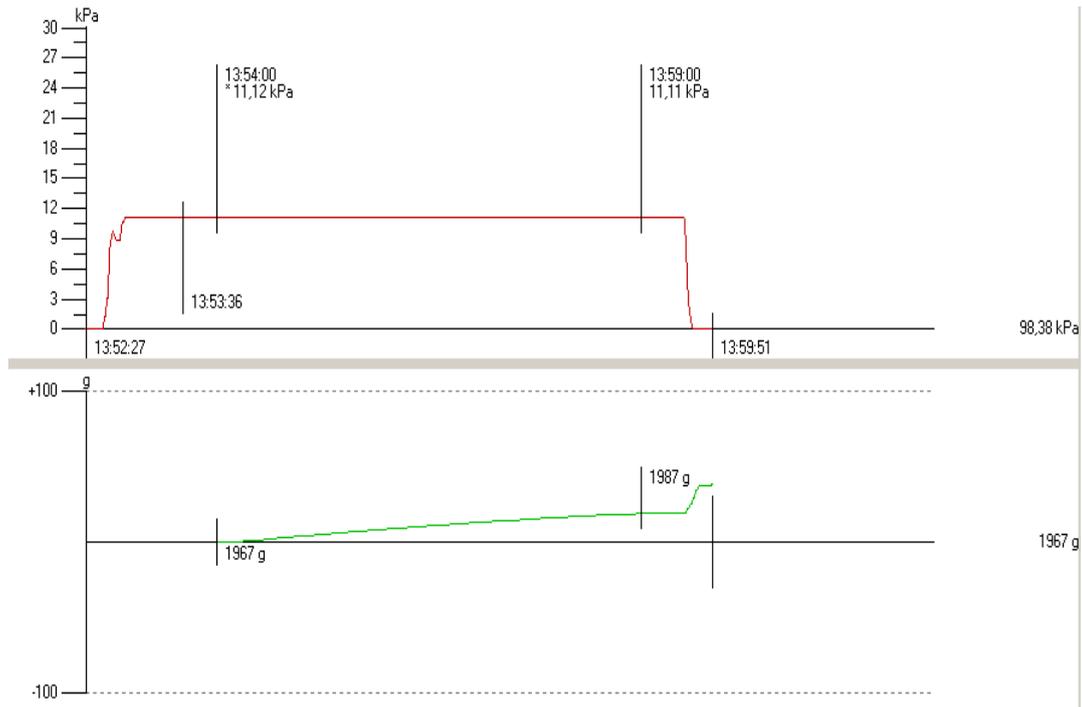


Abbildung 34.: Zweite Kontrollprüfung des undichten Kanals, Prüfprotokoll 46

Deshalb wurde bei der zweiten Kontrollprüfung die Wassersäule um 0,5 m erhöht und bei dieser Dichtheitsprüfung wurde der Kanalabschnitt als undicht bewertet. Die Vermutung, dass der Abschnitt sich im Grundwasserschwankungsbereich befindet, wurde durch die dritte Prüfung mit größerer Einstauhöhe untermauert.

In weiterer Folge wurde der vermeintliche undichte Abschnitt gereinigt und eine TV-Inspektion durchgeführt. Sichtbare Undichtheiten waren nicht zu erkennen bis auf einige Muffen bei denen es zu einer Kalksteinbildung gekommen war, bei denen visuell aber kein Eindringen von Wasser erkennbar war. Die Annahme kann getroffen werden, dass entweder die Muffen schadhaft sind oder der Schacht eine nicht sichtbare Undichtheit aufweist.



Abbildung 35.: Kalksteinbildung im Bereich der Muffen (SAUBERMACHER, 2011)

5.2 Prüfung mit Luft

5.2.1 Prüfkriterien

Das Prinzip der hier beschriebenen Dichtheitsprüfung mit Luft ist seit dem 1. Juli 1998 in den technischen Regelwerken in Österreich verankert. Die Idee, zu der Versuchsreihe durchgeführt wurden, ist eine verkürzte Prüfzeit zu erreichen, indem man versucht Aussagen über die Dichtheit des Kanals schon nach der Beruhigungszeit zu machen.

Bei diesen Versuchsreihen soll die praktische Anwendbarkeit nachgewiesen werden und die Grundlagen zu Prüfkriterien geliefert werden.

In der Praxis treten bei der verkürzten Prüfung mit Luft einige Probleme auf. Es ist äußerst schwer einen exakten Prüfdruck aufzubringen und somit sollte ein Schwankungsbereich angegeben werden. Weiteres bildet sich je nach Schnelligkeit des Einbringens des Druckes die Druckverlustkurve anders aus. Durch den Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur ergeben sich diese Unterschiede. Je schneller der Druck in die Haltung eingebracht wird, umso höher wird die Temperatur und umso länger braucht sie um sich der Kanalwandtemperatur anzupassen. Während sich die Temperatur angleicht sinkt der Druck, bis die Kanalwand und die eingebrachte Luft die gleiche Temperatur haben. Wenn der Druckaufbau allerdings langsam erfolgt, ist die Temperaturdifferenz zwischen eingebrachter Luft und Kanalwand kleiner und die Druckverlustkurve in der Beruhigungszeit flacher.

Wie kann man also trotz der unterschiedlichen Druckverlustkurven beurteilen ob ein Kanal dicht oder undicht ist?

Um die Idee die Beruhigungszeit als Prüfzeit zu verwenden und einen Vorschlag zur Bewältigung der oben beschriebenen Problemstellung zu liefern, werden als Grundlage die Rahmenbedingungen der ÖNORM B 2503 genommen. Nach der ÖNORM gelten Haltungen als dicht, wenn innerhalb einer gewissen Prüfzeit (11 min. bei 300 mm Durchmesser) der Kanal nicht mehr als 15 mbar Druckverlust aufweist. Bei Annahme eines linearen Druckverlustes bedeutet das einen zulässigen Druckverlust von $<1,36$ mbar pro Minute bei 100 mbar Prüfungsdruck. Wenn nun das Δp bei einem höheren Druck schon unter den kritischen Wert von 1,36 mbar fällt, ist der Kanal dicht. Falls aber bei 100 mbar Δp noch größer als 1,36 mbar ist wird auch nach der in der ÖNORM B2503 vorgeschriebenen Prüfzeit der Druckverlust höher als 15 mbar sein ($1,36 \cdot 11 = 15$).

Definition des Prüfkriteriums:

Wenn der Prüfdruck und die Beruhigungszeit erreicht sind und der Druckabfall Δp in der letzten Minute einen definierten Wert unterschreitet, dann ist der Kanal als dicht zu bezeichnen.

Der zu definierende zulässige Wert des Druckabfalls pro Minute ist abhängig von Anfangsdruck und Rohrdurchmesser.

5.2.2 Anfangsdruck

Wie schon zuvor erwähnt, ist es schwer, einen exakten Prüfdruck aufzubringen. Zusätzlich hängt der Verlauf der Druckverlustkurve vom Anfangsdruck und vom Aufbringen des Anfangsdruckes ab und das bedeutet, dass der Kurvenverlauf der verschiedenen Prüfungen immer etwas variiert. Wenn man also einen Anfangsdruck von 200 mbar aufbringt, wird der Enddruck nach 3 min Prüfzeit bei Wiederholung der Prüfung immer etwas variieren. Um möglichst zu garantieren, dass der Druck über den ganzen

Prüfungszeitraum bei dichten Verhältnissen nicht unter 200 mbar sinkt, wurden am Anfang der Versuchsdurchläufe Versuche im dichten Kanal mit unterschiedlichem Anfangsdruck durchgeführt. Der Anfangsdruck wurde schnell aufgebracht, da bei schnellem Aufbringen der Druck am meisten absinkt und beim langsamen Aufbringen der Druck sich kaum verändert.

Es wurden drei Prüfungen im Bereich von 200 mbar und drei Prüfungen im Bereich von 100 mbar durchgeführt (siehe Abbildung 36 bis 38).

Der Anfangsdruck wurde mit rund 225 mbar, 220 mbar und 210 mbar aufgebracht. Bei 210 mbar war der Druck nach 3 min deutlich unter der Grenze von 200 mbar gesunken. Bei 220 mbar und 225 mbar war er nach der Prüfzeit noch immer etwas über 200 mbar. Deshalb wurden die Versuche mit einem Anfangsdruck von 220 bis 225 mbar durchgeführt.

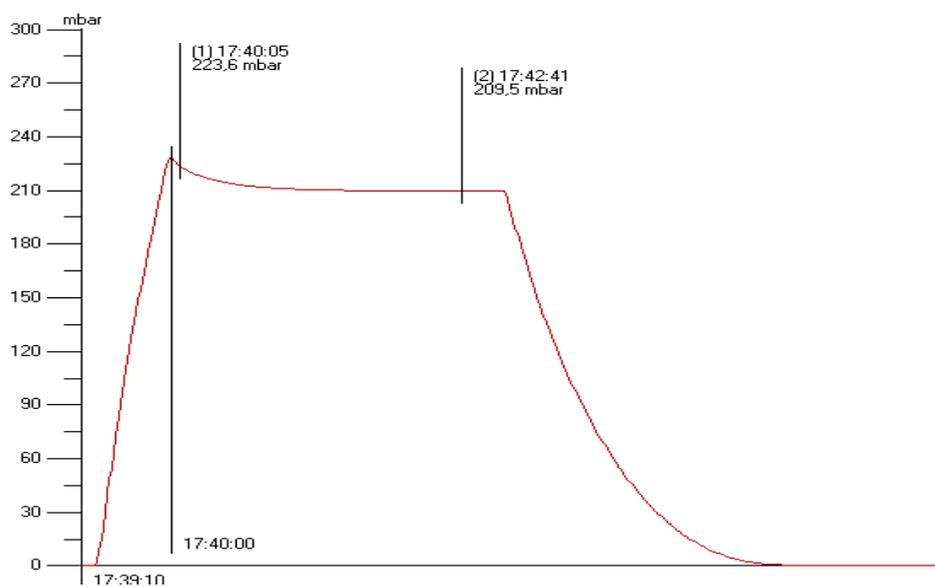


Abbildung 36.: Druckverlustkurve bei dichtem Kanal mit rund 225 mbar Anfangsdruck und 3 min Prüfzeit

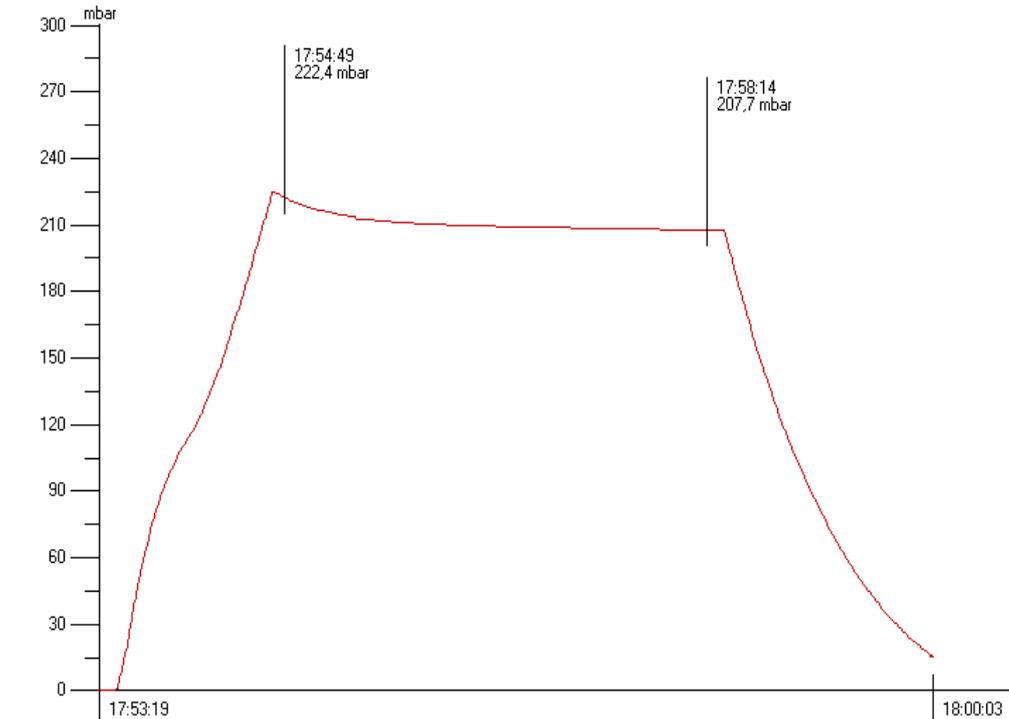


Abbildung 37.: Druckverlustkurve bei dichtem Kanal mit rund 220 mbar Anfangsdruck und 3 min Prüfzeit

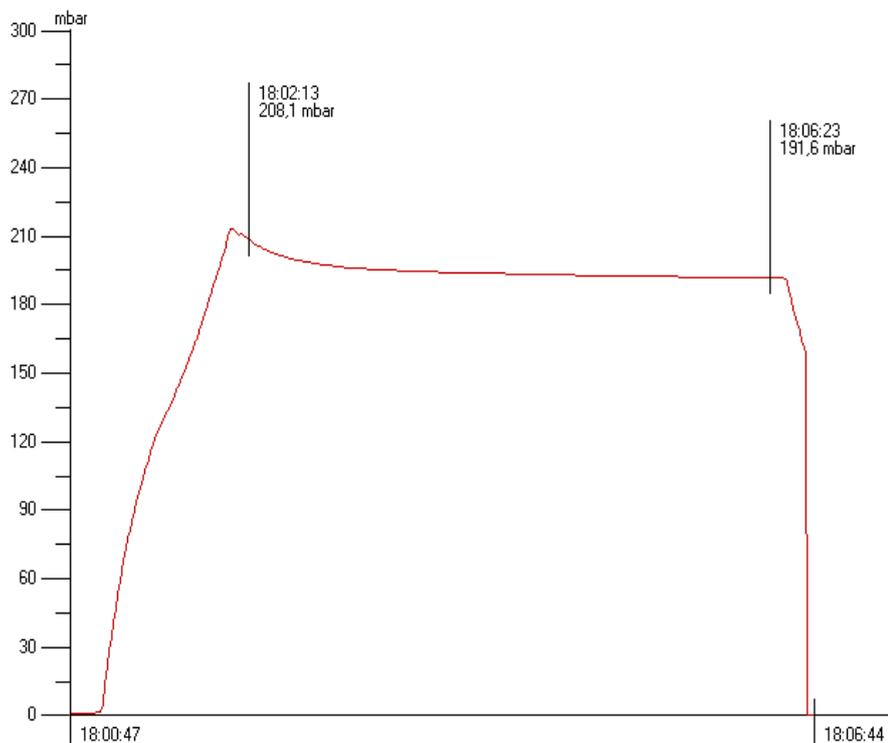


Abbildung 38.: Druckverlustkurve bei dichtem Kanal mit rund 210 mbar Anfangsdruck und 3 min Prüfzeit

Die Prüfungen im Bereich von 100 mbar ergaben ähnliche Ergebnisse. Bei den Versuchen mit 100 mbar Prüfdruck wurde in Folge also ein Anfangsdruck von 120 mbar bis 125 mbar aufgebracht.

Man kann somit die Aussage treffen, dass der Anfangsdruck um 20-25 mbar über dem Prüfdruck sein soll.

5.2.3 Variationen der Rahmenbedingungen

Bei den Prüfungen mit Luft wurden der Prüfdruck, die Aufbringungszeit des Prüfdrucks und die Leckblende variiert.

- *Variation der Aufbringungszeit und des Anfangsdrucks*

Die Schnelligkeit der Aufbringungszeit wurde variiert und diese Variation mit *schnell* und *langsam* bezeichnet, wobei *schnell* ein Aufbringen des Anfangsdrucks innerhalb von rund 1 min bei 200 mbar und innerhalb von rund 0,5 min bei 100 mbar bedeutet. Bei der Bezeichnung *langsam* wurde der Anfangsdruck innerhalb von circa 2 min bei 200 mbar und circa 1 min bei 100 mbar aufgebracht.

Die Kanalrohre werden bei Dichtheitsprüfungen meistens durch den hohen Prüfungsdruck überdimensional beansprucht. Das hat zur Folge, dass die Nutzungsdauer des Rohrabschnittes geprüft wird, sich erheblich verringert. Um die Frage zu klären, ob diese negativen Folgeerscheinungen minimiert werden könnten, wurde der Prüfungsdruck variiert. Die Versuche wurden einmal im Bereich von 200 mbar und einmal im Bereich von 100 mbar durchgeführt.

In der Tabelle 11 und Abbildung 39 sind die Druckverluste bei einer Leckblende von 0,35 mm, unterschiedlichem Anfangsdruck und unterschiedlicher Aufbringungsgeschwindigkeit zu sehen.

Tabelle 11: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,35mm

Test 15-17			
Leckblende[mm]	0,35		
Anfangsdruck [mbar]	100 + 25mbar		
Druckaufbau	schnell		
Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	13,70	1,73	0,77
krit. Druckveränderung [mbar]	1,36	1,36	1,36
Test 18-20			
Leckblende[mm]	0,35		
Anfangsdruck [mbar]	200 + 25mbar		
Druckaufbau	schnell		
Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	21,20	2,17	0,80
Test 21-23			
Leckblende[mm]	0,35		
Anfangsdruck [mbar]	100 + 25mbar		
Druckaufbau	langsam		
Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	14,30	1,30	0,40

Test 24-26			
Leckblende[mm]	0,35		
Anfangsdruck [mbar]	200 + 25mbar		
Druckaufbau	langsam		
Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	11,4	2,1	1,2

Bis zur zweiten Minute ist ein unterschiedlicher Abfall des Druckes sichtbar, wobei sich alle Druckverlustkurven nach der zweiten Minute angleichen und kaum ein Unterschied der Kurve erkennbar ist (siehe Abbildung 39).

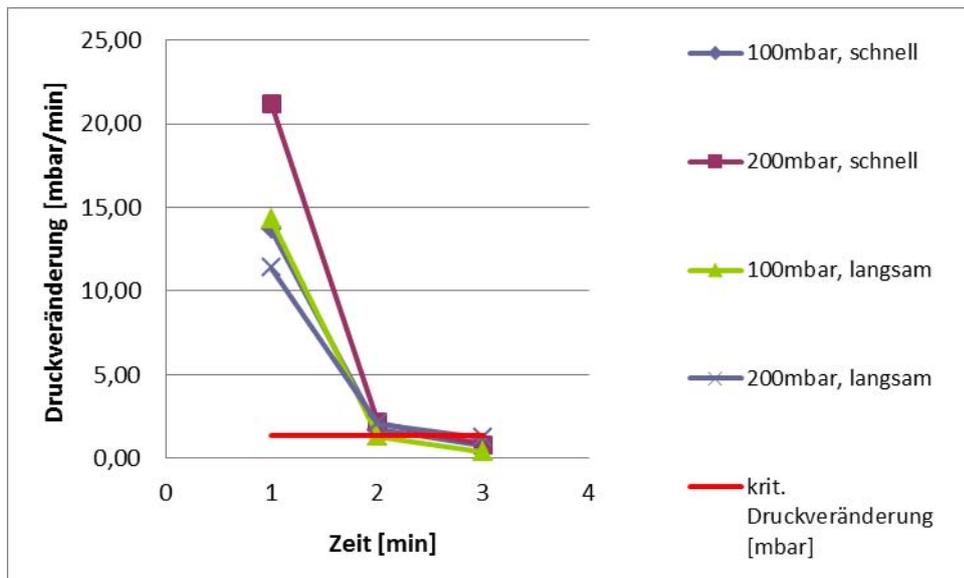


Abbildung 39.: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,35 mm mit variiertem Anfangsdruck und unterschiedlicher Aufbringungszeit

Bei den Versuchsdurchläufen mit einer Leckblende, deren Lochdurchmesser sich auf 0,5 mm beläuft, wird der Unterschied zwischen den Prüfungen, die mit 200 mbar und die mit 100 mbar durchgeführt wurden, schon merklich größer (siehe Tabelle 12 und Abbildung 40). Die Prüfungen mit langsamer Aufbringung weisen eine geringere Veränderung auf als die Prüfungen mit schneller Aufbringung. Auffallend ist, genau wie bei der Prüfungsreihe mit der kleineren Leckblende, dass nach der zweiten Minute die Druckverlustkurven annähernd parallel verlaufen. Somit kann behauptet werden, dass die Schnelligkeit der Aufbringung des Anfangsdrucks keine Auswirkungen auf das Endergebnis hat, wenn die Prüfungszeit bei einem Rohrdurchmesser von 300 mm 3 Minuten beträgt.

Die Versuchsprüfungen mit 200 mbar weisen am Prüfungsende die größeren Druckdifferenzen auf, jedoch ist dieser Unterschied gering.

Tabelle 12: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,5 mm

Test 48-50	
Leckblende[mm]	0,5
Anfangsdruck [mbar]	100 + 25mbar
Druckaufbau	schnell

Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	16,27	2,13	1,03
krit. Druckveränderung [mbar]	1,36	1,36	1,36
Test 39-41			
Leckblende[mm]	0,5		
Anfangsdruck [mbar]	200 + 25mbar		
Druckaufbau	schnell		
Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	17,63	3,20	1,87
Test 45-47			
Leckblende[mm]	0,5		
Anfangsdruck [mbar]	100 + 25mbar		
Druckaufbau	langsam		
Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	10,10	1,97	0,93
Test 42-44			
Leckblende[mm]	0,5		
Anfangsdruck [mbar]	200 + 25mbar		
Druckaufbau	langsam		
Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	12,23	2,07	1,13

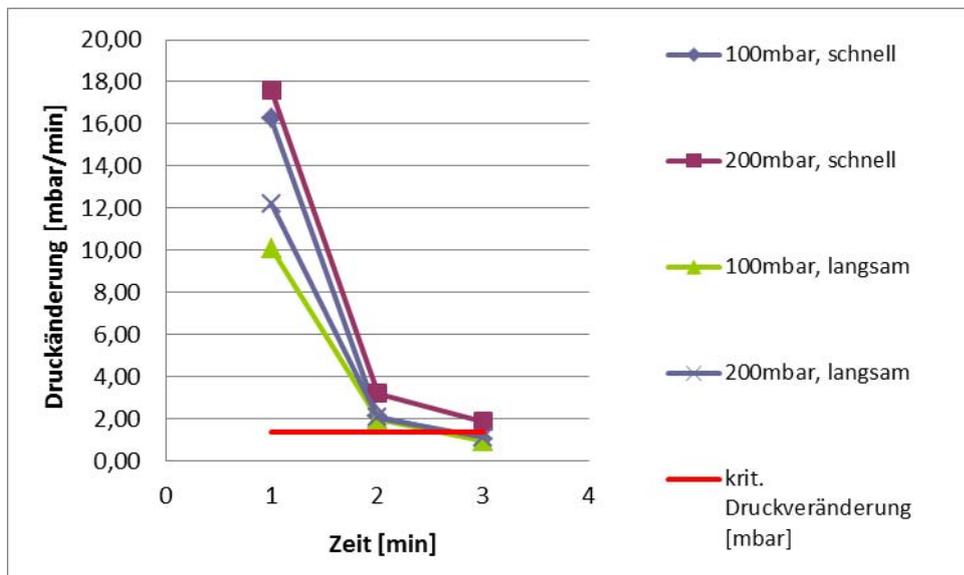


Abbildung 40.: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,5 mm mit variiertem Anfangsdruck und unterschiedlicher Aufbringungszeit

In dieser Versuchsreihe ist anzumerken, dass sich bei dem Test 39 ein unerwartet hoher Druckverlust eingestellt hat, was bei den anderen Tests, die unter gleichen Voraussetzungen durchgeführt wurden, nicht der Fall war. Somit

kann das Ergebnis als Ausreißer bezeichnet werden und es liefert die Erklärung wieso der Mittelwert der Versuchsreihe mit 200 mbar und schneller Aufbringung als undicht klassifiziert wird.

Bei der Versuchsreihe mit der Leckage mit 0,6 mm verhält es sich genauso wie bei den anderen Versuchen. Die unterschiedliche Aufbringung ist ab der zweiten Minute nicht mehr sichtbar. Bei den unterschiedlichen Druckbereichen ist der Enddruckverlust pro Minute verständlicherweise bei 200 mbar etwas höher als bei 100mbar (siehe Tabelle 13 und Abbildung 41).

Tabelle 13: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,6 mm

Test 61-63				
Leckblende[mm]	0,6			
Anfangsdruck [mbar]	100 + 25mbar			
Druckaufbau	schnell			
Zeit [min]	1	2	3	
Druckänderung [mbar]	20,67	2,53	1,33	
krit. Druckveränderung [mbar]	1,36	1,36	1,36	
Test 55-57				
Leckblende[mm]	0,6			
Anfangsdruck [mbar]	200 + 25mbar			
Druckaufbau	schnell			
Zeit [min]	1	2	3	
Druckänderung [mbar]	19,37	3,00	1,80	
Test 64-66				
Leckblende[mm]	0,6			
Anfangsdruck [mbar]	100 + 25mbar			
Druckaufbau	langsam			
Zeit [min]	1	2	3	
Druckänderung [mbar]	10,17	2,30	1,50	
Test 58-60				
Leckblende[mm]	0,6			
Anfangsdruck [mbar]	200 + 25mbar			
Druckaufbau	langsam			
Zeit [min]	1	2	3	
Druckänderung [mbar]	13,60	3,17	2,27	

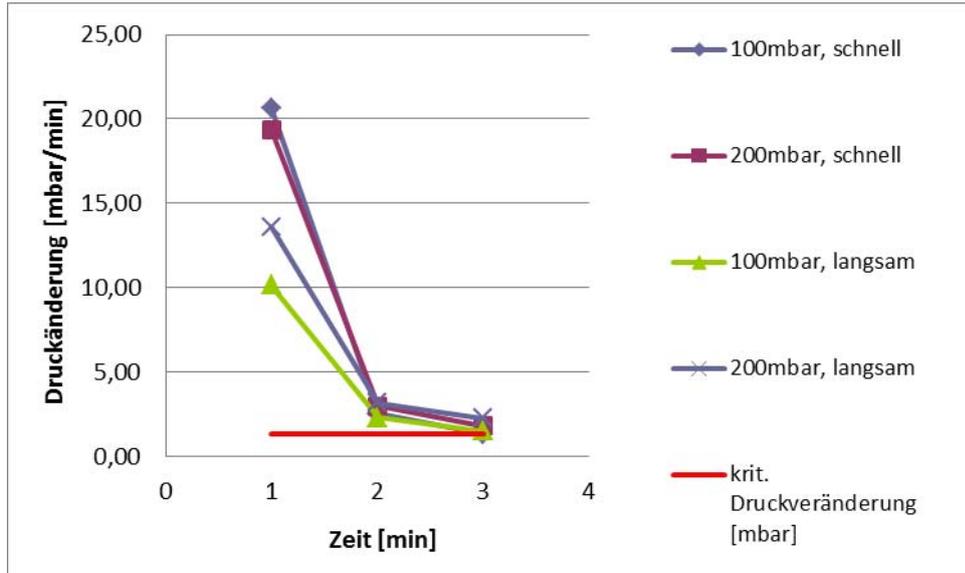


Abbildung 41.: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,6 mm mit variiertem Anfangsdruck und unterschiedlicher Aufbringungszeit

Bei der Versuchsreihe mit der Leckblende 0,85 mm ist der Unterschied zwischen den Prüfungen, die mit 200 mbar und die die mit 100 mbar durchgeführt wurden, am deutlichsten sichtbar (siehe Tabelle 14 und Abbildung 42).

Tabelle 14: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,85 mm

Test 33-35			
Leckblende[mm]	0,85		
Anfangsdruck [mbar]	100 + 25mbar		
Druckaufbau	schnell		
Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	19,07	4,10	2,97
krit. Druckveränderung [mbar]	1,36	1,36	1,36
Test 27-29			
Leckblende[mm]	0,85		
Anfangsdruck [mbar]	200 + 25mbar		
Druckaufbau	schnell		
Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	21,13	4,87	4,10
Test 36-38			
Leckblende[mm]	0,85		
Anfangsdruck [mbar]	100 + 25mbar		
Druckaufbau	langsam		
Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	14,87	3,90	3,10

Test 30-32			
Leckblende[mm]	0,85		
Anfangsdruck [mbar]	200 + 25mbar		
Druckaufbau	langsam		
Zeit [min]	1	2	3
Druckänderung [mbar]	13,73	5,23	4,17

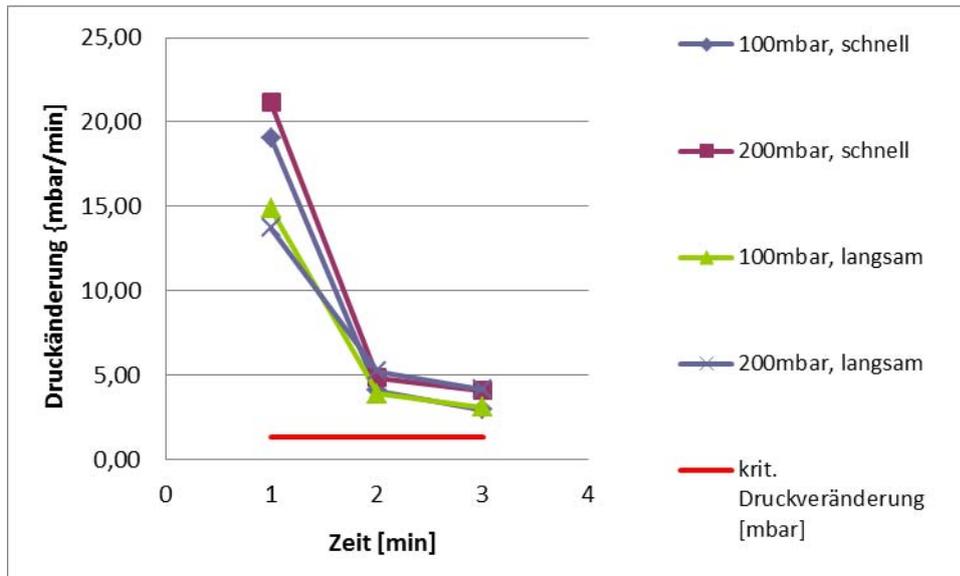


Abbildung 42.: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,85 mm mit variiertem Anfangsdruck und unterschiedlicher Aufbringungszeit

Generell kann man die Aussage treffen, dass bei einer Prüfzeit von drei Minuten die Schnelligkeit der Aufbringung des Anfangsdruckes in Bezug auf das Ergebnis nicht relevant ist.

Die Unterschiede der Endergebnisse bei 100 mbar und 200 mbar sind gering, jedoch fallen diese bei einem zulässigen Druckverlust von nur 1,36 mbar pro Minute trotzdem ins Gewicht. Falls die Dichtheitsprüfungen in Zukunft auch mit 100 mbar durchgeführt werden sollen und die Prüfkriterien nicht abgeschwächt werden sollen, müsste der kritische Druckverlust angepasst werden.

- *Variation der Leckblendenlochdurchmesser*

Es wurden Versuchsreihen wie bei der Prüfung mit Wasser mit vier verschiedenen Lochdurchmessern der Leckblenden durchgeführt. Die Durchmesser wurden so gewählt, dass möglichst zwei Leckblenden in den dichten Bereich fallen und zwei in den undichten. Es wurden Prüfungen mit 0,35 mm; 0,5 mm; 0,6 mm und 0,85 mm durchgeführt.

Bei der Versuchsreihe mit 100 mbar und schneller Aufbringung fällt die Leckblende mit dem Lochdurchmesser von 0,6 mm gegen die Erwartungen auch noch in den dichten Bereich doch danach steigt der Druckverlust rapide an. Der Grund dafür könnte der Prüfungsdruck von 100 mbar sein (siehe Abbildung 43).

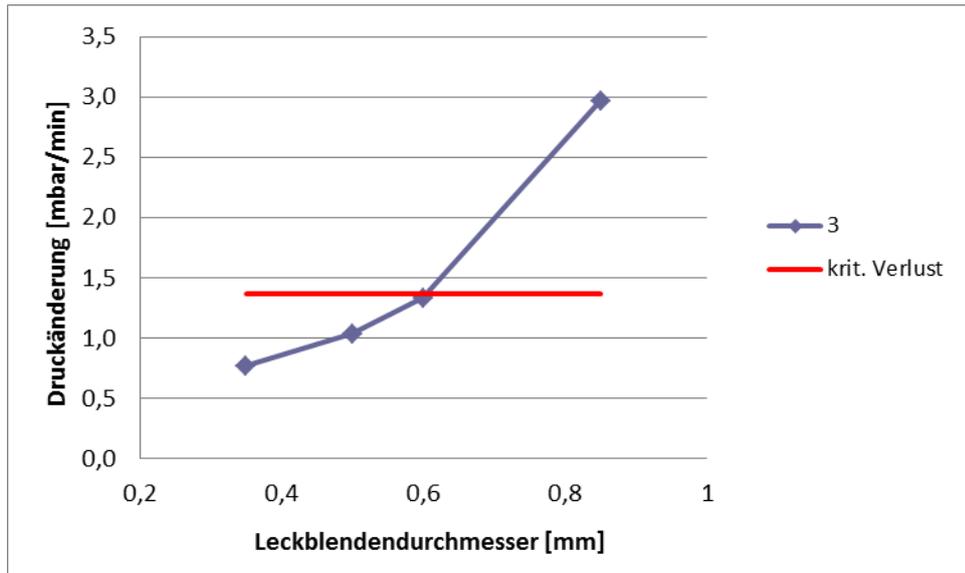


Abbildung 43.: Druckänderung bei 100 mbar und schnellem Aufbringen

Die Prüfungen mit langsamer Aufbringung weisen eine geringere Druckveränderung auf als die Prüfungen mit schneller Aufbringung.

Bei der Versuchsreihe mit 200 mbar und einer schnellen Aufbringung ist das gemittelte Ergebnis mit der Leckblende von 0,5 mm Lochdurchmesser wieder auffällig, das hier in den undichten Bereich fällt. Wie schon im vorherigen Kapitel beschrieben gab es bei diesen Mittelwerten einen Ausreißer (siehe Abbildung 43).

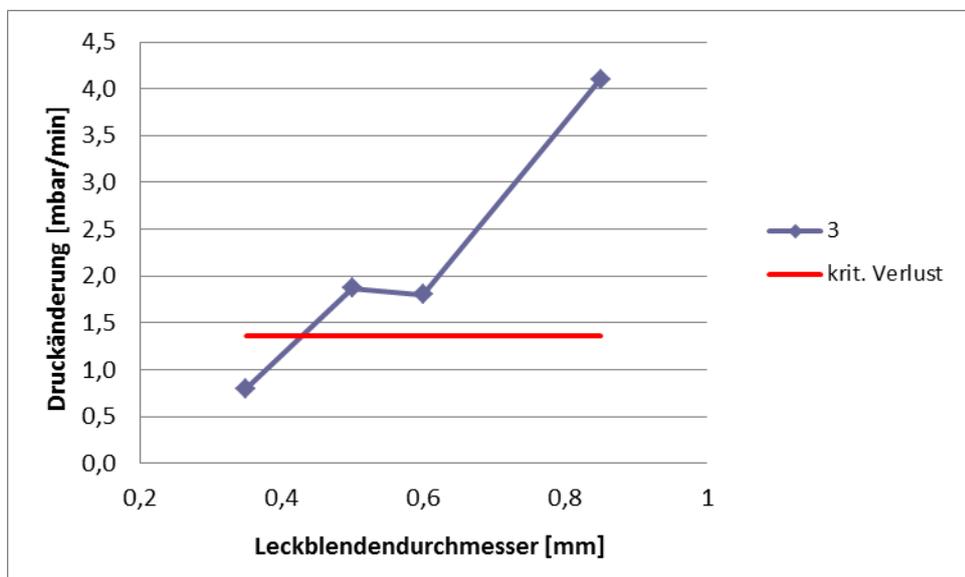


Abbildung 44.: Druckänderung bei 200 mbar und schnellem Aufbringen

Im Vergleich zur Versuchsreihe im gleichen Druckbereich und schneller Aufbringung befindet sich hier die Leckblende mit einem Lochdurchmesser von 0,6 mm gerade schon im undichten Bereich (siehe Abbildung 44).

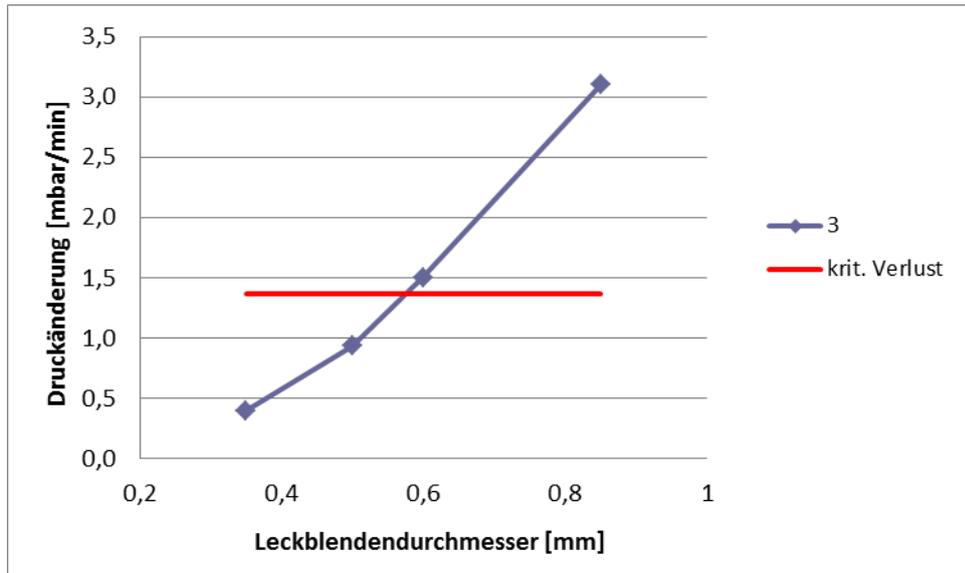


Abbildung 45.: Druckänderung bei 100 mbar und langsamen Aufbringen

Die in Abbildung 45 dargestellte Versuchsreihe zeigt, dass der Grenzlochdurchmesser der Leckfläche bei dem ein Kanal als undicht definiert wird zwischen 0,5 und 0,6 mm liegt.

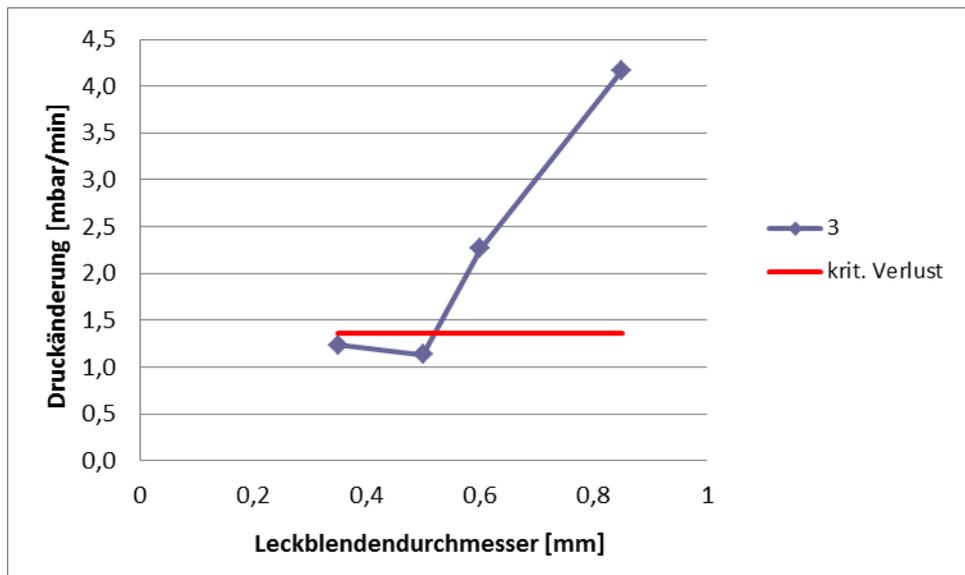


Abbildung 46.: Druckänderung bei 200 mbar und langsamen Aufbringen

Bei den Versuchsreihen nach HARING (2001) wurde festgestellt, dass der Grenzdurchmesser der Leckblende bei 0,52 mm liegt. Man muss jedoch die veränderten Rahmenbedingungen bei einem Vergleich der Ergebnisse berücksichtigen. Grundsätzlich wurden die Ergebnisse erzielt mit denen auf Grund der Erfahrung gerechnet wurde. Der Grenzbereich liegt zwischen 0,5 und 0,6 mm. Daraus folgt dass die Luftprüfung nach dem Beruhigungszeitraum schon aussagekräftige Ergebnisse erzielt.

Es wurde zusätzlich die Grenzprüfzeit beobachtet, das heißt, zu welcher Zeit im Versuchsdurchlauf der Druckverlust unter 1,36 mbar fiel. Natürlich konnte das nur bei Leckflächen, welche sich im dichten Bereich befanden, festgestellt

werden. Das Ergebnis dieser Beobachtungen bestätigt, dass man mit der festgelegten Prüfzeit von 3 min ein aussagekräftiges Ergebnis erzielt.

5.2.4 Referenzprüfung nach ÖNORM B 2503

Um die Luftdruckprüfungen nach neuem Ansatz mit Referenzprüfungen vergleichen zu können, wurden Prüfungen nach ÖNORM B 2503 durchgeführt. Bei diesen Prüfungen wurde eine Beruhigungszeit von 3 min und eine Prüfzeit von 11 min eingehalten. Der Prüfdruck betrug 200 mbar.

Wenn man die Ergebnisse dieser Prüfungsreihe mit denen der Prüfungsreihen mit neuem Ansatz vergleicht, sieht man, dass sie fast ident sind (siehe Abbildung 47).

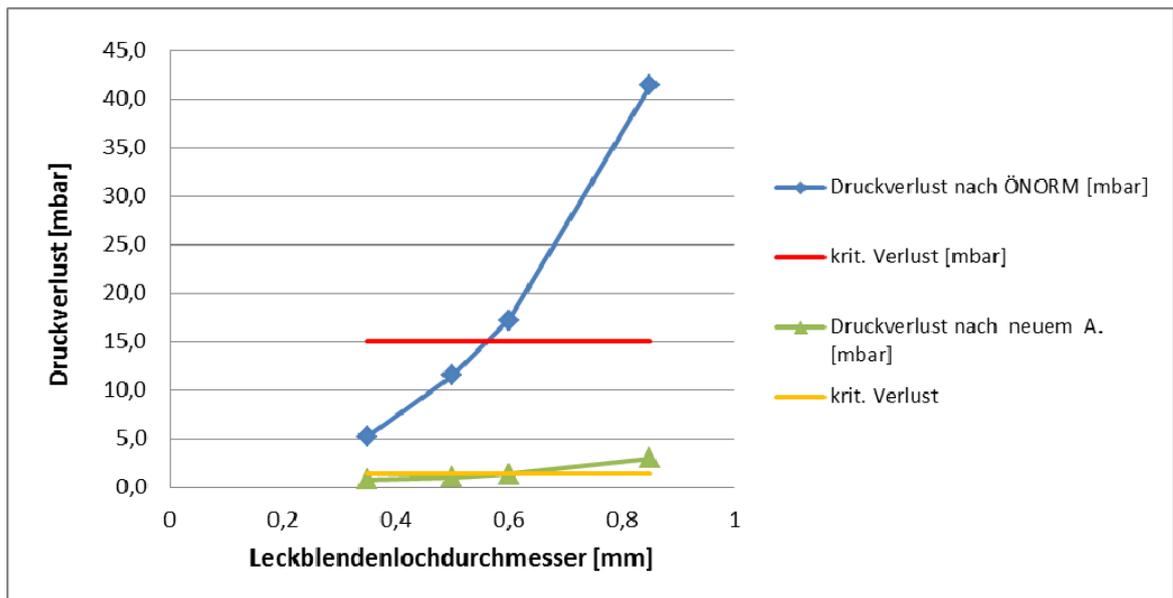


Abbildung 47.: Vergleich der Druckänderungen zwischen der Prüfung nach ÖNORM B 2503 und der Prüfung nach neuem Ansatz

Allerdings entsprechen nicht alle Versuchsreihen den Ergebnissen der Prüfungsreihe nach ÖNORM B 2503. Der Grund dafür sind die Ausreißer, die bei den Prüfungen mit einem Prüfdruck von 200 mbar aufgetreten sind.

6. Kostenanalyse – Entscheidungsmodell

6.1 Allgemeines

In den Kapiteln 4 und 5 wurde die generelle technische Durchführbarkeit der neuen Versuchsmethoden nachgewiesen. In diesem Kapitel soll nun ein wirtschaftlicher Vergleich zwischen den bisherigen Messmethoden nach ÖNORM B 2503 und den neuen Messmethoden durchgeführt werden. Dadurch soll ein Überblick über ökonomische Vorteile der in dieser Arbeit untersuchten Methoden gegeben werden. Für den Vergleich der Methoden wurde ein Entscheidungsmodell gewählt.

Das Grundlagenmodell der Entscheidungstheorie nach DOMSCHKE und SCHOLL (2005) hat folgende Elemente:

- (Handlungs-) Alternativen (=Aktionen= Strategien) a_1, a_2, a_3, a_4 , die wählbar sind.
- Situationen (=Szenarien= Umweltlagen) s_1, s_2, \dots, s_n , die vom Entscheidungsträger nicht beeinflusst werden können.
- Ziele z_1, z_2, \dots, z_n (z.B. Umsatz-, Gewinn oder Nutzenmaximierung, Kostenminimierung), die verfolgt werden.
- Ergebnisse e bezüglich Ziel z bei Entscheidung a und Situation s
- Ergebnismatrix

	p_1		p_j		p_n
	s_1	...	s_j	...	s_n
a_1	e_{11}		e_{1j}		e_{1n}
...					
a_i	e_{i1}		e_{ij}		e_{in}
...					
a_m	e_{m1}		e_{mj}		e_{mn}

Abbildung 48.: Ergebnismatrix (DOMSCHKE, SCHOLL, 2005)

Die Jahreskosten der jeweiligen Handlungsalternativen setzen sich aus Kapitalkosten und Betriebskosten zusammen (ERTL, 2007). Bei den Kapitalkosten handelt es sich um Anschaffungs- und Herstellungskosten. Die Betriebskosten decken die laufenden Kosten ab.

Bei der Kostenanalyse für die verschiedenen Alternativen der Kanaldichtheitsprüfung wird darauf verzichtet, die einzelnen Leistungen und Gerätschaften anzuführen. Stattdessen wird die Kanaldichtheitsprüfung aus Sicht des Auftraggebers gesehen. Die Prüfung wird als Dienstleistung betrachtet, die von einschlägigen Firmen der Branche zu einem gewissen Stundensatz angeboten wird. Somit muss man in Folge nicht zwischen Kapital- und Betriebskosten unterscheiden, weil diese in den Anbotssummen der Dienstleistung kalkuliert sein sollten.

6.2 Handlungsalternativen

Bei der Anwendung des Entscheidungsmodells auf die Dichtheitsprüfungsmethoden ergeben sich vier Handlungsalternativen. Einerseits werden die Wasserdruckprüfungen nach ÖNORM B2503 und mit neuer Methode, andererseits die Luftdruckprüfung nach neuem Ansatz und die Luftdruckprüfung nach ÖNORM B2503 miteinander verglichen.

Der Umfang der Dichtheitsprüfungen dieser Analyse umfasst bei allen vier Varianten die Rohrleitung als auch den Schacht.

6.2.1 Handlungsalternative 1 - Wasserdruckprüfung Neues Verfahren

Mit der Handlungsalternative 1 ist die Wasserdruckprüfung mit Tauchkörper gemeint. Diese Methode wird bereits in Kapitel 4.2.4 Versuchsdurchführung beschrieben. Die Dichtheitsprüfung umfasst sowohl Schacht als auch Rohrleitung. Die Dichtheitsprüfung wird in folgende Zeitabschnitte gegliedert:

Prüfung der Leitung und des Schachtes:

- Vorbereitung
- Prüfmedium
- Prüfzeit
- Abbau

6.2.2 Handlungsalternative 2 - Wasserdruckprüfung nach ÖNORM

Die Handlungsvariante 2 beinhaltet die Prüfung der Rohrleitung mit Wasser nach ÖNORM B 2503 und die Prüfung des Schachtes mit Wasser ebenfalls nach ÖNORM B2503.

Die Durchführung der Wasserdruckprüfung nach der Methode nach ÖNORM B 2503 ist sehr ähnlich der Durchführung nach neuer Methode. Anfangs wird die zu prüfende Leitung dicht verschlossen und anschließend mit Wasser gefüllt und der Prüfdruck aufgebracht. Der in der Leitung herrschende Druck wird z.B. mittels Manometer gemessen und über Wasserzugabe konstant gehalten. „Die Leitung gilt als wasserdicht, wenn die zur Aufrechterhaltung des Prüfdruckes erforderliche Wasserzugabe in l/m² benetzter Rohrinnenfläche während der Prüfzeit die zulässigen Grenzwerte nicht überschreitet.“ (KAUFMANN 1999)

Die Dichtheitsprüfung der Leitung wird in folgende Zeitabschnitte gegliedert:

Prüfung der Leitung:

- Vorbereitung
- Prüfmedium
- Prüfzeit

- Abbau

Bei der Schachtprüfung wird ähnlich verfahren. Zuerst muss der Schacht abgedichtet werden. Dann folgt die Füllung mit Wasser bis zu der geforderten Höhe. Nach angegebener Prüfzeit wird der Wasserverlust über den veränderten Wasserspiegel ermittelt (KAUFMANN 1999).

Die Dichtheitsprüfung des Schachtes wird in folgende Zeitabschnitte gegliedert:

Prüfung des Schachtes:

- Vorbereitung
- Prüfmedium
- Prüfzeit
- Abbau

6.2.3 Handlungsalternative 3 - Luftdruckprüfung Neuer Ansatz

Bei der Handlungsalternative 3 wird die Rohrleitung mittels Luftdruckprüfung geprüft und der Schacht mittels Wasserdruckprüfung. Bei der Luftdruckprüfung handelt es sich um die Prüfung nach neuem Ansatz die schon in Kapitel 4.3.3, Prüfungsdurchführung näher erläutert wurde. Der Schacht wird in einem separaten Prüfungsvorgang, wie in Kapitel 6.2.2, Handlungsalternative 2 erklärt wurde, geprüft. Die Dichtheitsprüfungen der Leitung und des Schachtes werden in folgende Zeitabschnitte gegliedert:

Prüfung der Leitung:

- Vorbereitung
- Prüfmedium
- Prüfzeit (Die Prüfzeit ist abhängig von dem Rohrdurchmesser)
- Abbau

Prüfung des Schachtes:

- Vorbereitung
- Prüfmedium
- Prüfzeit
- Abbau

6.2.4 Handlungsalternative 4 – Luftdruckprüfung nach ÖNORM

Die Handlungsalternative 4 umfasst die Luftdruckprüfung der Rohrleitung nach ÖNORM B 2503 und die Schachtdruckprüfung mittels Wasser. Die Luftdruckprüfung nach ÖNORM B 2503 wird genauso durchgeführt wie die Prüfung nach neuem Ansatz. Der einzige Unterschied ist die längere Prüfzeit. Der Schacht wird mittels Wasser ebenfalls nach ÖNORM B 2503 auf Dichtheit geprüft. Beide Prüfungsmethoden wurden schon in vorherigen Kapiteln erläutert. Die Dichtheitsprüfungen der Leitung und des Schachtes werden in folgende Zeitabschnitte gegliedert:

Prüfung der Leitung:

- Vorbereitung
- Prüfmedium
- Prüfzeit (Die Prüfzeit ist abhängig vom Rohrdurchmesser)
- Abbau

Prüfung des Schachtes:

- Vorbereitung
- Prüfmedium
- Prüfzeit
- Abbau

6.3 Szenarien

Um eine umfassendere Bewertung der vier Handlungsalternativen zu erzielen, wurden drei Szenarien gewählt. Der Ablauf der Dichtheitsprüfungen ist abhängig von mehreren unveränderlichen Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel: das Leitungsgefälle, die geometrischen Abmessungen der Leitungen und der Schächte, die vorhandene Abwassermenge, die Gefährdung durch Rückstau und das Verkehrsaufkommen.

Die Problematik der Blindanschlüsse wird in dieser Analyse nicht berücksichtigt, auf Grund dieser Rahmenbedingung würden der Aufwand und die Kosten erheblich steigen um den Kanalabschnitt als dicht oder undicht beurteilen zu können. Zusätzlich ist eine der oben angeführten Prüfungen unter diesen Bedingungen nicht möglich.

Die Gefahr eines Einstaus wird bei der neuen Variante der Dichtheitsprüfung mit Wasser und den Luftdruckprüfungsverfahren auf Grund der kurzen Prüfzeit nicht berücksichtigt. Durch die erheblich kürzere Prüfzeit dieser Methoden im Vergleich zu der Wasserdruckprüfung nach ÖNORM B2503 ist das Gefährdungspotential, das durch den Rückstau gegeben sein kann, erheblich reduziert. Allerdings wird bei der Handlungsvariante 2, Wasserdruckprüfung nach ÖNORM B2503 der Rückstau in Form eines Subszenarios berücksichtigt.

In den folgenden Szenarien werden nach Ausschluss der oben genannten Rahmenbedingungen folgende Parameter variiert:

- Geometrische Abmessungen des Kanalabschnittes
- Vorhandene Abwassermenge
- Verkehrsaufkommen

6.3.1 Szenario 1

In Szenario 1 handelt es sich um eine Leitung mit einem Nenndurchmesser von 300 mm. Es wird ein geringer Abwasserabfluss angenommen, welches eine Füllung der Leitung mit Abwasser nicht effizient macht und somit ein Tankwagen bei jeder Handlungsalternative erforderlich ist. Der zu prüfende Kanalabschnitt soll in diesem Szenario in einem verkehrsberuhigten Gebiet liegen, in dem keine aufwendigen Maßnahmen zur Verkehrssicherung notwendig sind.

- Durchmesser der zu prüfenden Leitung: 300 mm
- Tankwagen: ja

- Verkehrsaufkommen: gering

6.3.2 Szenario 2

Bei Szenario 2 wird eine Leitung mit einem Nenndurchmesser von 600 mm angenommen. Die abfließende Abwassermenge reicht nicht aus um die Haltung für die Prüfung zu füllen. Deshalb ist hier ebenfalls ein Tankwagen für alle Prüfungsmethoden notwendig. Das Verkehrsaufkommen ist im Gegensatz zu Szenario 1 hoch und es müssen somit aufwendige verkehrsregulierende Maßnahmen getroffen werden.

- Durchmesser der zu prüfenden Leitung: 600 mm
- Tankwagen: ja
- Verkehrsaufkommen: hoch

6.3.3 Szenario 3

In Szenario 3 werden die Leitungen ebenfalls mit einem Nenndurchmesser mit 600 mm festgelegt. Das Verkehrsaufkommen ist, so wie in Szenario 2 ebenfalls hoch und man benötigt auch hier aufwendige Maßnahmen um den Verkehr zu regeln und gegebenenfalls sogar umzuleiten. Die Abwassermenge wird in diesem Fall so groß angenommen, dass bei der Handlungsalternative 1 kein Tankwagen benötigt wird.

- Durchmesser der zu prüfenden Leitung: 600 mm
- Tankwagen: nein (bei Handlungsalternative 1)
- Verkehrsaufkommen: hoch

6.3.3.1 SubszENARIO 3.1

Durch die große anfallende Abwassermenge wird bei Szenario 3 noch ein SubszENARIO für die Handlungsalternative 2, Dichtheitsprüfung mit Wasser nach ÖNORM B 2503 eingeführt. In diesem Szenario soll die Erforderlichkeit von Umpumpen bei zu großem Abwasseranfall berücksichtigt werden. Die anderen Handlungsalternativen werden nicht auf dieses Szenario angewandt mit der Begründung, dass die Leitungsdichtheitsprüfungen eine kürzere Prüfzeit aufweisen als die Dichtheitsprüfung mit Wasser nach ÖNORM B 2503. Durch die kurze Prüfzeit ist die Gefahr eines Einstaus minimiert und das Umpumpen nicht so schnell notwendig ist wie bei langen Prüfzeiten.

6.4 Bewertung

Die Bewertung erfolgt über die Ermittlung der Zeit über die bestimmte Dienstleistungen in Anspruch genommen werden. Für diese Analyse wird ein Basisstundensatz von 100 Euro verwendet (ERTL, 2011). Bei den Zeitangaben handelt es sich um Erfahrungswerte die teilweise im Zuge der Arbeit gesammelt wurden beziehungsweise durch persönliche Gespräche und Diskussionen ermittelt wurden.

Tabelle 15: Ergebnismatrix

	<i>Szenario 1</i>	<i>Szenario 2</i>	<i>Szenario 3</i>
<i>Handlungsalternative 1</i>	e11	e21	e31
<i>Handlungsalternative 2</i>	e12	e22	e32
<i>Handlungsalternative 3</i>	e13	e23	e33
<i>Handlungsalternative 4</i>	e14	e24	e34

Für den Stundensatz von 100 Euro wird angenommen, dass zwei Kanalarbeiter und ein Prüffahrzeug zur Verfügung stehen. Dieser Stundensatz wird je nach Szenario den gegebenen Rahmenbedingungen angepasst.

Stundensatz:

Basisstundensatz (2 Arbeiter, 1 Prüffahrzeug)	100 €/h
Tankwagen	30 €/h
zusätzl. Arbeiter	30 €/h

- *Bewertung der Handlungsalternative 1 in Szenario 1*

Durch das geringe Verkehrsaufkommen muss kaum Zeit für die Verkehrssicherung und Absperrung des Prüfbereiches aufgewendet werden. Deshalb wird die Vorbereitungszeit auf nur 12 min angesetzt. Diese 12 min beinhalten das in Position bringen der Geräte, die richtige Einstellung des Messprogramms und Setzung der Dichtekissen. Wenn man die Vorbereitungszeit für die jeweiligen Haltungen einzeln betrachtet, wird diese vor der ersten Prüfung etwas länger dauern als bei den folgenden Prüfungen.

Stundensatz: Basisstundensatz + Tankwagen mit einer Füllung

Tabelle 16: Kostenermittlung der Handlungsalternative 1 in Szenario 1

e11	Zeit	Stundensatz	€/h	€
Vorbereitung	12	Basis+Tankwagen	130	26,0
Füllzeit	10	Basis+Tankwagen	130	21,7
Prüfzeit	5	Basis+Tankwagen	130	10,8
Abbau	8	Basis+Tankwagen	130	17,3
Gesamtzeit	35			75,8

- *Bewertung der Handlungsalternative 1 in Szenario 2*

Bei dieser Kombination muss die Vorbereitungszeit um wesentliches höher angesetzt werden. Zu den aufwendigen Verkehrsregulierungen kommt noch eine längere Füllzeit durch die größeren Kubaturen des Kanals hinzu. Die Füllzeit des Kanals wird circa ein Vierfaches der Füllzeit bei einem Kanal mit dem Durchmesser 300 mm ausmachen. Wegen des größeren Verkehrsaufkommens wird ein Arbeiter zusätzlich kalkuliert.

Stundensatz: Basisstundensatz + extra Arbeiter + Tankwagen mit drei Füllungen

Tabelle 17: Kostenermittlung der Handlungsalternative 1 in Szenario 2

e12	Zeit	Stundensatz	€/h	€
Vorbereitung	20	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	53,3
Füllzeit	20	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	53,3
Prüfzeit	5	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	13,3
Abbau	10	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	26,7
Gesamtzeit	55			146,7

- *Bewertung der Handlungsalternative 1 in Szenario 3*

Die Zeitangaben sind identisch mit der vorangegangenen Kombination. Der große Unterschied ist, dass durch die ausreichende Wassermenge ein Tankwagen nicht benötigt wird und sich der Stundensatz im Gegensatz zu letzter Kombination nur aus dem Basisstundensatz und einem zusätzlichen Arbeiter zusammensetzt.

Stundensatz: Basisstundensatz + extra Arbeiter

Tabelle 18: Kostenermittlung der Handlungsalternative 1 in Szenario 3

e13	Zeit	Stundensatz	€/h	€
Vorbereitung	20	Basis+ zusätzl. A	130	43,3
Füllzeit	20	Basis+ zusätzl. A	130	43,3
Prüfzeit	5	Basis+ zusätzl. A	130	10,8
Abbau	10	Basis+ zusätzl. A	130	21,7
Gesamtzeit	55			119,2

- *Bewertung der Handlungsalternative 2 Szenario 1*

Die Vorbereitungszeit und die Abbaupzeit wird wie schon bei der Kombination Handlungsalternative 1 Szenario 1 mit 12 min. und 8 min. angenommen. Die Füllzeit wird erhöht, da jeder Abschnitt extra gefüllt werden muss. Zusätzlich muss der Schacht extra geprüft werden.

Stundensatz: Basisstundensatz + Tankwagen

Tabelle 19: Kostenermittlung der Handlungsalternative 2 in Szenario 1

e21	Zeit	Stundensatz	€/h	€
Vorbereitung	12	Basis+Tankwagen	130	26,0
Füllzeit	10	Basis+Tankwagen	130	21,7
Prüfzeit	30	Basis+Tankwagen	130	65,0
Abbau	8	Basis+Tankwagen	130	17,3
Schachtprüfung	40	Basis+Tankwagen	130	86,7
Gesamtzeit	100			216,7

- *Handlungsalternative 2 in Szenario 2*

Hier muss wieder die Vorbereitungszeit und die Füllzeit erhöht werden. Der Grund dafür sind das starke Verkehrsaufkommen und die größeren Kanaldurchmesser. Wegen des größeren Verkehrsaufkommens wird noch ein Arbeiter zusätzlich kalkuliert.

Stundensatz: Basisstundensatz + extra Arbeiter + Tankwagen mit drei Füllungen

Tabelle 20: Kostenermittlung der Handlungsalternative 2 in Szenario 2

e22	Zeit	Stundensatz	€/h	€
Vorbereitung	20	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	53,3
Füllzeit	30	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	80,0
Prüfzeit	40	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	106,7
Abbau	10	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	26,7
Schachtprüfung	40	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	106,7
Gesamtzeit	140			373,3

- *Handlungsalternative 2 in Szenario 3*

Die Zeitangaben sind mit Szenario 2 identisch.

Stundensatz: Basisstundensatz + extra Arbeiter+ Tankwagen

Tabelle 21: Kostenermittlung der Handlungsalternative 2 in Szenario 3

e23	Zeit	Stundensatz	€/h	€
Vorbereitung	20	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	53,3
Füllzeit	30	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	80,0
Prüfzeit	40	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	106,7
Abbau	10	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	26,7
Schachtprüfung	40	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	106,7
Gesamtzeit	140			373,3

- *Handlungsalternative 2 in SubszENARIO 3.1*

Um den Fall des Umpumpens von Abwasser zu berücksichtigen wurde das SubszENARIO 3.1 erstellt. Ansonsten sind die Rahmenbedingungen und somit auch die Zeiten und Kosten mit den Szenario 3 identisch.

- Stundensatz: Basisstundensatz + extra Arbeiter+ Tankwagen (nur für Schachtprüfung)

Tabelle 22: Kostenermittlung der Handlungsalternative 2 in SubszENARIO 3.1

e23	Zeit	Stundensatz	€/h	€
Vorbereitung	20	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	53,3
Füllzeit	30	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	80,0
Prüfzeit	40	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	106,7
Abbau	10	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	26,7
Umpumpen	30	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	80,0
Schachtprüfung	40	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	106,7
Gesamtzeit	170			453,3

- *Handlungsvariante 3 in Szenario 1*

Die Vorbereitungszeit wieder mit 12 min angenommen. Die Füllzeit wird allerdings auf 5 min verkürzt, weil mit Luft ein Druck aufgebaut wird und nicht mit Wasser und man dadurch eine Zeitersparnis erreicht. Der Schacht muss wieder zusätzlich geprüft werden.

Stundensatz: Basisstundensatz + Tankwagen (nur für Schachtprüfung)

Tabelle 23: Kostenermittlung der Handlungsalternative 3 in Szenario 1

e31	Zeit	Stundensatz	€/h	€
Vorbereitung	12	Basis	100	20,0
Füllzeit	5	Basis	100	8,3
Prüfzeit	3	Basis	100	5,0
Abbau	9	Basis	100	15,0
Schachtprüfung	40	Basis+Tankwagen	130	86,7
Gesamtzeit	69			135,0

- *Handlungsvariante 3 in Szenario 2*

Die Vorbereitungszeit wird wegen des starken Verkehrsaufkommens wieder erhöht wie auch die Füllzeit. Wegen des größeren Verkehrsaufkommens wird noch ein Arbeiter zusätzlich kalkuliert.

Stundensatz: Basisstundensatz + extra Arbeiter + Tankwagen (nur für Schachtprüfung)

Tabelle 24: Kostenermittlung der Handlungsalternative 3 in Szenario 2

e32	Zeit	Stundensatz	€/h	€
Vorbereitung	20	Basis+zusätzl. A	130	43,3
Füllzeit	10	Basis+zusätzl. A	130	21,7
Prüfzeit	6	Basis+zusätzl. A	130	13,0
Abbau	10	Basis+zusätzl. A	130	21,7
Schachtprüfung	40	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	106,7
Gesamtzeit	86			206,3

- *Handlungsalternative 3 in Szenario 3*

Das Szenario 3 ist bei den Handlungsalternativen 3 und 4 nicht relevant. Es handelt sich hier um Luftdichtheitsprüfungen und somit hat die anfallende Abwassermenge keine Auswirkungen auf den Stundensatz.

- *Handlungsalternative 4 in Szenario 1*

Die Vorbereitungszeit wird wieder mit 12 min angenommen. Die Füllzeit wird allerdings wie schon bei der Kombination mit Handlungsalternative 3 auf 9 min verkürzt, weil mit Luft und nicht mit Wasser der Druck aufgebaut wird und man dadurch eine Zeitersparnis erreicht. Der Schacht muss wieder zusätzlich geprüft werden.

Stundensatz: Basisstundensatz + Tankwagen (nur für Schachtprüfung)

Tabelle 25: Kostenermittlung der Handlungsalternative 4 in Szenario 1

e41	Zeit	Stundensatz	€/h	€
Vorbereitung	12	Basis	100	20,0
Füllzeit	10	Basis	100	16,7
Prüfzeit	14	Basis	100	23,3
Abbau	9	Basis	100	15,0
Schachtprüfung	40	Basis+Tankwagen	130	86,7
Gesamtzeit	85			161,7

- *Handlungsvariante 4 in Szenario2*

Die Vorbereitungszeit wird wegen des starken Verkehrsaufkommens wieder erhöht wie auch die Füllzeit. Wegen des größeren Verkehrsaufkommens wird noch ein Arbeiter zusätzlich kalkuliert.

Stundensatz: Basisstundensatz + extra Arbeiter + Tankwagen (nur für Schachtprüfung)

Tabelle 26: Kostenermittlung der Handlungsalternative 4 in Szenario 2

e42	Zeit	Stundensatz	€/h	€
Vorbereitung	20	Basis+zusätzl. A	130	43,3
Füllzeit	10	Basis+zusätzl. A	130	21,7
Prüfzeit	26	Basis+zusätzl. A	130	56,3
Abbau	10	Basis+zusätzl. A	130	21,7
Schachtprüfung	40	Basis+Tankwagen+zusätzl. A	160	106,7
Gesamtzeit	106			249,7

In Tabelle 27 und in Abbildung 49 sind die Endergebnisse gegenübergestellt:

Tabelle 27: Endergebnisse der Kostenanalyse

	Szenario 1 [€/Haltung]	Szenario 2 [€/Haltung]	Szenario 3 [€/Haltung]
WDP neues Verfahren	75,83	146,67	119,17
WDP nach ÖNORM	216,67	373,33	373,33
LDP neuer Ansatz	135,00	206,33	206,33
LDP nach ÖNORM	161,67	249,67	249,67

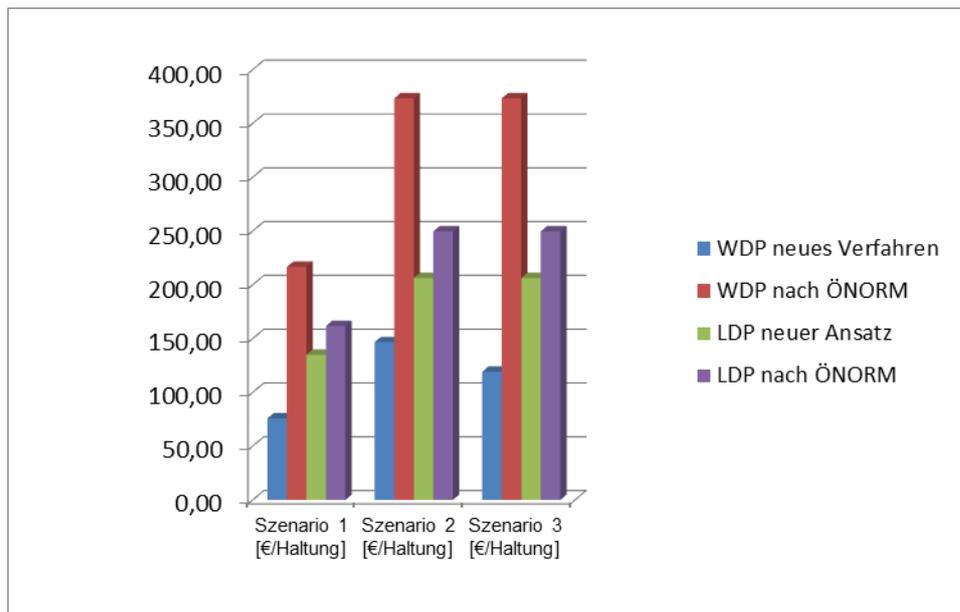


Abbildung 49.: Vergleich der Ergebnisse der Kostenanalyse

Die Ergebnisse der Kostenanalyse entsprechen den Erwartungen und sind logisch nachvollziehbar (siehe Tabelle 27 und Abbildung 49).

Es ist ein Unterschied zwischen den in dieser Arbeit untersuchten neuen Prüfungen und den Prüfungsmethoden nach ÖNORM B 2503 ersichtlich. Durch die Verkürzung der Prüfzeiten ist dieses Ergebnis durchaus plausibel. Die Wasserdruckprüfung nach ÖNORM ist die teuerste Variante, danach folgt die Luftdruckprüfung nach ÖNORM B2503. Die günstigsten Varianten sind wie erwartet die in dieser Arbeit untersuchten neuen Varianten. Vor allem die Kostenminimierung bei der neuen Methode der Wasserdruckprüfung ist hervorzuheben. Durch die Verkürzung der Prüfzeit und die Möglichkeit Schacht und Haltung mit einer Prüfung zu messen, ergeben sich aus ökonomischer Sicht erhebliche Vorteile gegenüber allen anderen Methoden.

Bei dem Vergleich zwischen der Luftdruckprüfung nach neuem Ansatz und der Luftdruckprüfung nach ÖNORM B 2503 ist ein Unterschied bezüglich der Kosten gegeben, allerdings ist dieser deutlich geringer als der Kostenunterschied bei den Wasserdruckprüfungen.

Die Unterschiede zwischen den Prüfungsmethoden zwischen Wasserdruckprüfung und Luftdruckprüfung nach ÖNORM B 2503 sind ebenfalls plausibel und werden durch die vermehrte Anwendung der Luftdruckprüfung in der Praxis bestätigt.

Sensitivitätsüberlegung:

Bei erschwerenden Verhältnissen verlängert sich die Gesamtzeit aller Methoden. Der Anteil der Prüfzeit macht prozentuell gesehen aber immer weniger von der Gesamtzeit

aus, je schwieriger die Verhältnisse werden. Dadurch bewirken erschwerende Verhältnisse eine Minimierung der Vorteile der neuen Methode.

Diese Überlegung ist auch vice versa anwendbar. Je besser die Verhältnisse sind, umso größer ist der Vorteil der neuen Methoden.

7. Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Das prioritäre Ziel dieser Arbeit war Prüfungsmethoden zur umweltrelevanten Prüfung von in Betrieb befindlichen Kanälen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und praxisrelevanter Aspekte zu finden und auf Durchführung zu prüfen. Generell kann nach der Durchführung der Versuchsreihen gesagt werden, dass sowohl die neue Methode der Wasserdruckprüfung als auch der neue Ansatz der Luftdruckprüfung für die Dichtheitskontrolle von Kanalabschnitten prinzipiell geeignet ist.

Durch die Kontroll- und Referenzprüfungen am Prüfgelände und die Variation der Leckblendenlochdurchmesser konnte nachgewiesen werden, dass mit der in dieser Arbeit untersuchten Methode der Wasserdruckprüfung die Aussage getroffen werden kann ob ein Kanal dicht oder undicht ist. Durch die Versuche wurden einige Probleme sichtbar, die in der Theorie noch nicht aufgeschienen sind. Einerseits gab es den 10 %igen Messfehler, der durch die Auswerte- und Protokollierungssoftware verursacht wurde. Andererseits hat sich bei den Prüfungen im öffentlichen Kanal herausgestellt, dass die Prüfung nicht bei allen Haltungen ohne Tankwagen durchgeführt werden kann.

Des Weiteren wurde durch die Variation der Wassersäule gezeigt, dass der Unterschied des Wasserverlustes bei unterschiedlichem Prüfdruck sehr gering ist. Wenn man berücksichtigt, dass in der ÖNORM B 2503 ein Schwankungsbereich zulässig ist (max. 50 kPa am Tiefpunkt, min. 30 kPa am Hochpunkt) dann wäre es folglich auch zielführend bei einer neuen Methode, den Prüfkriterien einen gewissen Toleranzbereich zuzuordnen.

So wie bei den gängigen Prüfungsmethoden ist es auch bei, der in dieser Arbeit untersuchten Wasserdruckprüfung notwendig, alle Zuleitungen in den zu prüfenden Kanalabschnitt abzudichten. Durch die geringen zulässigen Wasserverluste, impliziert durch die kurze Prüfzeit, führen schon geringe Wassermengen zu einer Verfälschung des Messergebnisses. Somit ist die Problematik von „Blindanschlüssen“ auch bei dieser Prüfungsmethode gegeben (siehe Kapitel 5.1.3).

Die vorliegenden Ergebnisse der Arbeit sollen eine Informationsbasis für das Normungskomitee für eine eventuelle Festlegung der Prüfkriterien, wie zum Beispiel des Prüfdruckes, bilden. Die Versuche haben ebenfalls gezeigt, dass die Prüfzeit von fünf Minuten noch einmal auf 2,5 Minuten verkürzt werden kann, ohne eine sichtbare Auswirkung auf die Ergebnisse zu haben. Trotzdem muss darauf hingewiesen werden, dass etwaige Messfehler sich immer stärker auf das Endergebnis auswirken, je kürzer die Prüfzeit ist. Mögliche Messfehler liegen potenziell in der ungenauen Handhabung und nicht in der Messgenauigkeit der bereits sehr streng reglementierten messtechnischen Ausrüstung. Allerdings gab es bei der Versuchsdurchführung in dieser Richtung keine Schwierigkeiten.

Auch bei dem neuen Ansatz der Luftdruckprüfung wurde festgestellt, dass dieser trotz der variablen Prüfbedingungen aussagekräftige Ergebnisse erzielt. Es wurden allerdings bei der Luftdruckprüfung keine Versuchsreihen im öffentlichen Kanalnetz durchgeführt. Weiters wurde durch die Versuche bewiesen, dass unterschiedliche Aufbringungszeiten keine Auswirkungen auf die Ergebnisse haben. Bei der Variation der Prüfdruckbereiche sind, ähnlich wie bei der Wasserdruckprüfung, leichte Unterschiede bei dem Druckverlust zu erkennen. Diese sind allerdings so gering, dass sie vernachlässigt werden können. Da die Prüfzeit der Beruhigungszeit entspricht, ist durch diese extreme Verkürzung der Prüfzeit wieder das Problem der stärkeren Auswirkung von eventuellen Messfehlern auf das Ergebnis gegeben. Bei der Luftdruckprüfung ist durch die Unmöglichkeit der Aufbringung eines exakten Prüfdruckes in einer genau definierten Zeit ein Auftreten von Messfehlern wahrscheinlicher als bei der Wasserdruckprüfung. Es ist fraglich, ob durch

eine bessere Anpassung der Software die Handhabung vereinfacht wird und das Auftreten von Messfehlern somit verringert werden kann. Im Zuge der Versuchsreihen mit Luftdruckprüfungen gab es Probleme in dieser Hinsicht. Die Varianz der Messwerte von 8,9% zeigt das sehr gut. Wobei dieser hohe Wert durch drei Ausreißer verursacht wurde. Schlussendlich ist die Verkürzung der Prüfzeit auf die Beruhigungszeit aber durchaus möglich.

Durch die neuen Prüfmethode wird eine Einsparung von Zeit erreicht, welches man mit einer Einsparung von Kosten gleichsetzen kann. Die Vorteile liegen nicht nur in der reinen Einsparung der Prüfzeit, sondern auch in der Vermeidung von Rückstau bzw. Massnahmen zur Wasserhaltung (Umleitung, etc.) durch die kurze Prüfzeit.

Zusätzlich ist bei der neuen Methode mit der Wasserdruckprüfung noch erheblich von Vorteil, dass Haltung und Schacht in einem Durchgang geprüft werden können. Durch die Kostenanalyse wurde deutlich, dass die neue Methode der Wasserdruckprüfung durch diese Prüfkombination mit Abstand am günstigsten ist.

Zwischen dem neuen Ansatz der Luftdruckprüfung und der Luftdruckprüfung nach ÖNORM B 2503 ist der Kostenunterschied nicht so relevant. Bei Berücksichtigung der stärkeren Einwirkung eventueller Messfehler auf die Dichtheitsaussage, verursacht durch die viel kürzere Prüfzeit, kann die Autorin eine generelle Umstellung der Luftdruckprüfung nach ÖNORM B 2503 auf die Luftdruckprüfung mit neuem Ansatz, die im Zuge dieser Arbeit behandelt wurde, nicht empfehlen.

8. Zusammenfassung

Es ist sehr wichtig, Kanalsysteme auch während ihrer Betriebszeit auf Umweltrelevanz zu Prüfen. Bei undichten oder beschädigten Kanälen kommt es je nach Grundwasserspiegel zu einer Ex- oder Infiltration. Bei einer Infiltration werden die Kanalrohre verstärkt hydraulisch beansprucht und es kommt zu einer zusätzlichen Belastung der Kläranlage. Bei einer Exfiltration wird der Boden und das Grundwasser kontaminiert. Trotz Kolmationsprozessen im Boden führt die Exfiltration zu einer messbaren Beeinträchtigung der Grundwasserqualität. Deshalb ist eine Dichtheitsprüfung der Kanäle notwendig.

In Österreich sind zwar Normen, die auf die Dichtheitsprüfung eingehen, vorhanden, jedoch wird nicht zwischen der Dichtheitsprüfungen zur Bauabnahmen und der Dichtheitsprüfungen von in Betrieb befindlichen Kanälen unterschieden. Egal ob es eine Bauabnahme oder eine Wiederholungsprüfung ist; es wird mit den gleichen Methoden und unter den gleichen Bedingungen geprüft. Bei in Betrieb befindlichen Kanälen herrschen jedoch andere Umstände und Bedingungen auf die eingegangen werden sollte um die Dichtheitsprüfung, vor allem auch in wirtschaftlicher Hinsicht, effizienter zu gestalten.

Zwei mögliche Methoden zur Dichtheitsprüfung wurden diskutiert und auf Praxistauglichkeit bei „alten“ Kanälen untersucht:

- eine neue Methode zur Wasserdruckprüfung
- ein neuer Ansatz zur Luftdruckprüfung

Bei der neuen Methode der Wasserdruckprüfung wird der zu prüfende Abschnitt, der sich aus Haltung und Schacht zusammensetzt, mit Prüfdichtkissen verschlossen. Danach wird der Abschnitt mit Wasser gefüllt. Als Prüfmedium kann entweder, falls genügend Menge vorhanden ist, Abwasser genommen werden oder das Wasser muss von einem Tankwagen in den Abschnitt eingebracht werden. Wenn die erforderliche Einstauhöhe erreicht ist, wird mit der Messung begonnen. Bei dem Messgerät handelt es sich um eine Kombination von einer Gewichtswaage und einem Eintauchkörper. Es misst auf Basis des archimedischen Prinzips. Somit kann der Wasserspiegel mit einer Genauigkeit von 0,05 mm gemessen werden. Über die Änderung des Wasserspiegels errechnet ein Softwareprogramm die Wasserverlustmenge. Bei dieser Methode der Wasserdruckprüfung müssen ebenfalls alle Zuleitungen in den zu prüfenden Kanalabschnitt abgedichtet werden. Durch die geringen zulässigen Wasserverluste, impliziert durch die kurze Prüfzeit, führen schon geringe Wassermengen zu einer Verfälschung des Messergebnisses. Somit ist die Problematik von „Blindanschlüssen“ auch bei dieser Prüfungsmethode gegeben.

Bei dem neuen Ansatz der Luftdruckprüfung wird die zu prüfende Haltung mit Prüfdichtkissen dicht verschlossen. Anschließend wird ein Anfangsprüfdruck von circa 100 mbar aufgebracht und über die Beruhigungszeit gemessen. Die Versuche wurden bei einem PVC Rohr mit einem Durchmesser von 300 mm durchgeführt. Die ÖNORM gibt für einen PVC Kanal mit einem Durchmesser von 300 mm, bei einer Beruhigungszeit von 3 min, einer Prüfzeit von 11 min einen zulässigen Druckverlust von 15 mbar an. Die Prüfzeit betrug somit 3 min, mit einem zulässigen Druckverlust von 15 mbar/11min In der letzten Minute der Prüfung muss der Druckverlust also weniger als 1,36 mbar betragen, damit die Rohrleitung als dicht bewertet werden darf.

Beide Prüfungsmethoden wurden in einigen Versuchsreihen untersucht. Es wurde mit den erzielten Ergebnisse der Versuchsreihen bewiesen, dass sowohl mit der neuen

Methode der Wasserdruckprüfung als auch mit dem neuen Ansatz der Luftdruckprüfung bestimmt werden kann, ob ein Kanal als dicht oder undicht zu bewerten ist.

Bei der Versuchsreihe der neuen Methode der Wasserdruckprüfung wurden Variationen bei der Prüfzeit, bei dem Prüfdruck und bei dem Leckblendenlochdurchmesser durchgeführt. Die Variation des Leckblendenlochdurchmessers wurde durchgeführt um den zulässigen Wasserverlust eine kritische Leckfläche zuzuordnen und die Ergebnisse mit anderen Versuchsdurchführungen vergleichen zu können. Der kritische Lochdurchmesser der Leckfläche befindet sich zwischen 0,5 und 0,6 mm bei einem Grenzwert von 0,02 l/m² in 5 min Prüfzeit. Die Ergebnisse der Variation des Prüfdruckes (Wassersäule) zeigen, dass der Unterschied des Prüfdruckes das Ergebnis zwar beeinflusst, dass aber dieser Unterschied gering ist. Außerdem wurde gezeigt, dass sowohl mit 5 min als auch mit 2,5 min geprüft werden kann.

Auch bei dem neuen Ansatz der Luftdruckprüfung wurde festgestellt, dass dieser trotz der variablen Prüfbedingungen aussagekräftige Ergebnisse erzielt. Es wurden Variationen bei dem Prüfdruck, der Aufbringungszeit des Anfangsdruckes und der Leckblendenlochdurchmesser durchgeführt. Es wurde bewiesen, dass unterschiedliche Aufbringungszeiten keine Auswirkungen auf die Ergebnisse haben. Bei der Variation der Prüfdruckbereiche sind, ähnlich wie bei der Wasserdruckprüfung, leichte Unterschiede bei dem Druckverlust zu erkennen.

Durch die extreme Verkürzung der Prüfzeit ist bei beiden Methoden das Problem der stärkeren Auswirkung von eventuellen Messfehlern auf das Ergebnis gegeben. Bei der neuen Methode zur Wasserdruckprüfung traten im Gegensatz zur Luftdruckprüfung während der Versuchsdurchführung allerdings keine Probleme auf. Bei der Luftdruckprüfung ist durch die Unmöglichkeit der Aufbringung eines exakten Prüfdruckes in einer genau definierten Zeit ein Auftreten von Messfehlern wahrscheinlicher als bei der Wasserdruckprüfung.

Die Vorteile der neuen Prüfungsmethoden liegen nicht nur in der reinen Einsparung der Prüfzeit, sondern auch in der Vermeidung von Rückstau bzw. Maßnahmen zur Wasserhaltung (Umleitung, etc.) durch die kurze Prüfzeit.

Um einen besseren Überblick über ökonomische Vorteile der in dieser Arbeit untersuchten Methoden geben zu können, wurde eine Kostenanalyse durchgeführt. In dieser werden die Wasser- und Luftdruckprüfung nach ÖNORM B 2503 der neuen Methode der Wasserdruckprüfung und dem neuen Ansatz der Luftdruckprüfung gegenübergestellt in drei verschiedene Szenarien gegenübergestellt. Die neue Methode der Wasserdruckprüfung schneidet mit Abstand am besten ab, gefolgt von dem neuen Ansatz der Luftdruckprüfung, der etwas günstiger als die Luftdruckprüfung nach ÖNORM B 2503 ist. Das Schlusslicht beim Kostenvergleich ist wie erwartet die Wasserdruckprüfung nach ÖNORM B 2503.

Nach den durchgeführten Analysen und Versuchen wird der neuen Methode der Wasserdruckprüfung sehr viel Potential eingeräumt. Hingegen wird auf Grund der geringen Kosteneinsparnis und der stärkeren Einwirkung eventueller Messfehler auf die Dichtheitsaussage, eine generellen Umstellung der Luftdruckprüfung nach ÖNORM B 2503 auf die Luftdruckprüfung mit neuem Ansatz nicht empfohlen.

9. Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse der Arbeit enthalten keine Festlegung der Prüfungskriterien. Um Prüfkriterien festlegen zu können, müsste näher auf die umweltrelevante Einwirkung in Zusammenhang mit der Menge des durch ein Leck austretenden Wasserverlustes eingegangen werden.

Durch die Versuche und die dazugehörigen Ergebnisse wurden einige Fragen aufgeworfen, die aufgrund des Umfangs nicht beantwortet werden konnten:

Bei den Grafiken zum Wasserverlust bei verschiedenen Leckgrößen bei den Wasserdruckprüfungen ist auffällig, dass zwischen dem Leckblendenlochdurchmesser 0,6 mm und 0,85 mm ein Knick in der Wasserverlustkurve sichtbar ist. Dieser Knick ist noch deutlicher sichtbar in der Gegenüberstellung mit dem berechneten Wasserverlust. Um die Ursache heraus zu finden, müssten die Versuchsreihen ausgeweitet werden.

Durch die Ergebnisse ist ersichtlich, dass eine Verminderung des Prüfdruckes nicht allzu große Auswirkungen auf den Prüfmedienverlust hat. Die großen Prüfdrücke haben negative Auswirkungen auf die Nutzungsdauer der Rohre. Es stellt sich nun die Frage wie groß diese negativen Auswirkungen wirklich sind und ob in Folge eine Abminderung der Prüfdrücke zielführend wäre.

Dadurch, dass bei der neuen Methode der Wasserdruckprüfung als Prüfmedium Abwasser verwendet werden kann, wäre es interessant zu prüfen, ob es Unterschiede gibt, wenn man als Prüfmedium statt Reinwasser, Abwasser verwendet.

10. Literaturverzeichnis

- ATV-DVWK (2004): ATV-DVWK A 143 Teil Dichtheitsprüfungen bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte Luftüber- und Unterdruck-Inspektion, Instandsetzung, Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen
- BLFW (2002): Bayerische Landesamt für Wasser - Prüfung alter und neuer Abwasserkanäle Teil 3: Dichtheitsprüfung von Grundstücksentwässerungsleitungen im Freispiegelabfluss, Merkblatt Nr. 4.3/6, Stand 15.04.2002, Online im Internet: URL: http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/merkblattsammlung/teil4_oberirdische_gewaesser/doc/nr_436_teil3.pdf [Abruf 23.06.2011]
- DEUTSCHMAN, S (2011): Straßenpolizeiliche Absicherungsmaßnahmen bei Revisions- und Wartungsarbeiten sowie Baumaßnahmen bei Kanälen, nicht veröffentlichte Präsentation
- DOBRINSKI, P., KRAKAU, G., VOGEL, A. (2010): Physik für Ingenieure, 12. Auflage, GWV Fachverlag, Wiesbaden
- DOHMANN, M. (1999): Wassergefährdung durch undichte Kanäle, Erfassung und Bewertung, Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- DOHMANN, M. (2006): Sind Umweltbelastungen infolge undichter Abwasserkanäle mit der Daseinsfürsorge vereinbar?, Gemeinschaftstagungsband: Undichte Kanäle- (k)ein Risiko?, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef
- DOMSCHKE, W., SCHOLL, A. (2005): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- EG-BAUARTZULASSUNGSSCHEIN, 2007: EC type approval certificate Nr. A 0445/2725/2007, Nichtselbsttätige Waage der Bauart DLG, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
- ERTL, T., HAMPEL, R. (2007): Rohrleitungsbau und Sanierung, Skript Kanalbetrieb und Management LVA-Nr. 811.317
- ERTL, T. (2011): persönliche Mitteilung, Institut für Siedlungswasserbau, Industriebau und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur
- EGGER, H. (2011a): persönliche Mitteilung, akkreditierte Prüf- und Inspektionsstelle
- EGGER, H. (2011b): VÖEB - ÖWAV Kanaldruckprüfungskurs, Grundlagen der Dichtheitsprüfung, Kursunterlagen
- EGGER, T. (2011): persönliche Mitteilung, akkreditierte Prüf- und Inspektionsstelle
- HABERL, R. (2009): Skript, 811.306/811.345 – Technologien und Infrastrukturen in Siedlungswasserbau, Industriebau und Gewässerschutz
- HARING, H. (2001): Vergleichende Versuche zur Kanaldichtheitsprüfung nach ÖNORM EN 1610 und ÖNORM B 2503, Diplomarbeit
- HOFER, H. (2011): Prüfung bestehender Kanäle mit verkürzter Prüfzeit, Nicht veröffentlichte Präsentation bei Normungskomitee ON K 120
- HUA, J., AN, P., WINTER, J., GALLERT, C. (2006): Elimination von organischen und anorganischen Verunreinigungen, sowie von Bakterien bei der Versickerung von kommunalem Abwasser im Untergrund unter undichten Kanälen,

Gemeinschaftstagungsband: Undichte Kanäle- (k)ein Risiko?, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef

KAINZ, H., GANGL, G. ERTL, T. (2006): Funktionsfähigkeit von Kanalisation in Österreich, Tagungsband zum Seminar Kanalfunk, Verlag der Technischen Universität Graz

KAMMERER, G. (2009): Hydraulik und Hydromechanik –Übungsteil, Skript LVA –Nr. 815.100

KAMMERER, G. (2011): persönliche Mitteilung, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft (IHLW), BOKU

KAUFMANN, O. (1999): Dichtheitsprüfungen an Abwasserkanälen und –leitungen, Vulkan- Verlag, Essen

KÖRKEMEYER, K. (2001): Konventionelle und neue Möglichkeiten der Dichtheitsprüfung, Online im Internet: URL: <http://www.ikt.de/iktnewsneu.php?doc=82> [Abruf 12.10.2011]

LEBENSMINISTERIUM (2011): Online im Internet: URL: <http://www.lebensministerium.at/wasser>; [Abruf 12.11. 2011]

LOISKANDL; W. (2009): Hydraulik und Hydromechanik, Skript Version 09.2.1 LVA – Nr. 815.100

ÖNORM EN 752 (2008): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden

ÖNORM EN 1610 (1998): Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –Kanälen

ÖNORM B 2503 (2009) Kanalanlagen –ergänzende Richtlinien für die Planung, Ausführung und Prüfung

ÖWAV (2011a): ÖWAV-RB 22 - Wartung und Überprüfung von Kanalanlagen, Entwurfvorlage 2011

ÖWAV (2011b): ÖWAV-RB 42 - Unterirdische Kanalsanierung - Hauskanäle

POLLINGER, R. (2009): Multikriterielle funktionale Bewertungen von Hauskanälen in Entwässerungssystemen, Diplomarbeit

SANITÄR HEINZUNG KLIMA INFORMATION (2011): Online im Internet: URL: <http://www.bosy-online.de/Rueckstau.htm> [Abruf 02.07.2011]

SAUBERMACHER (2011): Prüfbericht der TV- Inspektion, Fa. Saubermacher Aqua Services

STVO, 1960: Straßenverkehrsordnung 1960, StF: BGBl. Nr. 159/1960 idF BGBl. I, Online im Internet: URL: http://www.internet4jurists.at/gesetze/bg_stvo01.htm [Abruf 07.11.2011]

TURKOVIĆ, R., RODDEWIG J., FUCHS, S. (2006): Prozesse der Selbstabdichtung-Ursachen, Dynamik, Langzeitverhalten, Gemeinschaftstagungsband: Undichte Kanäle- (k)ein Risiko?, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef

VETTER, FA. (2011): Online im Internet: URL: <http://www2.vetter.de/Main/ProductCategories,11,55.aspx> [Abruf 25.11.2011]

WASSER UND ABWASSER (2011): Online im Internet: URL: <http://www.wasser-und-abwasser.de/kanal-rueckstau.html> [Abruf: 21.10.2011]

WETZSTEIN, K. (1999): Die allgemeine Gasgleichung, Online im Internet: URL: <http://www.k-wz.de/waerme/gasgleichung.html> [Abruf 16.11.2011]

WOLF, L., KLINGER, J., HÖTZL, H., EISENWIRTH, M. (2006): Gefährdungspotential von Boden und Grundwasser durch Kanalleckagen am Beispiel einer mittelgroßen Stadt, Gemeinschaftstagungsband: Undichte Kanäle- (k)ein Risiko?, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef

WRG (2011): Wasserrechtsgesetz 1959 BGBl. Nr. 215/1959 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 14/2011, Online im Internet: URL: <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010290> [Abruf 04.09.2011]

ZULASSUNGSSCHEIN, 2010: Ausnahmsweise Zulassung zur Eichung GZ 4256 / 2009 vom 5. Februar 2010, Messgerät für Druck der Bauart UPTS- 2, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwurf Ablaufschema Dichtheitsattest von Kanälen, analog zu ÖWAV RB 42 (ÖWAV, 2011a).....	11
Abbildung 2: Ausfluss aus kleinen Öffnungen (LOISKANDL, 2009).....	15
Abbildung 3: Zustandsänderung bei einer konstanten Zustandsgröße (WETZSTEIN, 1999).....	16
Abbildung 4: Druckverlustkurve im Bereich von 100 mbar und bei konstantem Volumen	17
Abbildung 5.: Überblick der Grundvarianten 1-4 von Einstiegsschachtordnungen für Hauskanäle (POLLINGER, 2009).....	19
Abbildung 6: Rückstau und Rückstauenebene (SANITÄR HEIZUNG KLIMA INFORMATIONEN, 2011).....	23
Abbildung 7: Kanalkatasterausschnitt, Carl Zellergasse, Leitring, Gemeinde Wagna.....	25
Abbildung 8: Dichtkissen, hier Prüfdichtkissen (VETTER, 2011).....	26
Abbildung 9: UPTS, Ser. Nr.: 2001 mit W110-2 Ser. Nr.: 1701.....	27
Abbildung 10: Eintauchkörper.....	28
Abbildung 11: Pegelmessgerät DLG, Ser. Nr.: 001 (Ausführung: Gewichtswaage mit Eintauchkörper).....	28
Abbildung 12.: Leckblende mit 0,85 mm Lochbohrung und 25 mm Aussendurchmesser	29
Abbildung 13.: Prinzipskizze der neuen Methode der Wasserdruckprüfung.....	30
Abbildung 14.: Einstauhöhe im Schacht, 30 cm über erster Schachtfuge.....	31
Abbildung 15.: Angeschlossenes Dichtkissen (Prüfdichtkissen) für die Prüfung mit Luft	32
Abbildung 16.: Anschlüsse für die Prüfung mit Luft.....	33
Abbildung 17.: Messung in der Beruhigungszeit (HOFER, 2010).....	34
Abbildung 18.: Bestimmung der ausgetretenen Wassermenge mittels Messzylinder.....	36
Abbildung 19: Gemessener Wasserverlust mit neuer Methode und Kontrollmessung....	37
Abbildung 20.: Wasserverlust bei 1m Wassersäule über erster Schachtfuge und 2,5 min Prüfzeit.....	38
Abbildung 21.: Wasserverlust bei 0,3 m Wassersäule über erster Schachtfuge und 2,5min. Prüfzeit.....	38
Abbildung 22.: Wasserverlust bei 1m Wassersäule über erster Schachtfuge und 5 min Prüfzeit.....	39
Abbildung 23.: Wasserverlust bei 0,3 m Wassersäule über erster Schachtfuge und 5min Prüfzeit.....	39
Abbildung 24.: Vergleich des Wasserverlustes bei einer Wassersäule von 0,3 m und 1 m bei 2,5 min Prüfzeit.....	40
Abbildung 25.: Vergleich des Wasserverlustes bei einer Wassersäule von 0,3 m und 1 m bei 5 min Prüfzeit.....	41
Abbildung 26.: Gegenüberstellung der Prüfzeit mit 0,3 m Einstau über erster Schachtfuge.....	42

Abbildung 27.: Gegenüberstellung der Prüfzeit mit 1 m Einstauhöhe über erster Schachtfuge	43
Abbildung 28.: Vergleich des Wasserverlust zwischen der Prüfung nach ÖNORM B 2503 und der neuen Prüfungsmethode	44
Abbildung 29.: Wasserverlustmenge mit variiertem Druck	46
Abbildung 30.: Vergleich der Ergebnisse zwischen Berechnung (W0,3 Berechnung, W1 Berechnung) und Versuchsdurchführung (W0,3 Messung, W1 Messung)	48
Abbildung 31.: wellenartige Ausbreitung des Rückstaus bei nicht verschlossenen Zubringer, Prüfungsprotokoll 43.....	50
Abbildung 32.: Undichter Kanalabschnitt, Prüfungsprotokoll 44	50
Abbildung 33.: Erste Kontrollprüfung des undichten Kanals, Prüfprotokoll 45.....	51
Abbildung 34.: Zweite Kontrollprüfung des undichten Kanals, Prüfprotokoll 46	52
Abbildung 35.: Kalksteinbildung im Bereich der Muffen (SAUBERMACHER, 2011)	52
Abbildung 36.: Druckverlustkurve bei dichtem Kanal mit rund 225 mbar Anfangsdruck und 3 min Prüfzeit	54
Abbildung 37.: Druckverlustkurve bei dichtem Kanal mit rund 220 mbar Anfangsdruck und 3 min Prüfzeit	55
Abbildung 38.: Druckverlustkurve bei dichtem Kanal mit rund 210 mbar Anfangsdruck und 3 min Prüfzeit	55
Abbildung 39.: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,35 mm mit variiertem Anfangsdruck und unterschiedlicher Aufbringungszeit	57
Abbildung 40.: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,5 mm mit variiertem Anfangsdruck und unterschiedlicher Aufbringungszeit	58
Abbildung 41.: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,6 mm mit variiertem Anfangsdruck und unterschiedlicher Aufbringungszeit	60
Abbildung 42.: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,85 mm mit variiertem Anfangsdruck und unterschiedlicher Aufbringungszeit	61
Abbildung 43.: Druckänderung bei 100 mbar und schnellem Aufbringen	62
Abbildung 44.: Druckänderung bei 200 mbar und schnellem Aufbringen	62
Abbildung 45.: Druckänderung bei 100 mbar und langsamen Aufbringen	63
Abbildung 46.: Druckänderung bei 200 mbar und langsamen Aufbringen	63
Abbildung 47.: Vergleich der Druckänderungen zwischen der Prüfung nach ÖNORM B 2503 und der Prüfung nach neuem Ansatz	64
Abbildung 48.: Ergebnismatrix (DOMSCHKE, SCHOLL, 2005).....	65
Abbildung 49.: Vergleich der Ergebnisse der Kostenanalyse	74

12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beziehung zwischen Ziel und Funktionalanforderung (ÖNORM EN 752, 2008)	6
Tabelle 2: Prüfdruck, Druckabfall und Prüfzeiten für die Prüfung mit Luft (ÖNORM EN 1610, 1998)	7
Tabelle 3: Prüfdruck, Druckabfall und Prüfzeit mit Luft, die obere Tabelle beinhaltet die Angaben für LE- Prüfung, die untere Tabelle beinhaltet die Angaben für LF- Prüfung (ON EN 1610, 1998)	9
Tabelle 4: Erforderliche Prüfzeiten [min] bei der haltungs- bzw. abschnittswisen Dichtheitsprüfung mit Luftüber- bzw. Unterdruck (ATV-DVWK, 2004)	13
Tabelle 5: Versuchsplan für die Wasserdruckprüfung	21
Tabelle 6.: Versuchsplan für die Luftdruckprüfung	21
Tabelle 7: Vergleich des Wasserverlustes bei einer Wassersäule von 0,3 m und 1 m bei 2,5 min Prüfzeit	41
Tabelle 8: Vergleich des Wasserverlustes bei einer Wassersäule von 0,3 m und 1 m bei 5 min Prüfzeit	42
Tabelle 9: Berechnung der Wasserverluste bei unterschiedlichen Wassersäulen	46
Tabelle 10: Berechnung der Wasserverluste bei unterschiedlichen Leckblenden	47
Tabelle 11: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,35mm	56
Tabelle 12: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,5 mm	57
Tabelle 13: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,6 mm	59
Tabelle 14: Druckverlust bei einem Leckblendenlochdurchmesser von 0,85 mm	60
Tabelle 15: Ergebnismatrix	69
Tabelle 16: Kostenermittlung der Handlungsalternative 1 in Szenario 1	70
Tabelle 17: Kostenermittlung der Handlungsalternative 1 in Szenario 2	70
Tabelle 18: Kostenermittlung der Handlungsalternative 1 in Szenario 3	71
Tabelle 19: Kostenermittlung der Handlungsalternative 2 in Szenario 1	71
Tabelle 20: Kostenermittlung der Handlungsalternative 2 in Szenario 2	71
Tabelle 21: Kostenermittlung der Handlungsalternative 2 in Szenario 3	72
Tabelle 22: Kostenermittlung der Handlungsalternative 2 in SubszENARIO 3.1	72
Tabelle 23: Kostenermittlung der Handlungsalternative 3 in Szenario 1	72
Tabelle 24: Kostenermittlung der Handlungsalternative 3 in Szenario 2	73
Tabelle 25: Kostenermittlung der Handlungsalternative 4 in Szenario 1	73
Tabelle 26: Kostenermittlung der Handlungsalternative 4 in Szenario 2	73
Tabelle 27: Endergebnisse der Kostenanalyse	74

13. Lebenslauf:

Name: Sophie Gunzl

Geburtsdatum: 22.07.1986

Eltern: Elfriede Gunzl, Dipl.Ing. Karl Heinz Gunzl

Wohnort: Franz Schubertgasse 1., A-2351 Wr. Neudorf



Ausbildung:

Volksschule: Von 1992-1996 besuchte ich die Volksschule Europaplatz in Wr. Neudorf.

Bundesgymnasium: In der sechsten Klasse verbrachte ich ein Semester in Irland um meine Englischkenntnisse zu verbessern. 2004 maturierte ich am Bundesgymnasium Mödling/ Fachrichtung: Bio- Chemie.

Universität: Im Wintersemester 2009/2010 schloss ich das Bachelorstudium in Kulturtechnik und Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur ab. Seit dem Sommersemester 2010 studiere ich Wasserwirtschaft und Umwelt. Ich habe meine Masterarbeit bereits geschrieben und werde im Februar mein Masterstudium in Wasserwirtschaft und Umwelt abschließen.

In meiner Universitätszeit arbeitete ich an einigen interessanten Projekten mit, wobei ich einige anführen möchte:

- Hochbauprojekt (Entwurf eines Pavillons mit einer Brücke mit dem Thema „Technik und Natur“)
- Konstruktionsprojekt (Berechnung eines Bauwerks sowohl händisch als auch mit Hilfe eines Programms „RFEM“)
- Vermessungsprojekt (Aufnahme und kartographische Darstellung eines Geländes)
- Gewässerkundeprojekt (Ermittlung von spezifischen Gewässerdaten)
- Wasserbauprojekt (Renaturierung einer Pilotstrecke der Schwechat)
- Bakkalaureatsarbeit : „Der Einfluss von Tonmineralien auf Massenbewegungen am Beispiel Gschlifgraben“

-
- Konstruktives Wasserbauprojekt (Planung und Berechnung einer Kleinwasserkraftanlage)
 - Fächerübergreifendes Projekt : „Hochwasserereignis in Niederösterreich 2010 – hydrologische Erkenntnisse und Gefahrenabschätzung“
 - Abfallseminararbeit: „Design von Recycling und Reuse bei Elektronikprodukten“
 - Masterarbeit: „Bewertung von Methoden zur Dichtheitsprüfung von im Betrieb befindlichen Kanälen“
 - Mitarbeit am Austrian Standards Institute zur Novellierung der ÖNORM B 2503

Ferialjobs:

Juni 2002: Verkäuferin in einem Geschäft in Arklow/ Irland

Juli 2003: Bürokräft bei der Firma Porr

Dez. 2004: Promotorin bei einer Zeitschrift

Aug. 2005: Langes Feld (Bodenprobenmessungen und Auswertungen)

Aug. 2006: Langes Feld (Bodenprobenmessungen, Labor- und Vermessungsarbeiten)

Juli 2007: Porr Umwelttechnik GmbH, Untergrunderkundung

Juli 2008: Porr Umwelttechnik GmbH, Untergrunderkundung

Aug. und Sept. 2009: Water & Waste (Geotechnisches Labor, Altlastensanierung)

Feb. und März 2011: Porr Umwelttechnik, ARGE W 18