

1990

3

„Alle Gewässer einschließlich des Grundwassers sind im Rahmen des öffentlichen Interesses und nach Maßgabe der folgenden Bestimmungen so reinzuhalten, daß die Gesundheit von Mensch und Tier nicht gefährdet, Grund- und Quellwasser als Trinkwasser verwendet, Tagwässer zum Gemeingebrauche sowie zu gewerblichen Zwecken genutzt, Fischwässer erhalten, Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes und sonstige fühlbare Schädigungen vermieden werden können.“
Zitat §30, Wasserrechtsgesetz

Ist die Dichtheits-ÖNORM für Kanalanlagen u n d i c h t ?

Von R.H. Logar und H. Egger

Kurzfassung/Summary

Die Richtlinien der ÖNORM B2503 für die Prüfung der Dichtheit von Ortskanalanlagen werden kritisch durchleuchtet. Eine prinzipielle Diskrepanz zwischen den Dichtheitskriterien für die Prüfung mit Wasser und Luftüberdruck wurde durch Theorie und Versuch nachgewiesen. Änderungsvorschläge werden vorgestellt.

A critical review of the ÖNORM B2503 standards for leakage tests of waste water piping is made. By theoretical studies and tests a basic discrepancy was detected between the standards for leakage tests with water and pressurized air. Proposals for modified standards are presented.

NEUE ADRESSE

~~Herbert EGGER
Kanal - Dichtkontrolle
8412 Allerheiligen 77
Tel. 031 82 / 85 88, Auto 0 863 / 327 66
Fax 0 31 82 / 85 88~~

Akk. Prüf- u. Überwachungsstelle
für Druck-/ Dichtheitsprüfungen
Herbert EGGER
8521 Wettmannstätten 125
Tel. 03185 - 31 86 Fax DW 4
Mobil: (+43) 0664/ 300 20 90



~~Herbert Egger
Kanaldichtkontrolle
Kastelfeldgasse 45
A-8010 Graz~~

Reinhold Hans Logar
TU Graz
Kopernikusgasse 24
A-8010 Graz

Einleitung

Der überwiegende Anteil an Kanaldichtkontrollen erfolgt in Österreich durch Prüfung mit Luftüberdruck. Hauptgründe dafür sind die Ersparnisse an Zeit und Kosten gegenüber einer Prüfung mit Wasser. In der ÖNORM B2503, derzeit gültiger Stand vom 1. März 1988, sind die Richtlinien für die Prüfung der Dichtheit von Ortskanalanlagen festgelegt. Die jahrelange Prüfpraxis der Fa. Egger hat gezeigt, daß bei der Dichtheitsprüfung mit Luft, Kanäle mit kleinem Nenn Durchmesser weit aus häufiger als undicht eingestuft werden mußten als Kanäle mit großen Nennweiten. Diese Erfahrung gab den Anstoß, die Richtlinien der ÖNORM B2503 zur Dichtheitsprüfung kritisch zu durchleuchten.

1. Theoretische Überlegungen

Für die Feststellung der Dichtheit sind die zwei Prüfverfahren mit Wasser bzw. Luft zugelassen. Im Idealfall sollte sich bei der Anwendung beider Prüfmethoden auf denselben Kanalabschnitt dieselbe Aussage ergeben - z.B.: dicht; gerade noch dicht oder undicht. Zunächst soll durch theoretische Überlegungen untersucht werden, ob die beiden in der ÖNORM B2503 beschriebenen Prüfmethoden zu denselben Aussagen führen oder nicht.

Jedes Leck kann durch eine gedachte, wirksame Öffnung mit gleicher Drosselwirkung ersetzt werden. Was dabei zu beachten ist, wird im Abschnitt 1.3 behandelt. Im Weiteren wird der Begriff *wirksame Leckfläche* verwendet. Darunter ist die Fläche A_{eff} einer gedachten Öffnung mit dem gleichen Durchfluß wie das wirkliche Leck zu verstehen, in der die Druckdifferenz vollständig in homogene, kinetische Energie des Leckstrahles umgewandelt wird.

1.1 Prüfung der Dichtheit mit Wasser

Die ÖNORM B2503 schreibt für die Dichtheitsprüfung mit Wasser einen konstanten Überdruck von 0,5 bar während der 15 minütigen Prüfdauer an der Kanalsohle vor. Es wird angenommen, daß sich an der Kanalsohle ein Leck befindet, durch das stationär Wasser ausströmt. An der Kanalaußenwand wird Luftdruck vorausgesetzt. Für den Ausströmvorgang gilt unter den genannten Bedingungen die bekannte Ausflußgleichung

$$Q = A_{eff} \sqrt{2\Delta p/\rho} \quad [m^3/s] \quad (1)$$

Da der Prüfdruck bzw. die Druckdifferenz während der Prüfzeit konstant ist, bleibt auch die sekundlich ausströmende Wassermenge Q konstant. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich für die Prüfzeit t ein Wasserverlust von

$$W = Q \cdot t = A_{eff} \sqrt{2\Delta p/\rho} \cdot t \quad [m^3] \quad (2)$$

Nach der Umrechnung des Wasserverlustes von $[m^3]$ in $[l]$ und dem Zusammenfassen der unveränderlichen Größen zur Konstanten C_w ergibt sich die einfache Bezie-

hung

$$W [l] = C_w \cdot A_{eff} \quad (3)$$

Bei einer Dichtheitsprüfung interessiert in erster Linie der Wasserverlust durch Undichtheiten. Wir lassen daher zunächst eine eventuelle Wasseraufnahme durch die Kanalwand außer Betracht. Die ÖNORM B2503 gibt zulässige Wasserzugaben in Liter pro m^2 Kanalinnenfläche an. Im Sinne der Norm kann man die Glg(3) durch die Kanalinnenfläche I dividieren und erhält dann den zulässigen Wasserverlust je m^2 Kanalinnenfläche

$$w_{zul} [l/m^2] = C_w \cdot \frac{A_{eff,zul}}{I} \quad (4)$$

D.h. die Grenze zwischen dicht und undicht, laut ÖNORM, entspricht der Fläche eines „Grenzlecks“ je m^2 Kanalinnenfläche. Andere Dichtheitskriterien sind möglich, führen aber zu grundsätzlich anderen Aussagen bzw. Prüfvorschriften.

Die vom Kanalwerkstoff abhängigen, unterschiedlichen, zulässigen Wassermengenzugaben von $0,03 l/m^2$ bis $0,20 l/m^2$ erlauben keine Unterscheidung zwischen der Wasseraufnahme durch den Werkstoff und dem eigentlich interessierenden Wasserverlust infolge von Undichtheiten. Man kann die ÖNORM-Richtlinien einerseits so deuten, daß die Wasseraufnahme bei der Dichtheitsprüfung trotz einstündiger Vorbefeuchtung bzw. Vorfüllung bis zu 6 mal größer als der Wasserverlust sein kann. Andererseits dürfen poröse Kanalwerkstoffe mit $0,20 l/m^2$ zulässiger Wassermengenzugabe bei ausreichender Vorbefeuchtung, z.B. 24 Stunden, nahezu den 7 fachen Wasserverlust gegenüber den dichten Werkstoffen aufweisen.

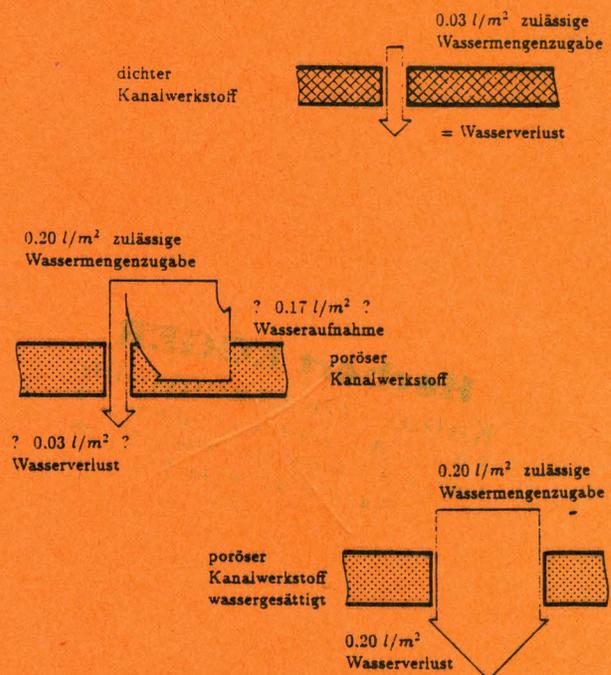


Abb. 1 Wasseraufnahme und Wasserverlust

Dieser Zustand ist unbefriedigend und kann zu Wettbewerbsverzerrungen führen, die nicht im Sinne des Umweltschutzes sind.

1.2 Prüfung der Dichtheit mit Luft

Für die Dichtheitsprüfung mit Luft schreibt die ÖNORM B2503 das Aufbringen eines Überdruckes von 0,30 bar in der Prüfstrecke vor. Nach dem Abwarten der Beruhigungszeit, in der sich die Lufttemperatur der Kanalwandtemperatur angleicht, ist der Luftdruck in der Prüfstrecke auf genau 0,30 bar einzustellen.

„Die Prüfung gilt als bestanden, wenn ab Erreichen des Prüfdruckes von 0,30 bar

- (1) innerhalb von 15 min kein Druckabfall auf weniger als 0,25 bar feststellbar ist oder
- (2) nach einem Abfall auf 0,25 bar innerhalb einer Zeit von weniger als 15 min innerhalb weiterer 15 min ab Messung des Luftdruckes von genau 0,25-bar der Druck nicht unter 0,20 bar absinkt.“

Im Folgenden wird unter der Annahme eines Lecks der Ausströmvorgang bzw. der damit zusammenhängende Druckabfall in der Prüfstrecke berechnet.

Berechnungsannahmen :

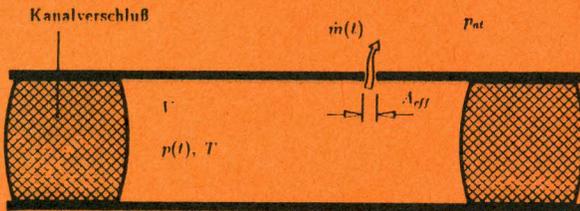


Abb. 2 Kanalabschnitt mit einem Leck

V	.....	Volumen der Prüfstrecke	[m ³]
p(t)	.....	absoluter Druck in der Prüfstrecke	[N/m ²]
p _{at}	.....	absoluter Atmosphärendruck	[N/m ²]
T = konst	...	absolute Temperatur der Luft in der Prüfstrecke	[°K]
A _{eff}	.....	wirksame Leckfläche	[m ²]
m-dot(t)	.....	ausströmende Luftmasse	[kg/s]

Wie eine Abschätzung des Wärmeüberganges von der Kanalwand an die Luft in der Prüfstrecke zeigt, ändert sich die Lufttemperatur während des Prüfvorganges nur sehr wenig. Daher wird die Zustandsänderung der Luft in der Prüfstrecke isotherm, T = konst., angenommen.

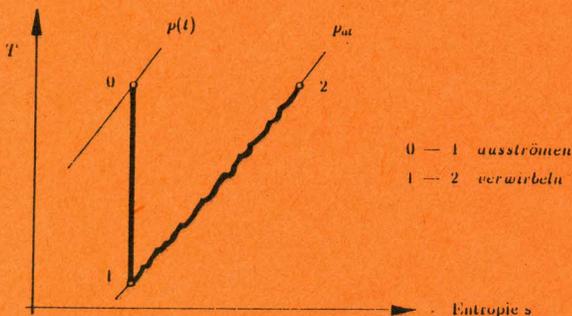


Abb. 3 T-s Diagramm des Auströmvorganges

Für den Ausströmvorgang der Luft durch das Leck wird isentrope Zustandsänderung angenommen. In unserem Fall bleibt die Geschwindigkeit der ausströmenden Luft immer kleiner als die Schallgeschwindigkeit, da das Druckverhältnis immer unterkritisch $p_{at}/p > 0,528$ ist. Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich nach Lit. [2] für die ausströmende Luftmasse

$$\dot{m} = - A_{eff} p \sqrt{\frac{2 \kappa}{RT(\kappa - 1)} \left[\left(\frac{p_{at}}{p} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_{at}}{p} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]} \quad (5)$$

Das negative Vorzeichen wird eingeführt, da das Ausströmen eine Massenabnahme für die Luft in der Prüfstrecke bedeutet. Aus der thermischen Zustandsgleichung für die Luft in der Prüfstrecke, ideales Gas vorausgesetzt,

$$p V = m R T \quad (6)$$

kann der Zusammenhang zwischen der Massenabnahme und der Zustandsänderung abgeleitet werden. Mit der bereits begründeten Voraussetzung T = konst. und V = konst. ergibt sich durch Bilden der zeitlichen Ableitung von Glg(6)

$$\dot{p} V = \dot{m} R T \quad (7)$$

bzw.

$$\frac{dp}{dt} = \dot{m} \frac{RT}{V} \quad (8)$$

Für m-dot kann die rechte Seite von Glg(5) eingesetzt werden. Nach Trennung der Variablen erhält man

$$dt = - \frac{V dp}{A_{eff} p \sqrt{\frac{2 \kappa}{(\kappa - 1)} RT \left[\left(\frac{p_{at}}{p} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_{at}}{p} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]}} \quad (9)$$

Diese Gleichung wird nun integriert und ergibt den Zusammenhang zwischen der Ausströmzeit t und dem Druck in der Prüfstrecke p(t)

$$t = \frac{V}{A_{eff} \sqrt{\frac{2 \kappa}{\kappa - 1} RT}} \int_{p_0}^{p_t} \frac{-dp}{p \sqrt{\left[\left(\frac{p_{at}}{p} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_{at}}{p} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]}} \quad (10)$$

Für einen bestimmten Enddruck p_t hat das Integral einen fixen Wert: Int(p_t). Löst man die Gleichung nach der wirksamen Leckfläche auf

$$A_{eff} = \frac{Int(p_t)}{\sqrt{\frac{2 \kappa}{\kappa - 1} RT}} \frac{V}{t} \quad (11)$$

und setzt die in der ÖNORM B2503 festgelegten Werte $p_0 = p_{at} + 0,3 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, $t = 15 \text{ min} = 900 \text{ sec}$ und für $p_t = p_{at} + 0,25 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ den gerade noch erlaubten Enddruck ein, dann ergibt sich für die maximal zulässige Leckfläche

$$A_{eff, zul} [m^2] = C_L \cdot V [m^3] \quad (12)$$

mit $C_L = 2,676 \cdot 10^{-7}$ für $T = 278 \text{ °K} (= 5 \text{ °C})$, $p_{at} = 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, $R = 287 \text{ J/kg K}$, $\kappa = 1,4$.

Tabelle 1		R e c h e n b e i s p i e l				
KanalØ [mm]	Innenfläche [m ²]	Länge [m]	Volumen [m ³]	Druckabfall [mbar] bei Luftprüfung	zul. Leckfl. [m ²] bei Luftprüfung	Wasserverlust [l/m ²] nach Glg(4)
60	4	21,2	0,060	50	$1,61 \cdot 10^{-8}$	0,036
1200	4	1,06	1,200	50	$3,21 \cdot 10^{-7}$	0,722

Aus der Glg(12) geht hervor, daß die zulässige Leckfläche [m²] proportional dem Volumen [m³] der Prüfstrecke ist. Dieser Zusammenhang beweist, daß die Richtlinien der ÖNORM B2503 für die Kanaldichtheitsprüfung mit Luft – im Sinne des Dichtheitskriteriums für die Prüfung mit Wasser – prinzipiell falsch sind. Mit Hilfe eines Rechenbeispiels wird das verdeutlicht, siehe Tabelle 1.

Trotz gleicher Kanalinnenfläche ergibt sich aus dem Dichtheitskriterium für die Luftprüfung, für den Kanal mit Ø1200mm ein 20 mal größeres zulässiges Leck als für den Kanal mit Ø60mm bzw. einen 20 fachen Wasserverlust/m² Kanalinnenfläche! Das Dichtheitskriterium für die Prüfung mit Luftüberdruck ist also prinzipiell falsch und erlaubt bei unterschiedlichen Kanaldurchmessern kraß unterschiedliche, zulässige Leckgrößen bzw. Wasserverluste je m² Kanalinnenfläche.

Würde man die im Rechenbeispiel angeführten Kanäle – wirksame Leckflächen wie im Rechenbeispiel vorausgesetzt – einer Dichtkontrolle mit Luftüberdruck nach den ÖNORM-Richtlinien unterziehen, so würden beide Kanäle gerade noch als dicht gelten. Wir nehmen an, es handelt sich um ein Kanalrohr, bei dem 0,03 l/m² Wassermengenzugabe bzw. Wasserverlust zulässig sind. In diesem Fall würde eine Dichtheitsprüfung mit Wasser beide Kanäle als undicht ausweisen, da ihre Wasserverluste größer als zulässig sind. Der Kanal mit Ø1200 wäre gar um das 24-fache über der zulässigen Wassermengenzugabe, obwohl er laut Prüfung mit Luft als dicht gilt! Diese Zahlenbeispiele zeigen eindrucksvoll, daß eine Korrektur der Richtlinien erfolgen sollte.

1.3 Anmerkungen zur wirksamen Leckfläche

Wie schon einmal erwähnt, ist unter der wirksamen Leckfläche A_{eff} jene gedachte Fläche zu verstehen, die den gleichen Durchfluß wie das wirkliche Leck aufweist, jedoch mit der idealisierten Vorstellung, daß die Druckdifferenz vollständig in homogene, kinetische Energie des Leckstrahles umgewandelt wird. Im allgemeinen ist die wirksame Leckfläche A_{eff} kleiner als die tatsächliche Leckfläche A , da bei ihr Strömungsverluste und eine allfällige Strahlkontraktion durch eine entsprechende Verkleinerung des Strömungsquerschnittes berücksichtigt wird.

$$A_{eff} = \mu \cdot A \quad (13)$$

Die Durchflußziffer μ stellt den Zusammenhang zwischen den beiden Flächen her. Es wurde vorausgesetzt, daß die wirksame Leckfläche eines bestimmten Lecks sowohl bei der Prüfung mit Wasser als auch mit Luft gleich groß ist. Diese Gleichheit ist bei Ähnlichkeit der Leckströmungen in Wasser und Luft erfüllt. Unter den derzeitigen Prüfbedingungen ist eine vollkommene Ähnlichkeit nicht möglich, jedoch als ausreichend genau zu betrachten.

Als Grobinformation kann angegeben werden:

Wanddicke/Leckweite < 30

Der Großteil der Druckdifferenz wird in kinetische Energie umgewandelt. Bei einem gegebenen Leck stimmen die wirksamen Leckflächen für die Prüfung mit Wasser und mit Luft gut überein. Infolge unterschiedlicher Reibungsverhältnisse in der Wasser- bzw. Luftströmung ($Re_{Luft} \approx 2 \cdot Re_{Wasser}$) können sich geringe Abweichungen ergeben, Größenordnung $A_{eff, Luft} \approx 1,05 \cdot A_{eff, Wasser}$. Die überwiegende Anzahl der für die Dichtheit/Undichtheit maßgeblichen Lecks dürfte dieser Kategorie angehören.

Wanddicke/Leckweite > 30

Der Großteil der Druckdifferenz wird durch Reibung an den Wänden des engen Leckspaltes aufgezehrt. Infolge unterschiedlicher Reibungsverhältnisse in der Wasser- bzw. Luftströmung, die hier das Ausflußverhalten wesentlich beeinflussen, ergeben sich größere Abweichungen zwischen den wirksamen Leckflächen. Eine Abschätzung hat zum Beispiel für voll ausgebildete Laminarströmung $A_{eff, Luft} \approx 1,5 \cdot A_{eff, Wasser}$ ergeben.

Lecks mit sehr kleinen Spaltweiten oder Durchmessern, theoretisch unter 0,01mm, können durch Wasser „gedichtet“ werden, falls sich eine Trennfläche Wasser gegen Luft im Spalt oder an den Spaltenden bildet. Z.B. bei der Wasserprüfung, wenn die Kanalaußenseite von Luft umgeben ist.

2. Versuche

Zur Überprüfung der theoretischen Erkenntnisse wurden Versuche durchgeführt, die das Ziel hatten:

- * Die krasse Diskrepanz zwischen den Dichtheitskriterien für die Prüfung mit Wasser und mit Luft praktisch nachzuweisen

Es waren Versuche zur Dichtheitsprüfung mit Luft sowie mit Wasser an Kanalrohren mit den Durchmessern 200, 400, 600 und 800mm vorgesehen, um den mit steigendem Durchmesser zunehmenden, prinzipiellen Fehler in den Richtlinien für die Luftprüfung bzw. die zuneh-

mende Diskrepanz zwischen den Ergebnissen der beiden Prüfmethode zeigen zu können. Angestrebt war, für jeden Kanal \varnothing nach den Richtlinien der Luftprüfung im Versuch gerade die Grenze zwischen dicht und undicht zu erreichen. Dazu war die Vorausberechnung und Fertigung von Grenzlecks erforderlich. Wegen der guten Herstell- und Kontrollierbarkeit wurden als Lecks Bohrungen in dünnen Blechscheiben, Wanddicke 0,85 mm, angefertigt.

Auf Entgegenkommen der Hobas-Durotec-Werke konnten am 19.3.91 und am 9.4.91 Versuche an GfK-Rohren durchgeführt werden. An dieser Stelle sei dafür der Dank ausgesprochen.

2.1 Wasserversuche

In Abb. 4 ist die Versuchsanordnung für die Wasserversuche dargestellt. Beim Wasserversuch kommt es darauf an, daß der Wasserdruck vor der Leckblende konstant auf 0,5 bar, wie in den ÖNORM-Richtlinien angegeben, gehalten wird. Durch Wassernachfüllen wurde der Wasserspiegel auf konstanter Höhe gehalten. Das ausströmende Leckwasser wurde mit einem Meßgefäß aufgefangen und so der Wasserverlust festgestellt. Da dem Wasserversuch eine höhere Genauigkeit unterstellt wird, wurden die wirksamen Leckflächen bzw. Durchflußziffern der Blenden aus dem Wasserversuch errechnet.

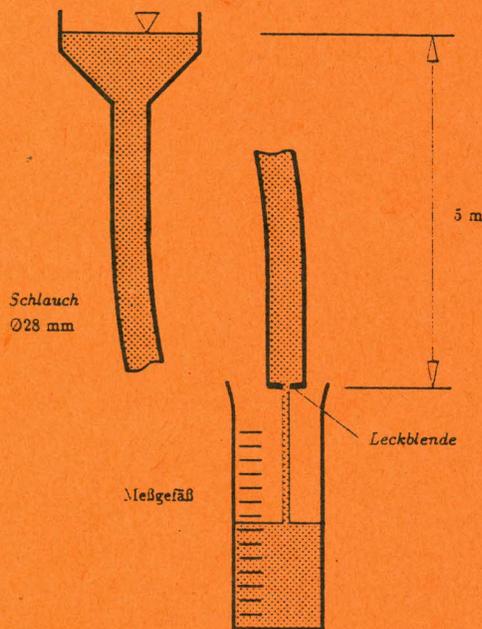


Abb. 4 Versuchsanordnung für die Wasserversuche

Die Ergebnisse der Wasserversuche entsprechen den Erwartungen. Für die Blenden haben sich Durchflußziffern von 0,7 bis 0,83 ergeben. Eine Ausnahme ist die Blende mit dem Bohrungsdurchmesser 0,28 mm. Für sie ergab sich eine zunächst unerwartet niedrige Durchflußziffer

von 0,45. Wie eine nachträgliche optische Kontrolle mit der Lupe zeigte, ist sie durch die Gratbildung an den Bohrungsrändern erklärbar. Die anderen Bohrungen waren alle entgratet bzw. angesenkt.

2.2 Luftversuche

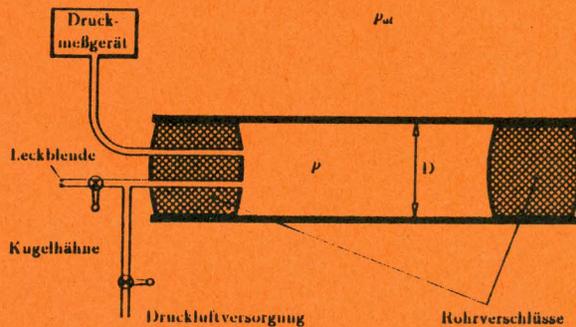


Abb. 5 Versuchsaufbau

Versuchsablauf:

Das zu prüfende Rohr wird mit 0,3 bar Überdruck beaufschlagt. Danach ist der Temperaturengleich zwischen der durch das Komprimieren erhitzten Luft und der Kanalwandung (in der ÖNORM Beruhigungszeit genannt) abzuwarten. Es hat sich gezeigt, daß eine Beruhigungszeit von 3 Minuten ausreichend ist. Bei geschlossenen Kugelhähnen wird zunächst die Dichtheit der Meßanordnung überprüft. Ist die Dichtheit vorhanden – der Überdruck von 0,30 bar bleibt konstant – so wird der Kugelhahn, der den Luftaustritt durch die Blende mit der Lecköffnung freigibt, geöffnet: Beginn der Meßzeit. Während der Prüfzeit von 15 min wird der Druckabfall im Rohr gemessen und aufgezeichnet.

In der Tabelle 2 sind die Versuchsergebnisse zusammengestellt. Mit der aus dem Wasserversuch ermittelten wirksamen Leckfläche, ist der im Luftversuch zu erwartende Druckabfall berechnet worden. Der angestrebte Druckabfall von 50 mbar im Luftversuch als Grenze zwischen dicht und undicht wurde nicht exakt erreicht. Dies ist auf die bei der Vorbereitung noch nicht genau bekannten Durchflußziffern der Leckbohrungen sowie auf Abweichungen zwischen gerechneten und gemessenen Druckabfällen zurückzuführen. Im Durchschnitt waren die gemessenen Druckabfälle um ca. 10% größer als die gerechneten. Ein Grund für die Abweichung könnte sein, daß sich im Luftversuch, bei ca. doppelt so hohen Re-Zahlen in der Blende als beim Wasserversuch, etwas größere Durchflußziffern ergeben. Weitere mögliche Gründe liegen im nicht exakt bekannten Volumen der Prüfstrecke sowie bei eventuellen geringen Temperaturänderungen der Luft in der Prüfstrecke. In Anbetracht der Aufgabenstellung wird die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung als gut angesehen.

Eines zeigen die Versuchsergebnisse deutlich: Die Luftversuche ergeben die Beurteilungen dicht bzw. etwas undicht (maximal 26 mbar zuviel Druckabfall bzw. maximal ca. 50% Überschreitung des Dichtheitskriteriums 50 mbar erlaubter Druckabfall). Dieselben Lecks ergeben jedoch bei der Prüfung mit Wasser krasse Überschreitungen des Dichtheitskriteriums bis zu 1400%!

Eine 2100%-ige Abweichung würde sich bei Prüfung eines Kanales mit $\varnothing 1200$ mm ergeben.

Zur Verdeutlichung wurden die Versuchsergebnisse so umgerechnet, daß sich für die Prüfung mit Luft gerade die Grenzdichtheit, d.h. der erlaubte Druckabfall von 50 mbar ergibt – siehe Tabelle 3.

Tabelle 2		V E R S U C H S E R G E B N I S S E			
Leckblenden Durchmesser	[mm]	0,28	0,55	0,85	1,0
Wasserverlust in 15 min	[l]	0,247	1,62	4,19	4,95
Durchflußziffer μ		0,450	0,765	0,827	0,707
Rohrinnendurchmesser	[mm]	205	403	583	791
Prüflänge	[m]	5,0	5,0	5,0	4,52
Prüfvolumen	[m ³]	0,165	0,638	1,335	2,221
Rohrrinnenfläche	[m ²]	3,19	6,33	9,16	11,23
Temperatur	[°C]	12,9	12,9	11,3	2,7
Luftdruck	[mbar]	949	949	949	957
Berechneter Druckabfall	[mbar]	31,5	53,5	65,9	46,3
Gemessener Druckabfall	[mbar]	34	62	76	52
Beurteilung lt. ÖNORM B2503, Luft		dicht	knapp undicht	knapp undicht	dicht/undicht
Über/Unterschreitung der Dichtheitsgrenze 50 mbar	[%]	-32	24	52	4
Wasserverlust/Innenfläche	[l/m ²]	0,077	0,256	0,457	0,441
Beurteilung lt. ÖNORM B2503, Wasser		undicht	stark undicht	stark undicht	stark undicht
Über/Unterschreitung der Dichtheitsgrenze 0,03 l/m ²	[%]	160	750	1420	1370

Tabelle 3		UMGERECHNETE VERSUCHSERGEBNISSE			
Druckabfall	[mbar]	50	50	50	50
Beurteilung lt. ÖNORM B2503, Luft		gerade noch dicht			
Wasserverlust w	[l/m ²]	0,114	0,206	0,301	0,424
Zulässige Wassermengenzugabe w_{zul}	[l/m ²]	0,03	0,03	0,03	0,03
w/w_{zul}		3,8	6,9	10,0	14,1
Beurteilung lt. ÖNORM B2503, Wasser		stark undicht			
Überschreitung der Dichtheitsgrenze [%]		280	590	900	1310

3. Vorschläge für neue Richtlinien

• Prüfung der Dichtheit mit Wasser

Vom Standpunkt des Umweltschutzes aus bzw. zur Feststellung der Undichtheiten ideal, wäre die Vorschrift einer einzigen zulässigen Wassermengenzugabe von z.B. $0,03 \text{ l/m}^2$ mit beliebiger oder ausreichend langer Vorbefeuchtzeit zur Ausschaltung der Wasseraufnahme durch die Kanalwand. Zumindest aber sollte die Aussage auf Seite 29 der ÖNORM B2503: „Werden die Tabellenwerte überschritten, ist bei Kanälen aus Asbestzement, Beton, Stahlbeton und zementausgeschleuderten Gußrohren die Prüfung nach 24 stündiger Wassereinwirkung zulässig. Das Ergebnis dieser Wiederholungsprüfung ist maßgebend.“ geändert werden. Nach 24 stündiger Wassereinwirkung sollte die Wasseraufnahme zum Stillstand gekommen bzw. deutlich herabgesetzt sein, sodaß unabhängig vom Kanalwerkstoff eine einheitliche, zulässige Wassermengenzugabe von z.B. $0,03 \text{ l/m}^2$ für die Wiederholungsprüfung festzulegen wäre.

• Prüfung der Dichtheit mit Luft

Im Kapitel 1.2 wurde abgeleitet, daß das Dichtheitskriterium der ÖNORM B2503 für die Dichtheitsprüfung mit Luftüberdruck eine zulässige Leckfläche $[m^2]$ ergibt, die proportional dem Volumen $[m^3]$ der Prüfstrecke ist, siehe Glg(12). Dieses Dichtheitskriterium ist daher – im Sinne des Dichtheitskriteriums für die Prüfung mit Wasser – prinzipiell falsch. Um Übereinstimmung mit dem Dichtheitskriterium für die Prüfung mit Wasser zu erreichen, müssen neue Richtlinien für die Prüfung mit Luftüberdruck ebenfalls auf dem Zusammenhang:

$$\text{Zul. Leckfläche } [m^2] = \text{Konst.} \cdot \text{Kanalinnenfläche } [m^2]$$

aufbauen. Damit ergäben sich für alle Kanäle, unabhängig vom Kanaldurchmesser, die gleichen zulässigen Leckflächen bzw. Wasserverluste pro m^2 Kanalinnenfläche. Aus dem vorgeschlagenen Zusammenhang ergibt sich, daß der nunmehr zulässige Druckabfall vom Kanaldurchmesser abhängt. Das durch die Gleichungen (10) und (11) definierte Integral der Druckfunktion $\text{Int}(p_t)$ hat im Bereich von $p_t = p_o = 1,3 \text{ bar}$ bis $p_t = 1,25 \text{ bar}$ einen nahezu linearen Verlauf. Die linearisierte Funktion

$$\text{Int}(p_t) = 3,63 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{0,95 \cdot 10^5}{p_{at}}} (p_o - p_t) \quad (14)$$

weicht im genannten Bereich weniger als 2% vom exakten Integral ab. Das Korrekturglied für den Atmosphärendruck erlaubt die Berücksichtigung von Luftdruckschwankungen bis ca. $\pm 5\%$. Mit Hilfe dieser Funktion, der Glg(11) und dem vorgeschlagenen, korrekten Zusammenhang $A_{\text{eff},zul} = \text{konst.} \cdot I$ kann eine Beziehung zwischen dem zulässigen Druckabfall Δp_{zul} , der Prüfzeit t und dem Kanalinnendurchmesser D hergestellt werden. Die zulässige Leckfläche je m^2 Kanalinnenfläche ist in Übereinstimmung mit dem zulässigen Wasserverlust w_{zul} aus Glg(4) festzulegen. Beim Prüfen mit Luft gibt es keine Wasseraufnahme durch die Kanalwand bzw. sind nur die Undichtheiten maßgeblich. Daher sollte die Über-

einstimmung zwischen der Prüfung mit Wasser und Luft bei den kleineren zulässigen Wassermengenzugaben hergestellt werden, z.B. $0,03 \text{ l/m}^2$ oder $0,10 \text{ l/m}^2$. Man erhält schließlich

$$\Delta p_{zul} = \frac{\sqrt{T}}{1,822} \sqrt{\frac{p_{at}}{0,95 \cdot 10^5}} \frac{t}{D} w_{zul} \quad (15)$$

Weicht die Kanalinnenform vom Zylinder ab, so ist für $D = 4V/I$ einzusetzen ($I =$ Kanalinnenfläche). In der Abb. 6 ist der zulässige Druckabfall in Abhängigkeit vom Kanaldurchmesser bzw. vom zulässigen Wasserverlust dargestellt. Dabei ist Gleichheit der wirksamen Leckflächen für die Wasser- und Luftprüfung vorausgesetzt.

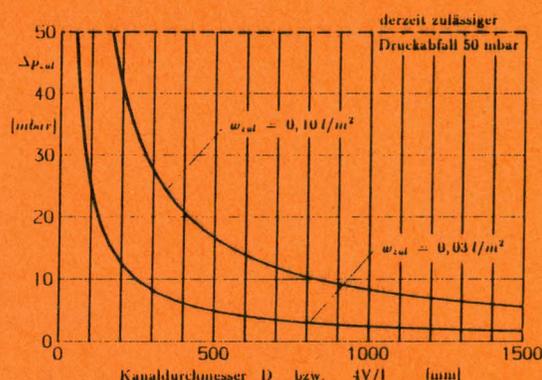


Abb. 6 Zulässiger Druckabfall für 15 min Prüfzeit

Wie man sieht, sind die zulässigen Druckabfälle zum Teil sehr klein und erfordern daher sehr genaue Meßgeräte. Zu bedenken ist auch, daß bei den kleinen zulässigen Druckabfällen der mögliche Fehler durch Temperaturschwankungen zunimmt. Eine zweite Möglichkeit für neue Richtlinien wäre, den derzeit zulässigen Druckabfall von 50 mbar zu belassen. Dafür müßte die Zeit, innerhalb der dieser Druckabfall nicht überschritten werden darf, in Abhängigkeit vom Kanaldurchmesser angegeben werden.

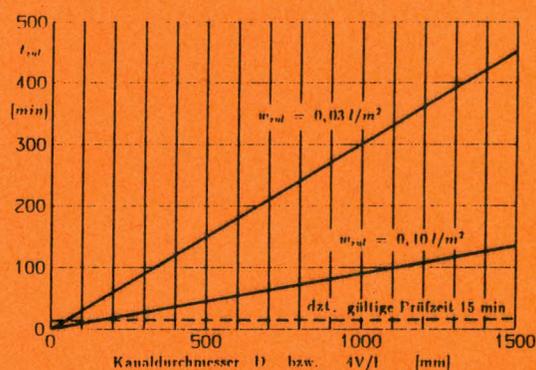


Abb. 7 Zulässige Zeit für 50 mbar Druckabfall

Diese Möglichkeit erfordert nicht so genaue Druckmeßgeräte wie die erstgenannte. Als Nachteil ergeben sich bei großen Kanaldurchmessern lange Meßzeiten.

Bei Einhaltung der vorgeschlagenen neuen Richtlinien für die Dichtheitsprüfung mit Luftüberdruck sollten die Ergebnisse gut mit denen einer Prüfung mit Wasser übereinstimmen.

Zusammenfassung

In der ÖNORM B2503 sind die Richtlinien für die Dichtheitsprüfung von Ortskanalanlagen festgelegt. Angeregt durch Erfahrungen aus der Prüfpraxis wurden diese Richtlinien kritisch durchgesehen und durch theoretische Überlegungen und Versuche überprüft.

Bei der Durchsicht wurde davon ausgegangen, daß das *Dichtheitskriterium für die Prüfung mit Wasser prinzipiell richtig ist*. Es gibt die zulässige Wassermengenzugabe je m^2 Kanalinnenfläche an und legt damit eine konstante „Löchrigkeit“ bzw. die Fläche eines Grenzlecks je m^2 Innenfläche fest. (Andere Dichtheitskriterien sind vorstellbar. In jedem Fall sollte aber auf eine ausreichende Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Prüfungen mit Wasser und Luft geachtet werden.)

Die produktspezifisch zulässigen, unterschiedlichen Wassermengenzugaben erlauben keine Unterscheidung zwischen der Wasseraufnahme durch die Kanalwand und dem eigentlich interessierenden Wasserverlust infolge Undichtheiten. Eine Verbesserung im Sinne des Umweltschutzes bzw. eines gerechteren Wettbewerbes wäre durch das Festlegen einer einheitlichen Wassermengenzugabe von z.B. $0,03 l/m^2$ bei beliebiger bzw. ausreichender Vorfeuchtzeit zu erreichen.

Mit Hilfe einer theoretischen Untersuchung wurde erkannt, daß *die Richtlinien für die Dichtheitsprüfung mit Luftüberdruck* – im Sinne des Dichtheitskriteriums für die Prüfung mit Wasser – *prinzipiell falsch sind*. Zur Überprüfung der theoretischen Erkenntnisse wurden Versuche durchgeführt. Die Erkenntnisse sind durch die Versuche bestätigt worden.

Fazit all dieser Untersuchungen:

Es gibt große Differenzen zwischen den beiden Dichtheitskriterien für Wasser bzw. Luft. *Im Extremfall läßt das unkorrekte Dichtheitskriterium für Luft Kanäle noch als dicht gelten, die bei Prüfung mit Wasser um das 24-fache über den zulässigen Leckraten liegen!*

Solche Verhältnisse fordern zu einem Überdenken bzw. zu einer Korrektur der ÖNORM auf.

Eine neue Prüfvorschrift wird vorgeschlagen. Bei Einhaltung dieser neuen Prüfvorschrift sollten die Prüfungen mit Wasser und mit Luftüberdruck zu besser übereinstimmenden Aussagen bezüglich der Dichtheit eines Kanales führen.

Literatur

- [1] ÖNORM B2503, 1. März 1988
Ortskanalanlagen (Straßenkanäle)
Richtlinien für die Ausführung
Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- [2] Pischinger R., Thermodynamik
Vorlesungsskripten für Maschinenbau
und Verfahrenstechnik, TU Graz, 1974
- [3] Richter H., Rohrhydraulik
Springer Verlag, Berlin, 1971