

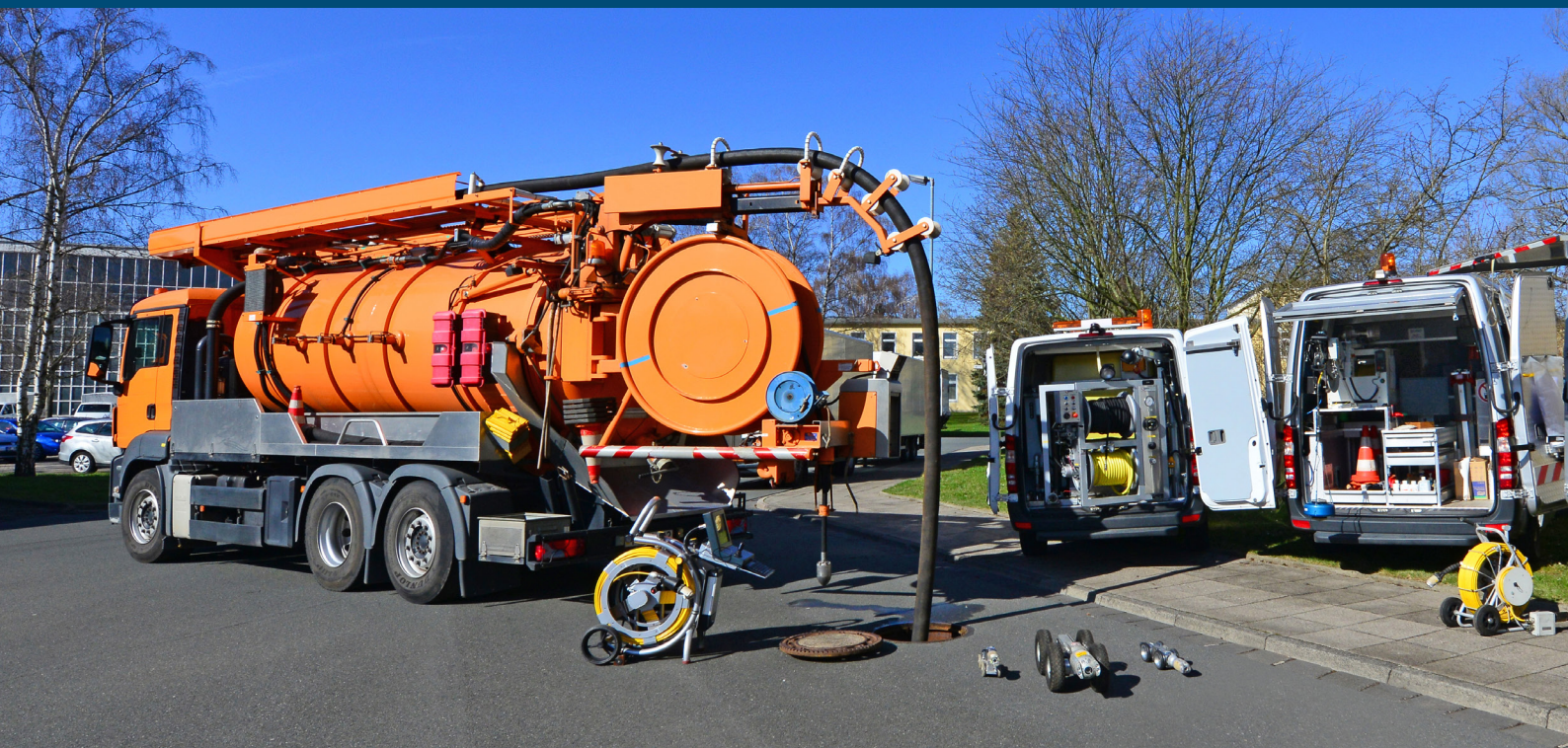


Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

Bundesministerium
der Verteidigung

Baufachliche Richtlinien Abwasser

Hydraulische Zustandsklassifizierung von Kanalnetzen –
Theoretische Grundlagen



1	Vorwort	3
2	Zielsetzung	3
	2.1 Sanierungsbedarf und Priorisierung	3
3	Grundlagen.....	4
	3.1 Hydraulische Belastbarkeit	4
	3.2 Hydraulische Leistungsfähigkeit	5
	3.3 Hydraulischer Sanierungsbedarf.....	5
	3.4 Ort der Klassifizierung.....	5
	3.5 Klassifizierung durch Risikobetrachtungen	6
	3.5.1 Kritische Bereiche.....	6
	3.5.2 Kritische Wiederkehrzeiten.....	7
	3.5.3 Bedingte Wiederkehrzeiten	8
	3.5.4 Bestimmung bedingter Wiederkehrzeiten in kritischen Bereichen	10
	3.6 Gültigkeitsbereich der Bestimmungsgleichung.....	11
4	Durchführung der Klassifizierung.....	12
	4.1 Festlegung der Klassifizierungsparameter	12
	4.1.1 Statistische Sicherheit	12
	4.1.2 Klassenübergänge.....	13
	4.2 Hydrodynamische Seriensimulation	15
	4.3 Hydrodynamische Einzelsimulation	15
	4.4 Zeitbeiwertverfahren	16
5	Zusammenfassung und Ausblick	18
6	Literatur	19

1 Vorwort

Das hier vorgestellte Verfahren zur hydraulischen Zustandsklassifizierung liegt dem Anh. 3-3 „Hydraulische Zustandsbewertung“ zu Grunde. Das Verfahren wird hergeleitet und die notwendigen Festlegungen der Klassifizierungsparameter erläutert.

2 Zielsetzung

Im Rahmen von generellen Entwässerungsplanungen findet eine räumlich vollständige und inhaltlich umfassende Betrachtung des Abwassersystems statt. Dazu gehören insbesondere optische Inspektionen des Abwassersystems zur Erfassung der bautechnischen Beschaffenheit und hydraulische Berechnungen zur Erfassung der betrieblichen Funktionsfähigkeit. Die optische Inspektion und hydraulische Berechnungen sind die wesentliche Grundlage zur Mängelfeststellung und zur Ableitung eines nach Prioritäten gestaffelten Handlungsbedarfes.

2.1 Sanierungsbedarf und Priorisierung

Ziel einer Zustandsklassifizierung von abwassertechnischen Anlagen ist, die umfangreichen Daten aus einer optischen Inspektion oder auch aus hydraulischen Berechnungen dahingehend auszuwerten, dass mit wenigen Kenngrößen ein Überblick über den Zustand des Entwässerungssystems gewonnen werden kann und Hinweise zur Priorität für erforderliche Maßnahmen abgeleitet werden können. Gem. [2] erfolgt jeweils für die bautechnischen und hydraulischen Zustände eine Einordnung in 6 Zustandsklassen gem. Tab. 2-1.

Tab. 2-1 Baufachliche Klassifizierung von Sanierungsprioritäten

Klasse	Sanierungspriorität
0	Kein Sanierungsbedarf
1	Sehr langfristiger Sanierungsbedarf
2	Langfristiger Sanierungsbedarf
3	Mittelfristiger Sanierungsbedarf
4	Kurzfristiger Sanierungsbedarf
5	Sofortiger Sanierungsbedarf

Hydraulische Zustandsklassifizierungen dienen der Priorisierung von zukünftigen Maßnahmen und werden auf Grundlage von Ist-Zuständen durchgeführt. Es werden

- durch hydraulische Berechnungen Ortspunkte mit unzureichender hydraulischer Leistungsfähigkeit identifiziert und somit der Sanierungsbedarf festgestellt sowie

- durch eine hydraulische Zustandsbewertung das Risiko eines hydraulischen Versagens quantifiziert und somit die Sanierungspriorität festgelegt.

Hydraulisch bedingte Sanierungsmöglichkeiten sind vielfältig und können sich auf unterschiedliche Örtlichkeiten entlang des Entwässerungspfades wie z.B.

- Abflussvermeidung z.B. durch Entsiegelung von Flächen,
- Abflussverzögerung z.B. durch dezentrale Retention,
- Verringerung der Drosselleistung von oberhalb liegenden Speicherbecken,
- Vergrößerung des Haltungsquerschnitts,
- Vergrößerung der Drosselleistung von unterhalb liegenden Speicherbecken oder
- Bau von Vermaschungen

beziehen. Insofern besteht keine Möglichkeit, ein hydraulisches Versagen (z.B. Überstau an einem Schacht) genau einer „Ursache“ (z.B. einer Abwasserhaltung oder einer Drossel) zuzuordnen, solange Soll-Zustände nicht betrachtet sind und somit die Sanierungsplanung durchgeführt wurde. Daher können hydraulische Zustände (z.B. Wasserstände an Schächten) nur im Ist-Zustand bewertet und dem Ort der Zielgröße zugeordnet werden (vgl. auch Kap. 2.4).

3 Grundlagen

3.1 Hydraulische Belastbarkeit

Die erforderliche hydraulische Belastbarkeit wird ausgedrückt als erforderliche Versagenshäufigkeit

$$n_{\text{erf}} \left[\frac{1}{a} \right]$$

der planmäßig vorgesehenen Entwässerung.

Die hydraulische Belastbarkeit

- ist unabhängig vom Kanalnetz und im Wesentlichen abhängig von der Nutzung und den örtlichen Gegebenheiten.
- ist vom Grundsatz her für jeden Ortspunkt (Schacht) individuell.
- wird in Abhängigkeit des verwendeten Berechnungsverfahrens festgelegt.
- entspricht z.B. beim Überflutungsnachweis einer in Abhängigkeit der örtlichen Nutzungsverhältnisse tolerierbaren Schadenshäufigkeit.

Die erforderliche Wiederkehrzeit ist der Kehrwert der erforderlichen Häufigkeit.

Gleichung 1

$$T_{\text{erf}} = \frac{1}{n_{\text{erf}}} [a]$$

3.2 Hydraulische Leistungsfähigkeit

Die vorhandene hydraulische Leistungsfähigkeit wird ausgedrückt als vorhandene Versagenshäufigkeit

$$n_{\text{vorh}} \left[\frac{1}{a} \right]$$

der planmäßig vorgesehenen Entwässerung.

Die hydraulische Leistungsfähigkeit

- ist abhängig vom Kanalnetz, dem Niederschlagsgeschehen, den angeschlossenen Flächen und dem Trockenwetterabfluss.
- ist für jeden Ortspunkt (Schacht) individuell.
- entspricht z.B. beim Überstaunachweis der Häufigkeit des Überstauens des betrachteten Ortspunktes (Schacht).

Die vorhandene Wiederkehrzeit ist der Kehrwert der vorhandenen Häufigkeit.

Gleichung 2
$$T_{\text{vorh}} = \frac{1}{n_{\text{vorh}}} [a]$$

Die Quantifizierung der vorhandenen hydraulischen Leistungsfähigkeit erfolgt i.d.R. auf Grundlage von hydraulischen Berechnungen.

3.3 Hydraulischer Sanierungsbedarf

Ein hydraulischer Sanierungsbedarf ist gegeben, wenn die vorhandene hydraulische Leistungsfähigkeit nicht der erforderlichen hydraulischen Belastbarkeit entspricht. Hierfür gilt die Bedingung

$$n_{\text{vorh}} > n_{\text{erf}} \text{ bzw. } T_{\text{vorh}} < T_{\text{erf}} .$$

Der hydraulische Sanierungsbedarf ist abhängig von der gewählten Zielgröße (z.B. Überflutung, Überstau) und ergibt sich aus einer nicht ausreichenden hydraulischen Leistungsfähigkeit.

Zur detaillierten Priorisierung des hydraulischen Sanierungsbedarfs durch eine Einordnung in eine Zustandsklasse sind weitere Überlegungen erforderlich. Gleichwohl kann jedoch festgestellt werden, dass für

$$n_{\text{vorh}} \leq n_{\text{erf}} \text{ bzw. } T_{\text{vorh}} \geq T_{\text{erf}}$$

kein Sanierungsbedarf gegeben ist. Im Vorgriff auf die Zustandsklassifizierung ergibt sich in diesen Fällen die hydraulische Zustandsklasse „0“.

3.4 Ort der Klassifizierung

Die hydraulische Belastbarkeit und hydraulische Leistungsfähigkeit können nicht im Kanalnetz, sondern nur außerhalb des Kanalnetzes an den Ortspunkten definiert werden, an denen es zu einem hydraulischen Versagen kommen kann. Üblicherweise werden hierfür als „Schnittstelle“ zwischen „Unterwelt“ und „Oberwelt“ die Schachtoberkanten verwendet.

Somit ist auch die hydraulische Zustandsklassifizierung auf die Schachtoberkante zu beziehen.

3.5 Klassifizierung durch Risikobetrachtungen

Nach der Definition der hydraulischen Belastbarkeit und der hydraulischen Leistungsfähigkeit sind für jeden Ortspunkt die

- vorhandenen Wiederkehrzeiten T_{vorh} und
- erforderlichen Wiederkehrzeiten T_{erf}

festlegbar. Diese Informationen reichen zusammen mit den nachfolgenden Überlegungen zur Abschätzung des Risikos des Versagens der planmäßig vorgesehenen Entwässerung und somit auch zu einer Priorisierung hydraulischer Sanierungsmaßnahmen aus.

Für den Fall

$$T_{\text{vorh}} \geq T_{\text{erf}}$$

ergibt sich die Situation, dass eine ausreichende hydraulische Leistungsfähigkeit vorhanden ist. Mit einer ausreichenden hydraulischen Leistungsfähigkeit wird jedoch auch deutlich, dass es zu einem hydraulischen Versagen kommen wird, das jedoch tolerierbar ist.

Für den Fall

$$0 < T_{\text{vorh}} < T_{\text{erf}}$$

ergibt sich die Situation, dass eine gewisse Sicherheit gegen ein hydraulisches Versagen gegeben ist. Die Sicherheit steht mit der vorhandenen Wiederkehrzeit T_{vorh} in Zusammenhang. Diese Sicherheit entspricht jedoch nicht den erforderlichen Anforderungen. Es besteht Sanierungsbedarf.

3.5.1 Kritische Bereiche

Bei nicht ausreichender hydraulischer Leistungsfähigkeit können zur Bestimmung der Sanierungspriorität die möglichen Niederschlagsereignisse klassifiziert werden. Damit wird der Gegebenheit Rechnung getragen, dass nur die Ereignisse, die wegen der noch nicht durchgeführten Sanierung zu einem hydraulischen Versagen führen, relevant zur Festlegung der Sanierungspriorität sind. Dieser Bereich, der für die Festlegung der Sanierungspriorität relevant ist, wird als kritischer Bereich bezeichnet.

Tab. 3-1 Klassifizierung von Niederschlagsereignissen

Wiederkehrzeit T	Einfluss auf die Sanierungspriorität	Bemerkung
$T < T_{\text{vorh}}$	Nein	Kleine Ereignisse, die auch ohne Sanierung zu keinem hydraulischen Versagen führen
$T_{\text{vorh}} < T < T_{\text{erf}}$	Ja	Ereignisse, die wegen der noch nicht durchgeführten Sanierung zu einem hydraulischen Versagen führen
$T > T_{\text{erf}}$	Nein	Ereignisse, die auch nach einer durchgeführten Sanierung zu einem hydraulischen Versagen führen

Der kritische Bereich mit

$$T_{\text{vorh}} < T < T_{\text{erf}}$$

wird umso kleiner, je näher T_{vorh} an T_{erf} liegt. Je kleiner der Bereich ist, umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Niederschlagsereignis im kritischen Bereich auftritt.

Bei einer erforderlichen Wiederkehrzeit von 10 Jahren und einer vorhandenen Wiederkehrzeit von 1 Jahr ist z.B. die Sanierung dringender als bei einer vorhandenen Wiederkehrzeit von 9 Jahren.

Tab. 3-2 Beispiele für Wiederkehrzeiten und Sanierungsprioritäten

	T_{vorh} [a]	T_{erf} [a]	Sanierungspriorität
Fall A	1	10	Dringend
Fall B	9	10	Nicht dringend

3.5.2 Kritische Wiederkehrzeiten

Zur Abschätzung eines vertretbaren Zeitraums bis zur Durchführung der Sanierung ist zu berücksichtigen, dass nur die Ereignisse von Relevanz sind, die im kritischen Bereich

$$T_{\text{vorh}} < T < T_{\text{erf}}$$

liegen. Die zugehörige Wiederkehrzeit der Ereignisse im kritischen Bereich wird kritische Wiederkehrzeit T_{krit} genannt. Die zugehörige Häufigkeit wird als kritische Häufigkeit n_{krit} bezeichnet.

Für den Fall A gem. Tab. 3-2 mit $T_{\text{vorh}} = 1$ a ergeben sich in 100 Jahren im Mittel 100 Ereignisse ($n_{\text{vorh},100a} = 100$), die zu einem hydraulischen Versagen führen. Davon würden jedoch 10 Ereignisse ($n_{\text{erf},100a} = 10$) auch nach einer Sanierung zu einem hydraulischen Versagen führen. Somit liegen im Mittel in 100 Jahren

$$n_{\text{krit},100a} = n_{\text{vorh},100a} - n_{\text{erf},100a}$$

$$n_{\text{krit},100a} = 100 - 10$$

90 Ereignisse im kritischen Bereich. Für das Beispiel ist

$$T_{\text{krit}} = \frac{100}{n_{\text{krit},100a}} = \frac{100}{90} = 1.11a .$$

Für den Fall B gem. Tab. 3-2 mit $T_{\text{vorh}} = 9$ a ergeben sich in 100 Jahren im Mittel $100/9 = 11,1$ Ereignisse ($n_{\text{vorh},100a} = 11,1$), die zu einem hydraulischen Versagen führen. Davon würden jedoch 10 Ereignisse ($n_{\text{erf},100a} = 10$) auch nach einer Sanierung zu einem hydraulischen Versagen führen. Somit liegen im Mittel in 100 Jahren

$$n_{\text{krit},100a} = n_{\text{vorh},100a} - n_{\text{erf},100a}$$

$$n_{\text{krit},100a} = 11,1 - 10$$

1,1 Ereignisse im kritischen Bereich. Für dieses Beispiel ist

$$T_{\text{krit}} = \frac{100}{n_{\text{krit},100a}} = \frac{100}{1,1} = 90a$$

sehr groß, weil im Mittel in 100 Jahren nur 1,1 Ereignisse im kritischen Bereich liegen.

Für die kritische Wiederkehrzeit T_{krit} als Funktion der vorhandenen und erforderlichen Wiederkehrzeit ergibt sich aus $n_{\text{krit}} = n_{\text{vorh}} - n_{\text{erf}}$ über

$$\frac{1}{T_{\text{krit}}} = \frac{1}{T_{\text{vorh}}} - \frac{1}{T_{\text{erf}}}$$

der folgende Zusammenhang:

Gleichung 3

$$T_{\text{krit}} = \frac{T_{\text{erf}} \cdot T_{\text{vorh}}}{T_{\text{erf}} - T_{\text{vorh}}}$$

3.5.3 Bedingte Wiederkehrzeiten

Mit einer Wiederkehrzeit T von z. B. 10 Jahren wird eine durchschnittliche Wiederkehrzeit vorgegeben. Es wird davon ausgegangen, dass das vorgegebene Ereignis im Verlauf einer sehr langen Zeit von z. B. 100 Jahren nicht häufiger als 10-mal überschritten wird. Offen gelassen wird dabei, wie sich die Überschreitungseignisse auf die lange Zeit verteilen. So ist es nach dieser Vorgabe durchaus zulässig, dass z. B. zwei Überschreitungseignisse bereits in den nächsten 10 Jahren auftreten, also mit einem mittleren Abstand von nur 5 Jahren, wenn dieses durch einen größeren zeitlichen Abstand der folgenden Überschreitungseignisse wieder ausgeglichen wird.

Dieses ist in dem hier vorliegenden Anwendungsfall nicht befriedigend. Man möchte vielmehr mit einer gewissen Sicherheit davon ausgehen können, dass es in einem fest umrissenen Zeitraum von Zustandserfassung bis zur Sanierung mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zu keinem hydraulischen Versagen kommt. Es stellt sich also die Frage, bis zu welchem Zeitraum eine Sanierung hinausgeschoben werden kann, ohne dass es mit hoher Wahrscheinlichkeit (ganz ausschließen lässt es sich nicht!) zu einem hydraulischen Versagen kommt.

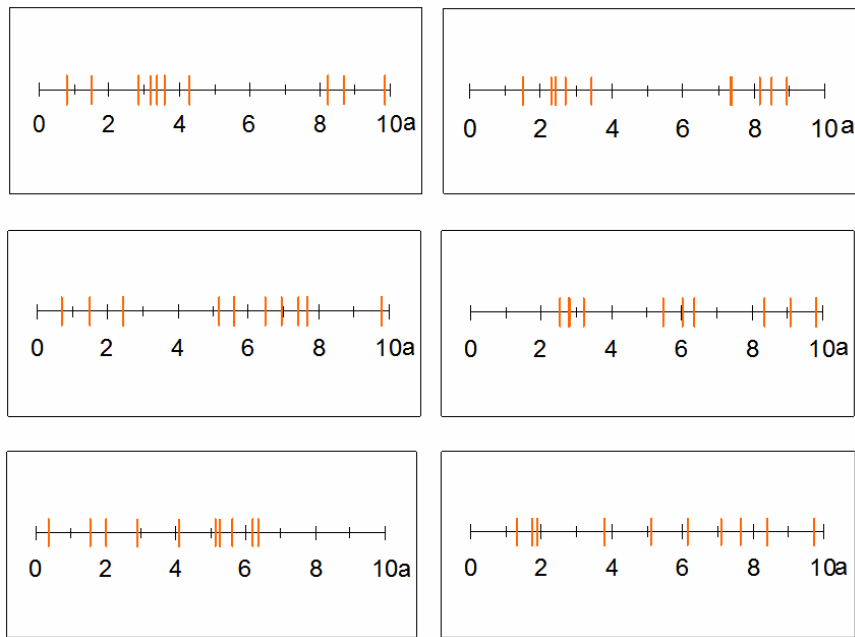


Abb. 3-1 Zufällige Realisierungen von 10 Ereignissen mit einer mittleren Wiederkehrzeiten $T = 1$ a in einem Zeitraum von 10 Jahren.

In [3] wird hierfür der folgende Zusammenhang angegeben:

$$p_0 = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{T_b}$$

p_0	Vorzugebende Wahrscheinlichkeit (im Folgenden als statistische Sicherheit bezeichnet), mit der ein hydraulisches Versagen vermieden wird. Es wird in Abhängigkeit des Sicherheitsbedürfnisses empfohlen, eine Wahrscheinlichkeit in einer Bandbreite von 0,7 bis 0,95 anzusetzen.
T	Mittlere Wiederkehrzeit in Jahren, die auf Grundlage der hydraulischen Berechnung festgelegt wird.
T_b	Bedingte Wiederkehrzeit in Jahren, in denen es mit der vorzugebenden statistischen Sicherheit (Wahrscheinlichkeit) nicht zu einem hydraulischen Versagen mit der mittleren Wiederkehrzeit kommt.

In [3] wird die o.a. Gleichung zur Bestimmung der mittleren Wiederkehrzeit T zur Bemessung von Anlagen verwendet. Für die hier vorliegende Aufgabenstellung ist die o.a. Gleichung nach der bedingten Wiederkehrzeit T_b aufzulösen.

Gleichung 4

$$T_b = \frac{\ln(p_0)}{\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)}$$

Für eine mittlere Wiederkehrzeit von z.B. 10 Jahren und einer statistischen Sicherheit von z.B. 0,9 ergibt sich eine bedingte Wiederkehrzeit von 1,0 Jahren.

$$T_b = \frac{\ln(0,9)}{\ln\left(1 - \frac{1}{10,0}\right)} = 1,0a$$

Innerhalb eines Jahres (was z.B. dem Zeitraum bis zur Sanierung entspricht) kann man mit einer Sicherheit von 90 Prozent davon ausgehen, dass es zu keinem Ereignis mit einer Wiederkehrzeit von 10 Jahren kommt.

3.5.4 Bestimmung bedingter Wiederkehrzeiten in kritischen Bereichen

Zur Abschätzung der Sanierungspriorität ist es erforderlich, die bedingten Wiederkehrzeiten der Ereignisse in kritischen Bereichen zu betrachten. Die Berechnung kann mit der Gleichung 4 mit Berücksichtigung der kritischen Wiederkehrzeit erfolgen.

$$T_{b,krit} = \frac{\ln(p_0)}{\ln\left(1 - \frac{1}{T_{krit}}\right)}$$

Für $T_{b,krit}$ kann die Gleichung 3 eingesetzt werden. Damit ergibt sich die Bestimmungsgleichung, die Grundlage zur Einordnung in die Zustandsklassen ist.

Gleichung 5

$$T_{b,krit} = \frac{\ln(p_0)}{\ln\left(1 - \frac{T_{erf} - T_{vorh}}{T_{erf} \cdot T_{vorh}}\right)}$$

Für das bereits zuvor verwendete Beispiel gem. Tab. 3-2 können jetzt die bedingten, kritischen Wiederkehrzeiten $T_{b,krit}$ bestimmt werden. Die statistische Sicherheit p_0 beträgt 0,9 (90 Prozent).

Tab. 3-3 Beispiel zur Berechnung von bedingten, kritischen Wiederkehrzeiten

	T_{vorh} [a]	T_{erf} [a]	Sanierung	$T_{b,krit}$ [a]
Fall A	1	10	Dringend	0,05
Fall B	9	10	Nicht dringend	9,43

Für das vorliegende Beispiel ergibt sich im Fall A, dass mit einer statistischen Sicherheit von 90 Prozent in einer sehr kurzen Zeit mit einem hydraulischen Versagen zu rechnen ist, das nur durch eine schnelle Sanierung verhindert werden kann. Es besteht ein sofortiger Sanierungsbedarf.

Für das vorliegende Beispiel ergibt sich im Fall B, dass mit einer statistischen Sicherheit von 90 Prozent erst nach einer sehr langen Zeit von fast 10 Jahren mit einem hydraulischen Versagen zu rechnen ist, die durch

eine Sanierung verhindert werden kann. Es besteht ein langfristiger Sanierungsbedarf.

3.6 Gültigkeitsbereich der Bestimmungsgleichung

Die Bestimmungsgleichung

$$T_{b,krit} = \frac{\ln(p_0)}{\ln\left(1 - \frac{T_{erf} - T_{vorh}}{T_{erf} \cdot T_{vort}}\right)}$$

kann nur innerhalb von Grenzen angewendet werden.

- $p_0 > 0$,
weil $\ln(0)$ nicht definiert ist. Die anzugebende, statistische Sicherheit ist jedoch immer größer als Null.
- $T_{erf} > T_{vorh}$,
weil mit $\ln(1)$ sich im Zähler Null ergibt. Ein Sanierungsbedarf bedingt jedoch, dass die vorhandene Wiederkehrzeit immer kleiner als die erforderliche Wiederkehrzeit ist .
- $T_{vorh} > \frac{T_{erf}}{1 + T_{erf}}$,
weil $1 - \frac{T_{erf} - T_{vorh}}{T_{erf} \cdot T_{vort}} > 0$ sein muss, um $\ln(0)$ zu vermeiden. Diese mathematische Bedingung betrifft den Bereich extrem kleiner vorhandener Wiederkehrzeiten. Für die für diese Aufgabenstellung erforderliche Bandbreite von
erforderlichen Wiederkehrzeiten im Bereich von 1 bis 50 Jahren sowie von
statistischen Sicherheiten im Bereich von 0,75 bis 0,95 ergeben sich in allen Fällen für

$$T_{vorh} = \frac{T_{erf}}{1 + T_{erf}} \cdot 1,01$$

bedingte kritische Wiederkehrzeiten von deutlich weniger als 0,1 Jahren. In diesen Fällen besteht aus fachlicher Sicht sofortiger Handlungsbedarf, so dass für

$$T_{vorh} \leq \frac{T_{erf}}{1 + T_{erf}}$$

die Zustandsklasse „5“ zu vergeben ist.

4 Durchführung der Klassifizierung

Grundlage für die hydraulische Zustandsklassifizierung von Haltungen sind hydraulische Berechnungen. Dazu gehören:

- Hydrodynamische Seriensimulation
- Hydrodynamische Einzelsimulation
- Zeitbeiwertverfahren

Die erforderlichen Wiederkehrzeiten T_{eff} sind mit den einschlägigen Regelwerken [1] festgelegt. Bei der Festlegung ist ggf. die Art des Nachweises (Überstau oder Überflutung) zu unterscheiden. Das Bewertungsverfahren jedoch ist davon unabhängig anwendbar.

Die vorhandenen Wiederkehrzeiten T_{vorh} werden in Abhängigkeit des Berechnungsverfahrens bestimmt. Unabhängig vom Berechnungsverfahren sind die Parameter zur Klassifizierung festzulegen.

4.1 Festlegung der Klassifizierungsparameter

Die Festlegung der Klassifizierungsparameter erfolgt auf Basis grundsätzlicher Überlegungen. Die Festlegungen der Parameter führen wegen des zu Grunde liegenden statistischen Verfahrens zu nachvollziehbaren Ergebnissen, die nur noch in einem engen Bereich subjektiv sind.

4.1.1 Statistische Sicherheit

Dazu gehört die Festlegung der statistischen Sicherheit, die mit 0,9 (90 Prozent) quantifiziert wird. Plausibel sind auch etwas kleinere oder größere Sicherheiten. Aber eine Sicherheit unterhalb von 75 oder 80 Prozent wäre deutlich zu klein und aus genereller Sicht nicht vertretbar. Kleine Sicherheiten führen zu kleinen Zustandsklassen gem. Tab. 2-1, die dann jedoch mit einem erheblichen Risiko verbunden sind.

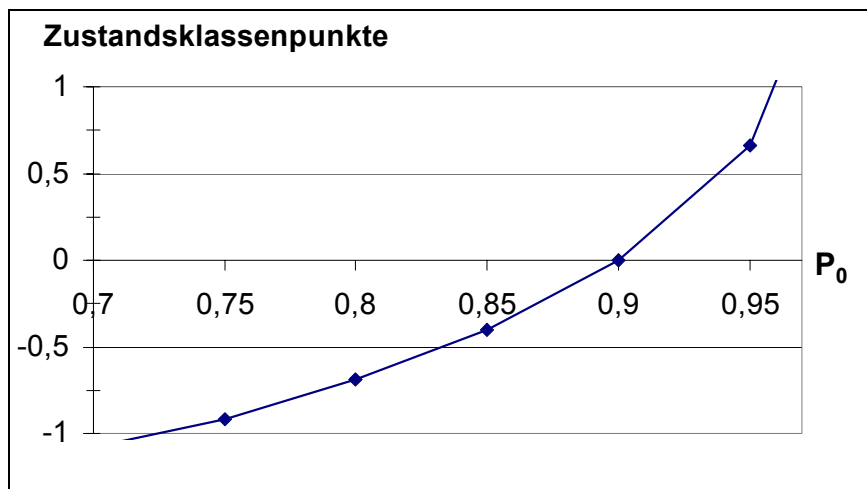


Abb. 4-1 Variation der statistischen Sicherheit p_0 für die Klassenübergänge gem. Tab. 4-2

4.1.2 Klassenübergänge

Die bedingten, kritischen Wiederkehrzeiten $T_{b,krit}$ sind mit den Zustandsklassen (vgl. Tab. 2-1) in Zusammenhang zu bringen. Die bedingten, kritischen Wiederkehrzeiten können dabei als maximaler Zeitraum interpretiert werden, bis eine Sanierungsmaßnahme abgeschlossen sein sollte, um die statistische Sicherheit nicht zu unterschreiten.

Zweckmäßigerweise werden die Übergänge zwischen den Klassen festgelegt. Die Festlegungen basieren auf grundsätzlichen Überlegungen (Tab. 4-1 und Abb. 4-2). Eine sinnvolle Bandbreite der Klassenübergänge ist in Tab. 4-1 dargestellt.

Tab. 4-1 Aus baufachlicher Sicht sachgerechte Festlegungen von Klassenübergängen

Von Klasse	Nach Klasse	Zeitraum bis zur Sanierung bedingte, kritische Wiederkehrzeiten $T_{b,krit}$ [a] min / mittel / max
1	2	10,0 / 8,0 / 6,0
2	3	5,5 / 4,0 / 2,5
3	4	1,75 / 1,25 / 0,75
4	5	0,5 / 0,33 / 0,25

Zur Einschätzung der Sensitivität der Bandbreite, die gem. Tab. 4-1 aus baufachlicher Sicht sinnvolle Festlegungen darstellt, sind Untersuchungen der Auswirkungen auf die Bandbreite der Zustandsklassenpunkte sinnvoll. In der Grafik in Abb. 4-2 sind die minimalen und maximalen Abweichungen der Zustandsklassenpunkte im Vergleich zum jeweils mittleren Wert gem. Tab. 4-1 dargestellt. Die Abweichungen sind mit 0,4 Klassenpunkten, die sich unabhängig von der bedingten, kritischen Wiederkehrzeit ergeben, insgesamt relativ gering.

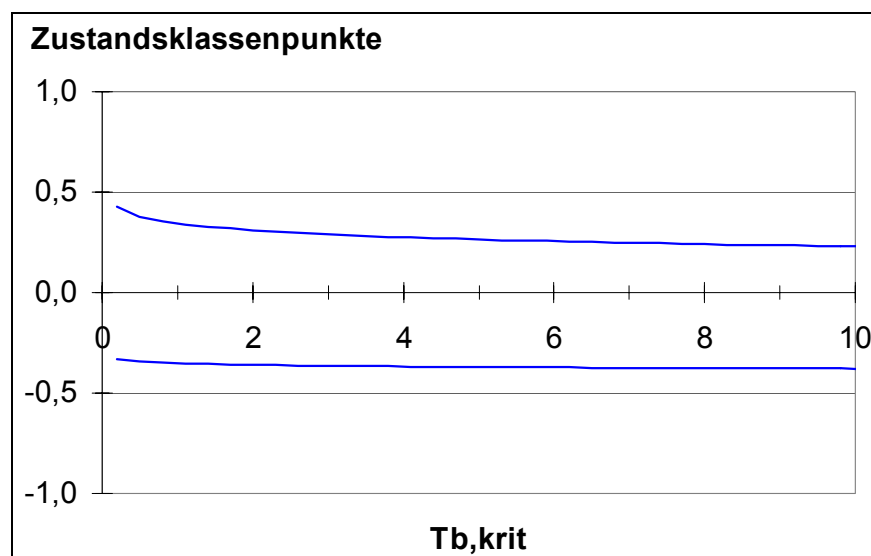


Abb. 4-2 Variation der Zustandsklassenfunktion gem. Tab. 3 - 1

Da der mittlere Verlauf

- aus baufachlicher Sicht plausibel ist und
- zu plausiblen Berechnungsergebnissen führt,

werden die Klassenübergänge gem. Tab. 4-2 festgelegt.

Tab. 4-2 Festlegung der Klassenübergänge

Von Klasse	Nach Klasse	Zeitraum bis zur Sanierung bedingte, kritische Wiederkehrzeiten $T_{b,krit}$ [a]
1	2	8,0
2	3	4,0
3	4	1,25
4	5	0,33

Neben den Klassenübergängen kann ein funktionaler Verlauf zwischen Zustandsklasse und bedingter, kritischer Wiederkehrzeit festgelegt werden. Hierfür könnte auf Grundlage der in Tab. 4-2 festgelegten Stützpunkte ein funktionaler Verlauf approximiert werden. Der funktionale Verlauf ermöglicht prinzipiell die Berechnung realer Zustandsklassen.

Mit der Zustandsklassifizierung ist jedoch nur eine Einordnung in Prioritäten gefordert, weil zur Sanierungsplanung weitere Anforderungen wie z.B. bautechnischer Zustand oder gebietsbezogene Aspekte von Bedeutung sind. Daher ist die Verwendung von realen Zustandsklassen nicht unbedingt hilfreich.

Als Übergang zwischen den Zustandsklassen wird das arithmetische Mittel zwischen den Klassen festgelegt. Somit gilt z.B. die Zustandsklasse 1,5 als Übergang von der Klasse 1 zur Klasse 2. Die Bestimmungsgleichung Gleichung 5 kann nach der vorhandenen Wiederkehrzeit aufgelöst werden.

Gleichung 6

$$T_{\text{vorh}} = \left(1 - p_0 \frac{1}{T_{b,krit}} + \frac{1}{T_{\text{erf}}} \right)^{-1}$$

Damit ergeben sich mit einer statistischen Sicherheit $p_0=0,9$ und den Festlegungen gem. Tab. 4-2 die vorhandenen Wiederkehrzeiten T_{vorh} in Abhängigkeit von den Klassenübergängen und den erforderlichen Wiederkehrzeiten T_{erf} .

Tab. 4-3 Vorhandene Wiederkehrzeiten T_{vorh} in Jahren auf Grundlage der erforderlichen Wiederkehrzeiten T_{erf} und den Klassenübergängen auf Basis hydrodynamischer Kanalnetzberechnungen

T_{erf} [a]	Von 0 nach 1	Von 1 nach 2	Von 2 nach 3	Von 3 nach 4	Von 4 nach 5
2	2	1,95	1,90	1,72	1,29
3	3	2,89	2,78	2,41	1,65
5	5	4,69	4,42	3,56	2,11
10	10	8,84	7,94	5,53	2,68
20	20	15,85	13,16	7,64	3,09
30	30	21,54	16,85	8,76	3,26
50	50	30,23	21,74	9,92	3,41

Um z.B. bei einer erforderlichen Wiederkehrzeit $T_{\text{erf}} = 5\text{a}$ die Zustandsklasse „3“ zu erreichen, muss die vorhandene Wiederkehrzeit im Bereich von $3,56\text{ a} < T_{\text{vorh}} < 4,42\text{ a}$ sein.

4.2 Hydrodynamische Seriensimulation

Die vorhandene Wiederkehrzeit T_{vorh} ergibt sich aus der statistischen Analyse der Ergebnisse der Seriensimulation. Die Berechnung der hydraulischen Zustandsklasse erfolgt in zwei Schritten.

- Schritt 1: Berechnung der bedingten, kritischen Wiederkehrzeit gem. der Bestimmungsgleichung Gleichung 5.
- Schritt 2: Einordnung der bedingten, kritischen Wiederkehrzeit in eine Zustandsklasse z.B. gem. Tab. 4-3.

4.3 Hydrodynamische Einzelsimulation

Die vorhandene Wiederkehrzeit T_{vorh} kann mit vertretbarem Aufwand nicht direkt oder nur sehr unsicher [4] bestimmt werden. Für die Einordnung in Zustandsklassen ist jedoch nicht die genaue Kenntnis der vorhandenen Wiederkehrzeit T_{vorh} , sondern nur das Erreichen der Klassengrenzen von Relevanz. Hierfür ist es hinreichend, die Niederschläge zur hydrodynamischen Einzelsimulation mit der Wiederkehrzeit zu bestimmen, die der jeweiligen vorhandenen Wiederkehrzeit des Klassenübergangs entspricht. Diese Vorgehensweise legt die bei Einzelsimulationen übliche Annahme zugrunde, dass die Abflusshäufigkeit der Regenhäufigkeit entspricht. Auf Grundlage der Festlegung in Tab. 4-2 ergibt sich z.B. bei einer erforderlichen Wiederkehrzeit $T_{\text{erf}} = 5\text{a}$ und einem hydraulischen Versagen bei einer Simulation mit einem Niederschlag der Wiederkehrzeit von $2,11\text{ a}$ die Zustandsklasse „5“.

Zweckmäßigerweise werden zur Minimierung der Rechenzeit die Einzelsimulationen in absteigender Reihenfolge der Wiederkehrzeit durchgeführt.

- Die erste Simulation erfolgt mit einem Niederschlag, dessen Wiederkehrzeit der erforderlichen Wiederkehrzeit T_{erf} entspricht.
- Wenn kein hydraulisches Versagen eintritt, wird die Zustandsklasse „0“ vergeben und das Verfahren beendet.
- Wenn ein hydraulisches Versagen eintritt, sind weitere Simulationen erforderlich.
- Die weiteren Simulationen erfolgen im Bedarfsfall mit Niederschlägen, deren Wiederkehrzeit den Übergängen zwischen den Zustandsklassen (z.B. 4,69 a zwischen Zustandsklasse „1“ und „2“ bei $T_{\text{erf}} = 5a$) entsprechen.
- Wenn kein hydraulisches Versagen eintritt, wird die obere Zustandsklasse des Klassenübergangs vergeben (z.B. Zustandsklasse „1“) und das Verfahren beendet.
- Wenn ein hydraulisches Versagen eintritt, sind weitere Simulationen mit Niederschlägen, die dem nächsten Klassenübergang (z.B. 4,42 a zwischen Zustandsklasse „2“ und „3“ bei $T_{\text{erf}} = 5a$) entsprechen, erforderlich.

Zur Einordnung in korrekte Zustandsklassen sind somit maximal fünf Simulationen erforderlich (vgl. Tab. 4-3). Bei einer gem. Kap. 3.3 ausreichenden hydraulischen Leistungsfähigkeit ist eine Simulation ausreichend.

4.4 Zeitbeiwertverfahren

Das Zeitbeiwertverfahren dient der Bemessung von Abwasserhaltungen. Eine Aussage über das tatsächliche Abflussverhalten ist vom Grundsatz her nicht möglich. Insofern kann eine hydraulische Zustandsklassifizierung, die auf dem Zeitbeiwertverfahren basiert, nur näherungsweise Aussagen über die Sanierungsbedürftigkeit und Priorität geben.

Das Zeitbeiwertverfahren ist zudem auf Abwasserkanäle (Haltungen und Leitungen) bezogen. Die hydraulische Zustandsklassifizierung ist jedoch auf Ortspunkte (Schächte) bezogen. Zur Auflösung dieses örtlichen Konfliktes wird die Bestimmung der vorhandenen Wiederkehrzeit auf den oberhalb liegenden Schacht eines Abwasserkanals bezogen.

Die in das Zeitbeiwertverfahren einfließenden Niederschlagshäufigkeiten sind Bemessungshäufigkeiten. Die Bemessungshäufigkeiten sind nicht mit den Häufigkeiten des tatsächlichen Abflussgeschehens gleichwertig. Die Einordnung in hydraulische Zustandsklassen orientiert sich jedoch am tatsächlichen hydraulischen Geschehen und nicht an Bemessungshäufigkeiten. Zur Zuordnung der Bemessungshäufigkeit zu den Häufigkeiten, die sich am tatsächlichen Abflussgeschehen orientieren, werden die in den Regelwerken [1] vorgegebenen nutzungsabhängigen Nieder-

schlagshäufigkeiten für das Zeitbeiwertverfahren und die Überstaunachweise verglichen und ein Korrekturfaktor festgelegt.

Tab. 3 - 3 Häufigkeiten zur Dimensionierung [2] und Korrekturfaktor f_{ZeBev} gem

	Überstauhäufigkeit [1/a]	Zeitbeiwertverfahren [1/a]	Korrekturfaktor f_{ZeBev} [-]
Außengebiete, aufgelockerte Bebauung	0,5	1	2,0
Unterkunftsbereich, normale Bebauung	0,33	0,5	1,5
normale Betriebs- und Werkstättenbereiche	0,2	0,2	1,0
Betriebsbereiche mit erhöhtem Schutzbedürfnis	0,1	0,1	1,0

Der Korrekturfaktor

$$f_{ZeBev} = \frac{T_{\text{Zeitbeiwert}}}{T_{\text{Einzelsimulation}}}$$

wird aus den Quotienten der Wiederkehrzeiten des Zeitbeiwertverfahrens und der Einzelsimulation berechnet. In die Bestimmungsgleichung eingesetzt erhält man über

$$T_{b,krit} = \frac{\ln(p_0)}{\ln\left(1 - \frac{(f_{ZeBev} \cdot T_{erf}) - (f_{ZeBev} \cdot T_{vorh})}{(f_{ZeBev} \cdot T_{erf}) \cdot (f_{ZeBev} \cdot T_{vorh})}\right)}$$

eine für das Zeitbeiwertverfahren modifizierte Bestimmungsgleichung.

Gleichung 7

$$T_{b,krit} = \frac{\ln(p_0)}{\ln\left(1 - \frac{1}{f_{ZeBev}} \cdot \frac{T_{erf} - T_{vorh}}{T_{erf} \cdot T_{vorh}}\right)}$$

Die Bestimmungsgleichung Gleichung 7 kann nach der vorhandenen Wiederkehrzeit aufgelöst werden.

Gleichung 8

$$T_{vorh} = \left(f_{ZeBev} \cdot \left(1 - p_0 \frac{1}{T_{b,krit}} \right) + \frac{1}{T_{erf}} \right)^{-1}$$

Damit ergeben sich mit einer statistischen Sicherheit $p_0=0,9$ und den Festlegungen gem. Tab. 4-2 die vorhandenen Wiederkehrzeiten T_{vorh} in Abhängigkeit von den Klassenübergängen und den erforderlichen Wiederkehrzeiten T_{erf} .

Tab. 4-4 Vorhandene Wiederkehrzeiten T_{vorh} in Jahren auf Grundlage der erforderlichen Wiederkehrzeiten T_{eff} und den Klassenübergängen auf Basis des Zeitbeiwertverfahrens

T_{eff} [a]	Von 0 nach 1	Von 1 nach 2	Von 2 nach 3	Von 3 nach 4	Von 4 nach 5
1	1	0,97	0,95	0,86	0,65
2	2	1,92	1,86	1,61	1,10
3	3	2,89	2,78	2,41	1,65
5	5	4,69	4,42	3,56	2,11
10	10	8,84	7,94	5,53	2,68
20	20	15,85	13,16	7,64	3,09
30	30	21,54	16,85	8,76	3,26
50	50	30,23	21,74	9,92	3,41

Um z.B. bei einer erforderlichen Wiederkehrzeit $T_{\text{eff}} = 2$ a die Zustandsklasse „3“ zu erreichen, muss die vorhandene Wiederkehrzeit im Bereich von $1,61 \text{ a} < T_{\text{vorh}} < 1,86 \text{ a}$ sein.

Mit dem Zeitbeiwertverfahren kann mit einem Niederschlag der erforderliche Abfluss berechnet werden. Dabei ist bei der Klassifizierung im Gegensatz zur Bemessung nach dem Zeitbeiwertverfahren keine Reduzierung der Vollfülleleistung auf 90% erforderlich. Analog zur hydrodynamischen Einzelsimulation gem. Kap. 4.3 ist keine Berechnung der vorhandenen Wiederkehrzeit, sondern eine direkte Klassifizierung zweckmäßig.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der vorgestellten Methodik kann auf Grundlage hydraulischer Berechnungen von Regenwasser- und Mischwassernetzen ein Sanierungsbedarf klassifiziert werden. Die Methodik ist unabhängig vom Berechnungsverfahren (Nachweis oder Bemessung) und unabhängig von der Zielgröße eines Nachweises (Überflutung oder Überstau). Leitgedanke ist, nicht ausreichende hydraulische Leistungsfähigkeiten dann als besonders dringlich einzustufen, wenn die vorhandene Wiederkehrzeit deutlich kleiner als die erforderliche Wiederkehrzeit ist. Die Zustandsklassifizierung selbst basiert auf statistischen Überlegungen mit drei Parametern:

p_0

Vorzugebende statistische Sicherheit, mit der ein hydraulisches Versagen vermieden werden soll. Die statistische Sicherheit ist für alle Berechnungsverfahren identisch anzusetzen.

T_{vorh}	Vorhandene Wiederkehrzeit in Jahren, die auf Grundlage der hydraulischen Berechnung festzulegen ist.
T_{erf}	Erforderliche Wiederkehrzeit in Jahren, die auf Grundlage der Nutzung in den einschlägigen Regelwerken festgelegt ist.

Die Klassifizierung erfolgt in Abhängigkeit des zeitlichen Abstandes zwischen der erforderlichen und vorhandenen Wiederkehrzeit. Je größer der Abstand und je kleiner die erforderliche Wiederkehrzeit umso dringender ist der Sanierungsbedarf.

6 Literatur

- [1] ATV-DVWK-A 118: Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, 1999. Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik, Hennef.
- [2] Arbeitshilfen Abwasser: Planung, Bau und Betrieb abwassertechnischer Anlagen auf Liegenschaften des Bundes, Stand Oktober 2006. Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen und Bundesministerium der Verteidigung. www.arbeitshilfen-abwasser.de.
- [3] Sieker, F.: Häufigkeitsanalyse. Zeitschrift Stadtentwässerung und Gewässerschutz Nr 15, 1991. SuG Verlagsgesellschaft Hannover, ISSN 0933-6052.
- [4] Hurlebusch, R.: Hydraulische Zustandsklassifizierung – Beispielberechnungen -, 2005. itwh GmbH, unveröffentlicht.

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB)
11014 Berlin
Internet: www.bmi.bund.de

Bundesministerium der Verteidigung (BMVg)
53003 Bonn
Internet: www.bmvg.de

Verantwortliche

Dipl.-Ing. Cremer
Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
Referat BW I 5 · Alt-Moabit 140 · 10557 Berlin

Dipl.-Ing. Barth
Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen
der Bundeswehr
Referat Infra II 1 · Fontainengraben 200 · 53123 Bonn

Redaktion

Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften
Leitstelle des Bundes für Abwassertechnik
Referat BL 37 · Waterloostraße 4 · 30169 Hannover
E-Mail: [lsb\[at\]nlbl.niedersachsen.de](mailto:lsb[at]nlbl.niedersachsen.de)
Internet: www.leitstelle-des-bundes.de

Ansprechperson

Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften
Dipl.-Ing. Jochem Lehne

Text

Arbeitskreis Abwasser, Arbeitsgruppe Datenverarbeitung Abwasser
Mitarbeit: Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH
Engelbosteler Damm 22 · 30167 Hannover

Gestaltung

Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH

Urheberschutz

Die BFR Abwasser sind urheberrechtlich geschützt, alle Rechte sind vorbehalten. Vervielfältigungen innerhalb der Bauverwaltungen der Länder und der Wehrverwaltungen sind gestattet. Vervielfältigung und Verbreitung, im Auszug oder gesamt, außerhalb des Zuständigkeitsbereiches der Bauverwaltungen der Länder und der Wehrverwaltungen bedürfen der schriftlichen Genehmigung des Herausgebers.

Bildnachweis

Die Nutzungsrechte der Bilder sind dem Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen durch Dipl.-Ing. Lehne und dem Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie übertragen worden.

Stand

Oktober 2006

Aktuelle Informationen

www.bfr-abwasser.de und www.leitstelle-des-bundes.de/Inhalt/awt

