

Regenwasser auch an höheren Gebäuden zuverlässig ableiten

Falleleitungen richtig auslegen

Die Ableitung von Regenwasser bei hohen Häusern funktioniert nur zuverlässig, wenn das Installationsunternehmen die Falleleitungen richtig dimensioniert. Zudem gilt es bei der Ausführung verschiedene Dinge zu beachten. Der folgende Beitrag zeigt auf, wie es geht, wenn Freispiegelentwässerung und Druckströmung zur Ausführung kommen.

Hochhäuser sind nach dem deutschen Baurecht Gebäude, bei denen der Fußboden eines Aufenthaltsraumes mehr als 22 m über der festgelegten Geländeoberfläche liegt. Die besonderen Anforderungen an Hochhäuser sind in den Hochhaus-Richtlinien (HHR) der einzelnen Bundesländer geregelt. Entwässerungsanlagen von Hochhäusern müssen gemäß der Euronorm DIN EN 12 056 „Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden“, Ausgabe Januar 2001 sowie der deutschen Restnorm DIN 1986-100 „Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke“, Ausgabe März 2002 geplant und ausgeführt werden. Für Regenentwässerungssysteme mit planmäßiger Vollfüllung gilt zusätzlich noch die VDI-Richtlinie 3806 „Dachentwässerung mit Druckströmung“, Ausgabe April 2000.

Allgemeine Grundlagen

Regenentwässerungsanlagen werden gemäß DIN 1986-100 aus wirtschaftlichen Gründen und zur Sicherstellung der Selbstreinigungsfähigkeit für ein mittleres Regenereignis bemessen. Die Berechnungsregenspende muss auf Basis statistischer Erhebungen ermittelt werden. Für Niederschlagsflächen ohne geplante Regenrückhaltung ist dies der Zweijahres-Fünfminutenregen ($r_{5,2}$) am Gebäudestandort. Das Regenentwässerungs- und Notüberlaufsystem muss nach DIN 1986-100 gemeinsam mindestens das am Gebäudestandort über fünf Minuten zu erwartende Jahrhundertregenereignis ($r_{5,100}$) entwässern können. Zum Sicherheitskonzept von Regenentwässerungsanlagen gehören in vielen Fäl-

len entsprechend DIN 1986-100 noch Überflutungs- und Überlastungsnachweise sowie Maßnahmen zur Regenrückhaltung auf dem Grundstück. Die bei Strömungsumlenkungen auftretenden Kräfte können insbesondere bei Regenfalleleitungen mit großer Falleitungslänge erheblich sein und müssen bei der Planung und Ausführung berücksichtigt werden. Eine häufige Problemstellung bei Hochhäusern ist die sichere Regenwasserableitung von Dachflächen mit stark unterschiedlichem Höhenniveau. Die Betrachtungen und Hinweise dieser Technischen Information gelten sinngemäß für alle höheren Bauwerke.

Regenwasserfalleleitungen im Freispiegelsystem

Fallgeschwindigkeit des Abwassers

Durch den Widerstand der Luftsäule im Rohr und der Reibung an den Rohrwandungen erfolgt eine entsprechende Bremsung. Messungen haben ergeben, dass sich die Fallbeschleunigung und die Bremswirkung durch die Luftsäule sowie die Rohrreibung nach ca. 15 m aufheben, und die Geschwindigkeit in der Größenordnung von ca. 10 m/s nicht mehr wesentlich zunimmt (Bild 1). Fallbremsen in Falleleitungen von Hochhäusern in Form von zusätzlichen Leitungsverzügen sind somit überflüssig.

Füllungsgrad

Der Füllungsgrad bezeichnet bei liegenden Abwasserleitungen das Verhältnis der Was-

sertiefe zum Innendurchmesser. Nach DIN 1986-100, Abschnitt 9.3.5.2 sind Sammel- und Grundleitungen innerhalb des Gebäudes für einen Füllungsgrad von 0,7 unter Berücksichtigung eines Mindestgefälles von $J = 0,5$ cm/m zu bemessen. Bei Falleleitungen bezeichnet der Füllungsgrad das Verhältnis des Querschnitts des Rohres, der mit Wasser gefüllt ist, zum Gesamtquerschnitt. Nach DIN 1986-100, Abschnitt 9.3.5.1 können Falleleitungen bis zu einem Füllungsgrad von $f = 0,33$ bemessen werden (Bild 2). Durch die vorgeschriebenen maximalen Füllungsgrade ist eine kontinuierliche Be- und Entlüftung gegeben, die bei Regenwasserleitungen im Freispiegelsystem in erster Linie zum Druckausgleich und somit zur bestimmungsgemäßen Funktion beiträgt. Zusätzliche Lüftungsleitungen sind bei Regenwasserleitungen nicht erforderlich.

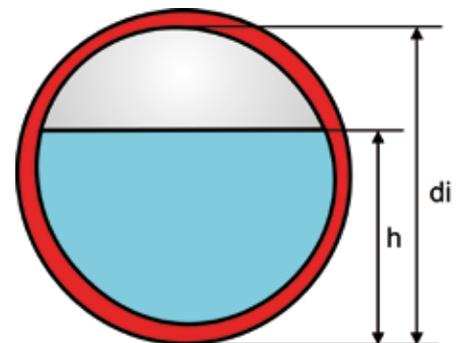


Bild 2 Füllungsgrad bei liegenden Leitungen

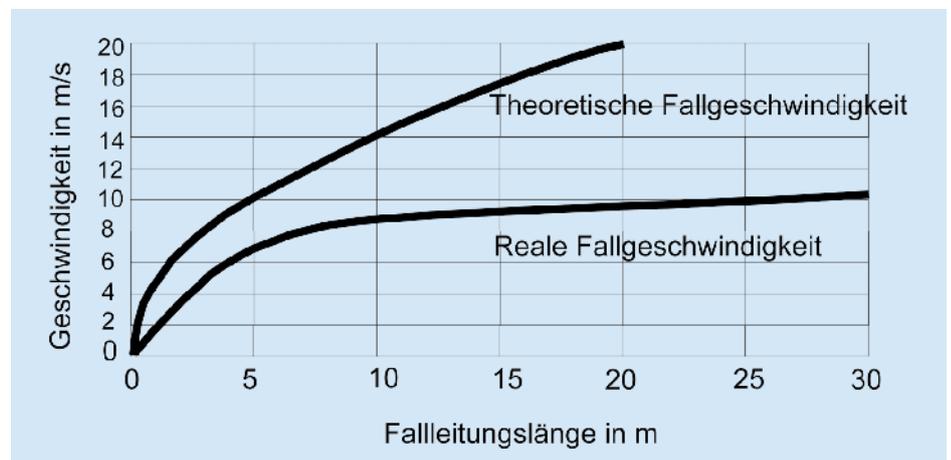


Bild 1 Theoretische und reale Fallgeschwindigkeit in Falleleitungen

Innendurchmesser der Regenwasserfallleitung d_i	Abflussvermögen Q_{RWP} (l/s)		Innendurchmesser der Regenwasserfallleitung d_i	Abflussvermögen Q_{RWP} (l/s)	
	Füllungsgrad $f = 0,20$	Füllungsgrad $f = 0,33$		Füllungsgrad $f = 0,20$	Füllungsgrad $f = 0,33$
50	0,7	1,7	140	11,4	26,3
55	0,9	2,2	150	13,7	31,6
60	1,2	2,7	160	16,3	37,5
65	1,5	3,4	170	19,1	44,1
70	1,8	4,1	180	22,3	51,4
75	2,2	5	190	25,7	59,3
80	2,6	5,9	200	29,5	68,0
85	3	6,9	220	38,1	87,7
90	3,5	8,1	240	48,0	110,6
95	4	9,3	260	59,4	137,0
100	4,6	10,7	280	72,4	166,9
110	6	13,8	300	87,1	200,6
120	7,6	17,4	> 300	wende die	wende die
130	9,4	21,6		Wyly-Eaton-Gleichung an	Wyly-Eaton-Gleichung an

Bild 3 Tabelle 8 aus DIN EN 12 056-3

Bemessung teilgefüllter Regenwasserfallleitungen

Regenwasserfallleitungen im Freispiegelsystem werden gemäß Tabelle 8 der DIN EN 12 056-3 bemessen (Bild 3). Nach DIN 1986-100, Abschnitt 9.3.5.1 darf die Regenwasserfallleitung keine geringere Nennweite aufweisen als die Anschlussnennweite des dazugehörigen Dachablaufs, respektive der Anschlussleitung an die Fallleitung. Die angegebenen Werte beruhen auf der Wyly-Eaton-Gleichung:

$$Q_{RWP} = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot k_b^{-0,167} \cdot d_i^{2,667} \cdot f^{1,667}$$

Q_{RWP} = Abflussvermögen der Regenwasserfallleitung in l/s

k_b = Rohrrauigkeit in mm (angenommen mit 0,25 mm)

d_i = Innendurchmesser der Regenwasserfallleitung in mm

f = Füllungsgrad, definiert als das Verhältnis des Querschnitts des Rohres, der mit Wasser gefüllt ist, zum Gesamtquerschnitt (dimensionslos)

Somit besteht auch die Möglichkeit, das Abflussvermögen bezogen auf den tatsächlichen Innendurchmesser des jeweiligen Rohrwerkstoffes, zu berechnen (Bild 4). Wenn eine Re-

Bild 4 Abflussvermögen von Regenwasserfallleitungen aus gusseisernen Abflussrohren bei Füllungsgrad $f = 0,20$ und $f = 0,33$

Nennweite	Innendurchmesser der Regenwasserfallleitung d_i	Abflussvermögen Q_{RWP} (l/s)	
		Füllungsgrad $f = 0,20$	Füllungsgrad $f = 0,33$
50	51	0,8	1,8
80	76	2,2	5,2
100	103	5,0	11,6
125	127	8,8	20,3
150	152	14,2	32,7
200	200	29,5	68,0
250	263	61,3	141,2
300	314	98,3	226,5

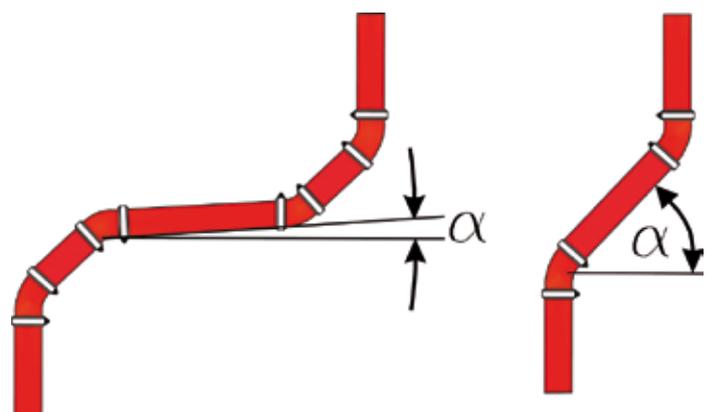


Bild 5 Einfluss des Verzugs in einer Regenwasserfallleitung

genwasserfallleitung einen Verzug aufweist, mit einem Gefälle von $\alpha \geq 10^\circ$ zur Waagerechten, kann der Verzug gemäß DIN EN 12056-3 vernachlässigt werden. Bei einem Verzug $\alpha < 10^\circ$ erfolgt die Dimensionierung wie bei Sammel- oder Grundleitungen (Bild 5).

Dachflächen mit stark unterschiedlichem Höhenniveau

Bei Dachflächen mit stark unterschiedlichem Höhenniveau, die an eine gemeinsame Fallleitung angeschlossen sind, besteht grundsätzlich die Gefahr, dass bei einem Starkregenereignis oder anderen Betriebszuständen das Regenwasser von höher gelegenen Dachflächen auf tiefer angeordneten Dachflächen zur Überflutung führen kann. Aus Sicherheitsgründen ist es empfehlenswert, Dachflächen mit stark unterschiedlichem Höhenniveau über separate Fallleitungen zu entwässern (Bild 6).

Reaktionskräfte bei Umlenkungen

Die bei Strömungsumlenkungen im Überlastungsfall auftretenden Kräfte können erheblich sein. Schäden im Bereich von nicht längskraftschlüssigen Verbindungen, insbesondere bei Regenfallleitungen mit großer Fallleitungs-

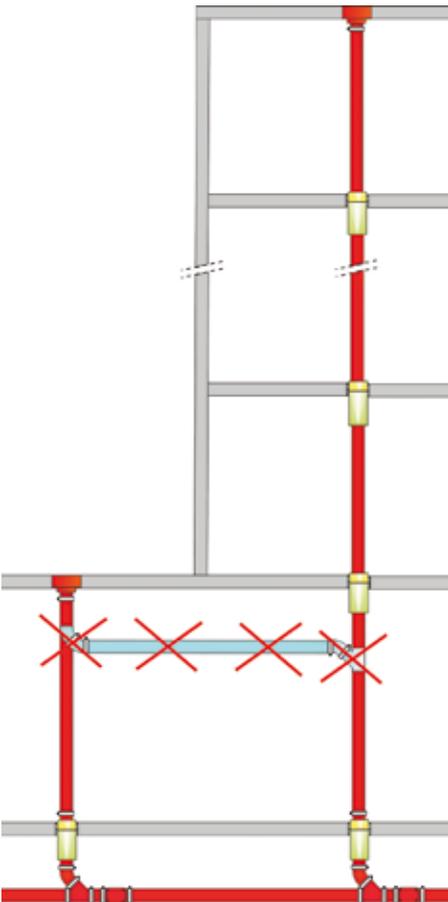


Bild 6 Dachflächen mit stark unterschiedlichem Höhenniveau sind aus Sicherheitsgründen über separate Fallleitungen zu entwässern

ge, sind die Folge. Eine erste Größenordnung über die auftretenden Kräfte kann an Hand von Strömungsimpulsbetrachtungen gewonnen werden. Bei einer 90° Umlenkung sind die Kräfte F_1 und F_2 bei gleichbleibendem Strömungsquerschnitt identisch. Diese Gleichungen berücksichtigen nicht die Besonderheiten der Fallleitungsströmung. Sie sind aber geeignet, eine erste Vorstellung über die Größenordnung der möglichen Kräfte zu gewinnen.

$$F_1 = F_2 = \rho \cdot A_x \cdot v_x^2 + p_x \cdot A_x$$

ρ = Dichte des Wassers

A_x = Rohrquerschnitt der Kontrollfläche

v_x = Geschwindigkeit der Strömung in der Kontrollfläche

p_x = statischer Innendruck in der Kontrollfläche

Die resultierende Kraft ergibt sich wie folgt:

$$F_{res} = \sqrt{F_p^2 + F_y^2}$$

F_{res} = resultierende Kraft aus F_p und F_y . Mit dieser Kraft werden die Rohrverbindungen (Bild 7) beansprucht.

Berechnungsbeispiele

Rohrdimension DN 100 und DN 200 bei $p_x = 0,5$ bar und $v_x = 5$ m/s

$$F_{res \text{ DN } 100} = 832,7 \text{ N} = 84,9 \text{ kg}$$

$$F_{res \text{ DN } 200} = 3330,5 \text{ N} = 339,5 \text{ kg}$$

Erkenntnis: Die wirksamen Kräfte steigen bei konstantem Innendruck und gleicher Geschwindigkeit mit dem Rohrdurchmesser überproportional an. Maßnahmen zur Absicherung gegen Auseinandergleiten der Verbindungen (Längskraftschlüssigkeit) gibt es unter www.izeg.de, Technische Information „Krallenmontage“.

Regenwasserfallleitungen bei Druckströmung

Systembeschreibung

Bei der Dachentwässerung mit Druckströmung werden im Gegensatz zur Freispiegelentwässerung die Leitungen ab der Bemessungsregenspende planmäßig vollgefüllt betrieben.

Dachentwässerungssysteme mit Druckströmung werden in Skandinavien bereits seit mehr als 30 Jahren eingebaut. In Deutschland wird diese Technik seit mehr als 20 Jahren in größerem Umfang eingesetzt. Neben den Hinweisen in der DIN EN 12056-3 und der DIN 1986-100 gilt für die Planung, Berechnung und Ausführung von Regenentwässerungsanlagen mit planmäßiger Vollfüllung in Deutschland die VDI-Richtlinie 3806 „Dachentwässerung mit Druckströmung“, Ausgabe April 2000. Bei Dachentwässerungen mit Druckströmung handelt es sich wie bei Freispiegelentwässerungen um Entwässerungsanlagen nach dem Schwerkraftprinzip. Der gravierende Unterschied gegenüber den Freispiegelentwässerungsanlagen besteht darin, dass bei Dachentwässerungen mit Druckströmung wesentlich mehr Druckhöhe (Δh) zur Überwindung der Strömungsverluste durch Rohrreibung und Einzelwiderstände zur Verfügung steht. Bei Freispiegelentwässerungen resultiert die Druckhöhe (Δh) lediglich aus dem Rohrsohlengefälle. Die wesentlich größere Druckhöhe (Δh) bei Dachentwässerungen mit Druckströmung ergibt sich aus der Höhendifferenz zwischen der Wasserlinie über dem Dachablauf und dem Übergang auf die weiterführende Freispiegelentwässerungsanlage (Bild 8). Bedingt durch die große Druckhöhe, die zur Überwindung der Rohrreibungs- und Einzelwiderstände zur Verfügung steht, ergeben sich bei Dachentwässerungen mit Druckströmung kleinere Rohrdurchmesser und hohe Wassergeschwindigkeiten die zu einem Selbstreinigungseffekt führen. Aufgrund der hohen Selbstreinigungsfähigkeit darf eine Rohrverlegung ohne Gefälle vorgenommen werden (Bild 9).

Berechnungsgrundlagen

Ziel der Rohrnetzrechnung ist es, beim Berechnungsregen möglichst die Vollfüllung der Anlage und eine gute Wassermengenverteilung in den einzelnen Teilstrecken durch hydraulischen Abgleich zu erreichen. Hierzu wird für die einzelnen Fließwege (Stromfäden) die Bernoulli-Gleichung (stationäre Strömung bei inkompressiblem Fluid) angewendet.



Bild 7 Wirksame Kräfte einer 90° Umlenkung (Falleitung in liegende Leitung) bei Überdruck (Freispiegelentwässerung)

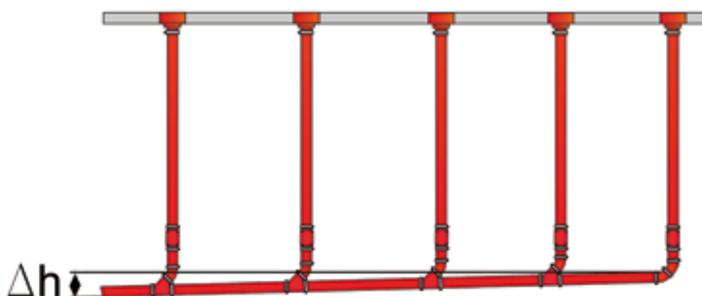
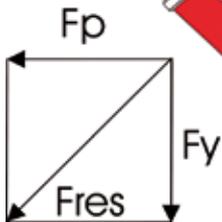


Bild 8 Druckhöhe bei Freispiegel- und Druckströmungsanlagen

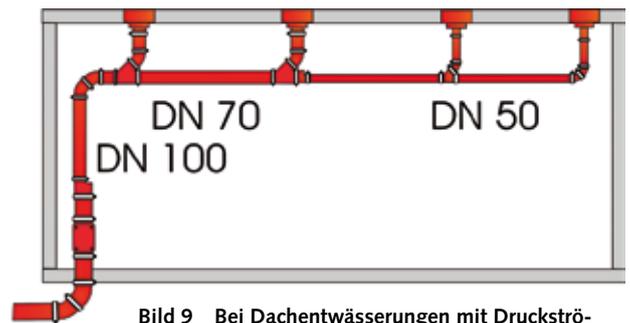
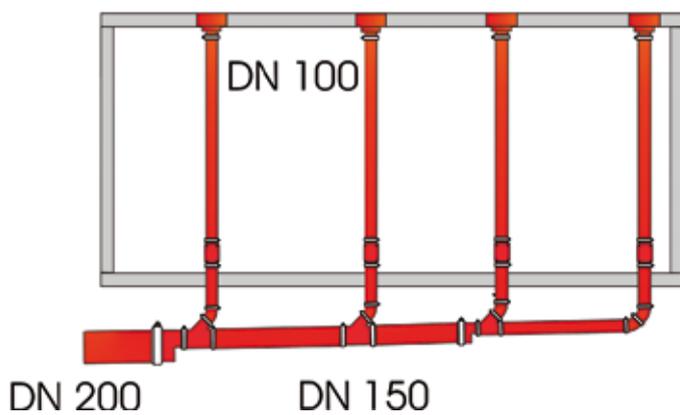


Bild 9 Bei Dachentwässerungen mit Druckströmung (r.) ergeben sich bedingt durch die große Druckhöhe kleinere Rohrdurchmesser und hohe Wassergeschwindigkeiten

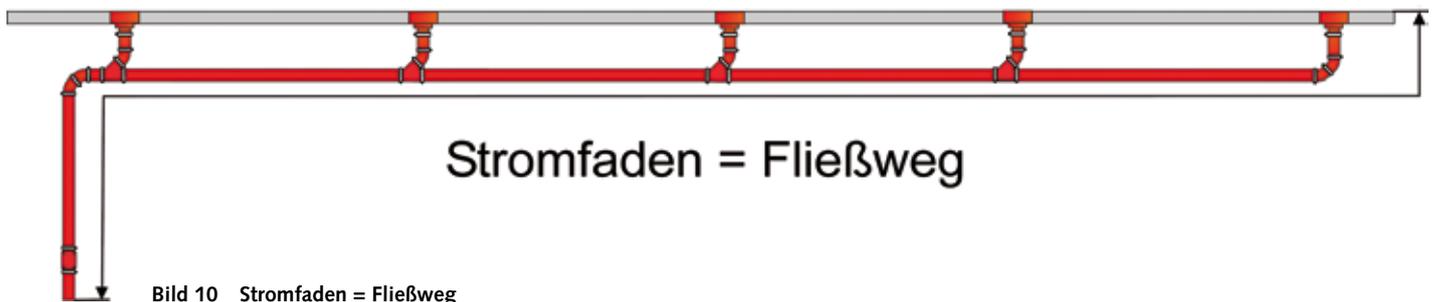


Bild 10 Stromfaden = Fließweg

det (Bild 10). Folgende Gleichungen gelten für jeden einzelnen Fließweg (Stromfaden):

$$\Delta p_{\text{verf}} = \Delta h_{\text{verf}} \cdot \rho \cdot g$$

$$\Delta p_{\text{verf}} \geq \Sigma (R \cdot l + Z)$$

Δh_{verf} = Höhendifferenz zwischen Dachablauf und Übergang auf Teilfüllung

ρ = Dichte des Wasser 1000 kg/m³ bei +10 °C

g = Erdbeschleunigung 9,81 m/s²

Δp_{verf} = verfügbarer Druck für den Fließweg (Stromfaden)

R = Druckverlust durch Rohrreibung pro Meter Rohr

l = Länge der Teilstrecke

Z = Druckverlust durch Einzelwiderstände in der Teilstrecke

Zusätzlich zur Rohrdimensionierung muss eine rechnerische Kontrolle des Innendrucks durchgeführt werden. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Anlage ohne Kavitation (Gasblasenbildung durch zu hohen Unterdruck = Strömungsabriss) betrieben werden kann und die maximalen Betriebsdrücke des Rohrwerkstoffes nach den jeweiligen Herstellerangaben nicht überschritten werden. Der Innendruck an jedem beliebigen Punkt der Anlage (Bild 11) kann nach folgender Formel bestimmt werden:

$$p_x = \Delta h_x \cdot \rho \cdot g - v_x^2 \cdot \rho \cdot 0,5 - \Sigma (R \cdot l + Z) \dots x$$

p_x = Innendruck an der Stelle x

Δh_x = Höhenunterschied zwischen Dachablauf und der Stelle x

ρ = Dichte des Wassers 1000 kg/m³ bei 10 °C

g = Erdbeschleunigung 9,81 m/s²

v_x = Wassergeschwindigkeit an der Stelle x

R = Druckverlust pro Meter Rohr

l = Länge der Teilstrecke

Z = Druckverlust der Teilstrecke durch Einzelwiderstände

Eingeschränkte Falleitungshöhe

Bei sehr hohen Gebäuden steht eine entsprechend große Druckhöhe zur Verfügung, wobei sich sehr kleine Rohrdurchmesser und somit extrem hohe Geschwindigkeiten und Druckverluste ergeben können. Bedingt durch die hohen Druckverluste lässt sich bei der Rohrnetzberechnung mitunter eine Überschreitung der zulässigen Unterdrücke (Kavitation) in der Falleitung nicht vermeiden. Zusätzlich erhöht sich der Schallpegel mit steigender Geschwindigkeit. In solchen Fällen besteht die Möglichkeit, den Übergang auf Teilfüllung bereits im Verlauf der Falleitung vorzunehmen und somit den zur Verfügung stehenden Druck an die jeweiligen Verhältnisse anzupassen (Bild 12). Durch diese Vor-

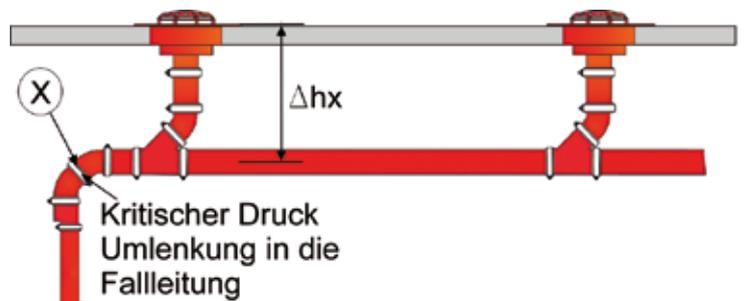


Bild 11 Ermittlung des Innendrucks (kritischer Druck bei Umlenkung in Falleitung)

Gemäß VDI 3806 Abschnitt 5.3.4 ist eine Reduzierung in Fließrichtung in Falleitungen möglich.

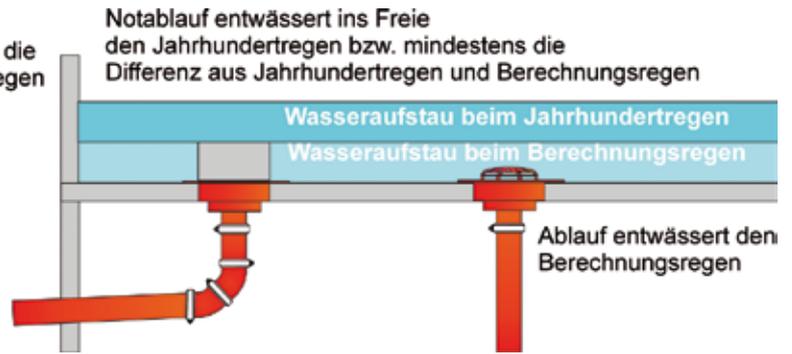


Bild 13 Wenn der Einbau von Notüberläufen (l.) nicht möglich ist, müssen zusätzlich Notablaufsysteme (r.) eingesetzt werden



Bild 12 Eingeschränkte Fallleitungshöhe

gehensweise können dann die Vorteile der Dachentwässerung mit Druckströmung im oberen Bereich des Gebäudes ausgenutzt werden.

Dachflächen mit stark unterschiedlichem Höhenniveau

Gemäß VDI 3806, Abschnitt 3.2 sollen Dachflächen mit stark unterschiedlichem Höhenniveau nicht über eine Falleitung entwässert werden. Aus Sicherheitsgründen sind sie in jedem Fall über separate Falleitungen zu entwässern. Zudem muss nach VDI 3806, Abschnitt 4.4 die gewählte Verbindungstechnik entsprechend den Erfordernissen des Systems dauerhaft wasser- und luftdicht sein. Die Befestigungen müssen die auftretenden statischen und dynamischen Beanspruchungen sicher aufnehmen und in das Bauwerk ableiten können. Durch die rechnerische Kontrolle des Innendrucks nach jeder Teilstrecke sind die Unter- und Überdruckbereiche der Anlage bekannt. Die vorgesehenen Systemkomponenten sind nach den Montage- und Befestigungsrichtlinien der Hersteller in den jeweiligen Unterdruck- respektive Überdruckbereichen einzusetzen.

Notentwässerungssysteme

Gemäß DIN 1986-100 sind bei Dachkonstruktionen mit innenliegenden Rinnenentwässerungen und Flachdächern in Leichtbauweise (z. B. Trapezblechdächer) Notüberläufe immer vorzusehen. Bei allen anderen Dachkonstruktionen ist unter Berücksichtigung der zu erwartenden Regenereignisse am Gebäudestandort, des Dachaufbaus, der Dachgeometrie, der Dachabdichtung, der Statik des Daches und der Ablaufcharakteristik des Entwässerungssystems im Einzelfall zu überprüfen, ob Notüberläufe erforderlich sind. Sind bei innenliegender Dachentwässerung Notüberläufe erforderlich, muss von jedem Dachablauf aus ein freier Abfluss auf der Dachabdichtung zu einem Notüberlauf mit ausreichendem Abflussvermögen vorhanden sein. Lässt die Dachgeometrie einen freien

Notüberlauf über die Fassade nicht zu, muss zur Sicherstellung der Notüberlauffunktion ein zusätzliches Leitungssystem mit freiem Auslauf auf das Grundstück diese Aufgabe übernehmen (Bild 13). Aufgrund der normativen Anweisungen muss zunächst geprüft werden, ob bei Dachflächen überhaupt Notentwässerungssysteme notwendig sind. Wenn diese erforderlich sind, muss bei Notüberläufen (z. B. Öffnungen in der Attika) sichergestellt sein, dass bei einem Zulauf des Notüberlaufwassers über die Dachabdichtung die zulässige statische Last, bedingt durch das jeweilige Dachgefälle, nicht überschritten wird. Des Weiteren ist bei höheren Gebäuden zu prüfen, ob ein schadfreier Auslauf über die Fassade möglich ist. Ist der Einbau von Notüberläufen (z. B. Öffnungen in der Attika) nicht möglich, müssen zur Sicherstellung der Notentwässerung zusätzlich Notablaufsysteme, bestehend aus Notabläufen mit Leitungssystemen, eingesetzt werden. Notablaufsysteme können im Freispiegel- oder im Druckströmungssystem betrieben werden.



Unser Autor **Bernd Ishorst** ist Geschäftsführer des Informationszentrums Entwässerungstechnik Guss e.V. (IZEG) und der Gütegemeinschaft Entwässerungstechnik Guss e.V. (GEG). Der 50-jährige

staatlich geprüfte Techniker ist seit 1983 als technischer Berater tätig und gehört dem Arbeitsausschuss V2 „Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke“ im Normenausschuss Wasserwesen (NAW) an.