

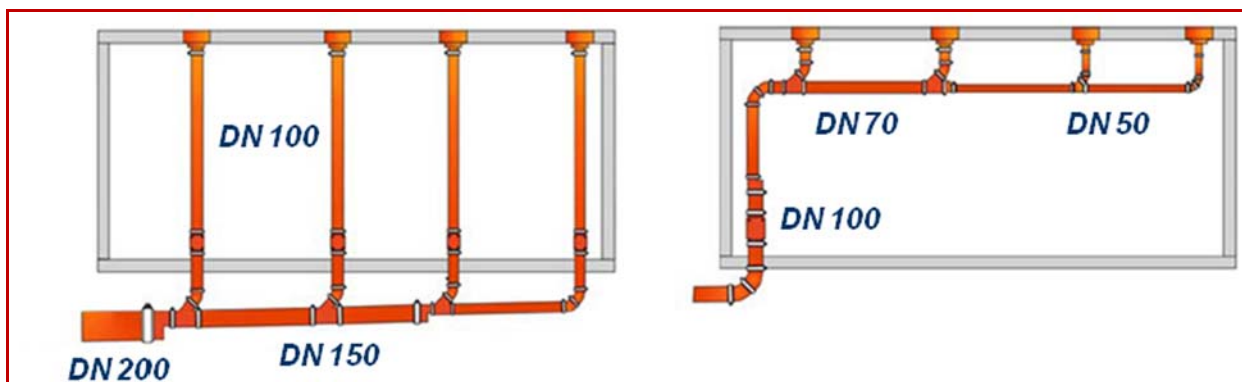
Die neue Norm DIN 1986-100

Planmäßig vollgefüllt betriebene Regenwasserleitungen mit Druckströmung

Nach DIN 1986-100, Ausgabe Mai 2008 kann die Regenentwässerung über Freispiegelsysteme oder planmäßig vollgefüllt betriebene Regenwasserleitungen mit Druckströmung erfolgen. Die gesamten Ausführungs- und Bemessungsgrundsätze für planmäßig vollgefüllt betriebene Regenwasserleitungen mit Druckströmung, die bisher nur in der VDI-Richtlinie 3806 zusammengefasst waren, sind nunmehr in der Neufassung der DIN 1986-100 enthalten.

Entwicklung

Die Entwicklung von Dachentwässerungssystemen mit Druckströmung erfolgte vor mehr als 30 Jahren in Skandinavien. In Deutschland wurde diese Technik vor 25 Jahren als UV-System eingeführt (UV ist die finnische Bezeichnung für geschlossene Strömung). Technische Weiterentwicklungen sind zum Beispiel das HDE-System oder das Aquaperfect DSS-System.



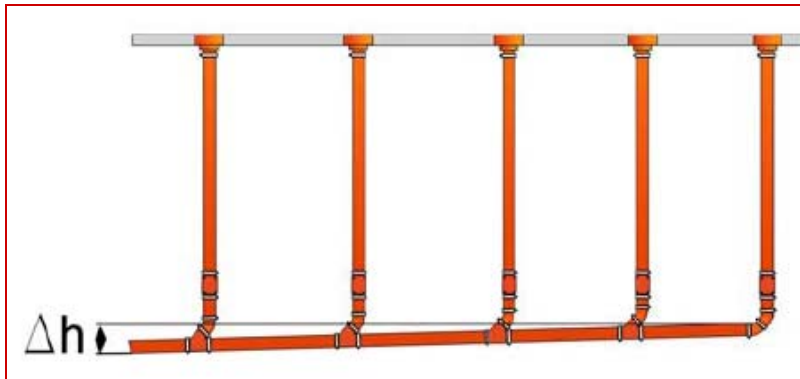
Vorteile Dachentwässerung mit Druckströmung

Funktionsprinzip

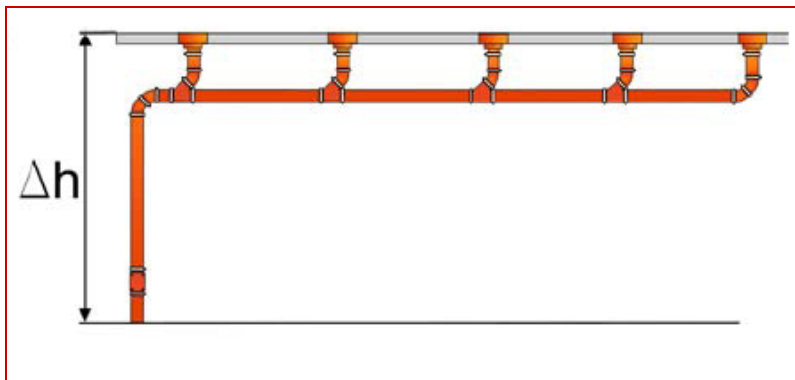
Planmäßig vollgefüllt betriebene Dachentwässerungsanlagen mit Druckströmung werden in der DIN 1986-100, Abschnitt 3.12 wie folgt definiert: "Dachentwässerungsanlage, in der die Abläufe und Leitungen unter Planungsbedingungen vollgefüllt betrieben werden, und die Strömung durch das Ausnutzen der gesamten Drückhöhe zwischen den Abläufen und dem Übergang auf die Freispiegelströmung aufrechterhalten wird".

Bei Dachentwässerungssystemen mit Druckströmung handelt es sich wie bei Freispiegelsystemen um Regenentwässerungsanlagen 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.



Verfügbare Druckhöhe bei Freispiegelentwässerung



Verfügbare Druckhöhe bei Druckströmung

Dachabläufe

Generell dürfen nach DIN 1986-100, Abschnitt 5.7.3.1 nur Dachabläufe verwendet werden, die den Anforderungen der DIN EN 1253-1 (Abläufe für Gebäude – Anforderungen) entsprechen oder Dachabläufe, für die eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung bzw. ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis vorliegt.

Der Hersteller muss das Abflussvermögen des Dachablaufes in Abhängigkeit von der Druckhöhe in Form einer Tabelle oder eines Diagramms angeben.

Zu den Dachabläufen für Druckströmung schreibt die DIN 1986-100 in Abschnitt 5.7.3.2 noch folgendes vor: „Die Dachabläufe müssen für planmäßig vollgefüllt betriebene Dachentwässerungsanlagen geeignet sein. Das Abflussvermögen des Dachablaufes muss ohne Lufteintrag ermittelt werden. Der Einzelwiderstandsbeiwert für den Dachablauf ist nach DIN EN 1253-2 (Abläufe für Gebäude – Prüfverfahren) zu ermitteln und vom Hersteller anzugeben“.

Verlegen von Leitungen

Planmäßig vollgefüllt betriebene Regenwasserleitungen dürfen ohne Gefälle verlegt werden.

Die verwendeten Bauteile einer Dachentwässerungsanlage mit Druckströmung müssen aufeinander abgestimmt sein und den im Betrieb auftretenden Über- und Unterdrücken sowie den daraus resultierenden Kräften standhalten. Systemspezifische Herstellerangaben sind unbedingt einzuhalten.

Im Übergangsbereich von der Druckströmung auf die Freispiegelentwässerung entstehen durch die hohe kinetische Energie der Druckströmung große Reaktionskräfte. Eine entsprechende Lagesicherung der Freispiegelentwässerung in diesem Bereich ist unbedingt vorzunehmen. Das Rohrmaterial der Freispiegelentwässerung muss besonders abriebfest sein.

Über eine Regenentwässerungsanlage mit Druckströmung sollten maximal 5000 m² Dachfläche entwässert werden. Bei größeren Dachflächen sollten mehrere Anlagen vorgesehen werden.

Bei einem Druckentwässerungssystem ist die Kombination von Dachflächen mit unterschiedlichen Abflussverzögerungen, wie zum Beispiel von Intensiv- mit Extensivbegrünungen oder unbekiesten mit bekiesten Dachflächen, zu vermeiden. Mehrere Druckentwässerungssysteme, die jeweils Dachflächen mit gleicher Abflussverzögerung entwässern, sind die optimale Lösung.

Dachflächen mit stark unterschiedlichem Höhenniveau (> 1m), sollten über separate Falleleitungen entwässert werden. Bei Dachflächen mit stark unterschiedlichem Höhenniveau, die an eine gemeinsame Falleleitung 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.

Bemessungsgrundsätze

Grundlage für die Bemessung einer Dachentwässerungsanlage mit Druckströmung ist eine stationäre Wasserströmung mit konstanter Dichte ohne Lufteintrag.

Als verfügbare Höhe Δh_{verf} zur Überwindung der Rohrreibungs- und Einzelwiderstände in einem Fließweg kann maximal die Differenz zwischen der Wasserlinie über dem Dachablauf und dem Übergang auf Teilfüllung verwendet werden.

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.

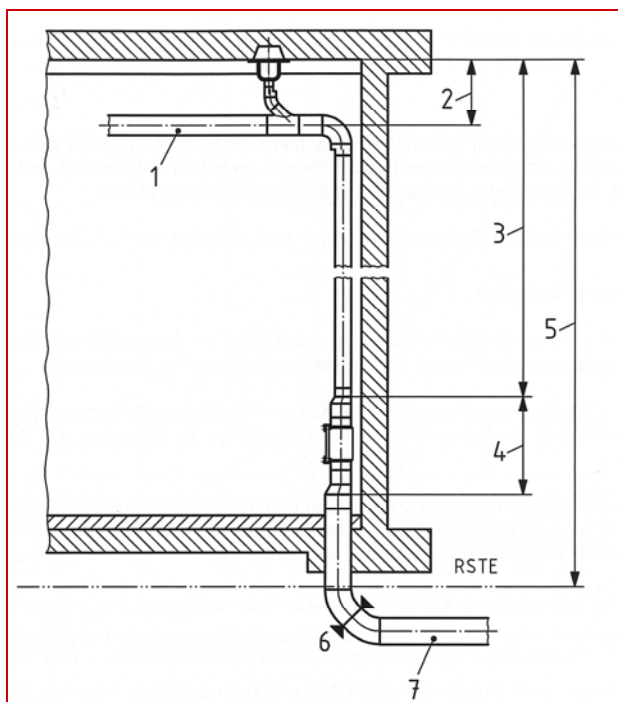
Aus wirtschaftlichen Gründen sollte je Meter verfügbarer Höhendifferenz Δh_{verf} die waagerechte Längenausdehnung des längsten Fließweges ($10 \cdot \Delta h_{\text{verf}}$) nicht überschreiten; in Ausnahmefällen ist maximal ($20 \cdot \Delta h_{\text{verf}}$) möglich.

Eine Reduzierung der Nennweite in Fließrichtung ist zulässig, sollte aber in der Regel nur in Falleleitungen vorgenommen werden.

Eine Vergrößerung der Nennweite im Verlauf von Falleleitungen ist zu vermeiden, da dies erfahrungsgemäß zum Abriss der Strömung führt.

Die kleinste zulässige Nennweite bei planmäßig vollgefüllten Regenentwässerungsanlagen beträgt $d_i = 32\text{mm}$.

Zur Sicherstellung der Selbstreinigungsfähigkeit von Dachentwässerungsanlagen mit Druckströmung sollte eine Mindestfließgeschwindigkeit von $0,5\text{ m/s}$ nicht unterschritten werden.



Legende:

1. **Sammelanschlussleitung**
2. **Anlaufhöhe**
3. **konstruktiv genutzte verfügbare Höhendifferenz**
4. **Übergangsstrecke**
5. **maximal nutzbare Höhendifferenz**
6. **Widerlager**
7. **teilgefüllte Grundleitung**
 $h/d_i = 0,7$

Definitionen bei Dachentwässerungen mit Druckströmung

Druckverlustberechnung

Bei Dachentwässerungsanlagen mit Druckströmung wird mit Erreichen der Berechnungsregenspende die geodätische Druckdifferenz zwischen Dachablauf und dem Übergang auf Teilfüllung zur Erzeugung einer leistungsfähigen Strömung genutzt.



Folgende Gleichungen gelten für jeden einzelnen Fließweg (Stromfaden):

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

$$\Delta p = \Sigma (R \cdot l + Z)$$

hierin bedeuten:

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

Der Druckverlust durch Einzelwiderstände (Z) errechnet sich wie folgt:

$$Z = \Sigma \zeta \cdot v^2 \cdot \rho \cdot 0,5$$

hierin bedeuten:

ζ = Einzelwiderstandsbeiwert (1)

v = Fließgeschwindigkeit (m/s)

Der Druckverlust in geraden Rohrleitungen ist nach der Prandtl-Colebrook-Gleichung für eine Betriebsrauigkeit von 0,1 mm zu ermitteln. In der DIN 1986-100 (Anhang A) befinden sich Diagramme zur Ermittlung des Rohrreibungsgefälles R in mbar/m bei einer Betriebsrauigkeit k_b von 0,1 mm für die verschiedenen Rohrwerkstoffe.

Die Einzelwiderstandsbeiwerte ζ befinden sich in der Tabelle 11 der Norm.

Ermittlung des Innendrucks

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 kann nach folgender Formel bestimmt werden:

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

hierin bedeuten:

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 (Strömungsabriss durch Kavitation) in der Falleitung nicht vermeiden. Zusätzlich erhöht sich der Schallpegel mit steigender Geschwindigkeit.

In solchen Fällen besteht die Möglichkeit, den Übergang auf Teilfüllung (Expansionspunkt) bereits im Verlauf der Falleitung vorzunehmen und somit den zur Verfügung stehenden Druck an die jeweiligen Verhältnisse anzupassen. Durch diese Vorgehensweise können dann die Vorteile der Dachentwässerung mit Druckströmung im oberen Bereich des Gebäudes ausgenutzt werden.



Zulässige Abweichungen

Gemäß DIN 1986-100 darf bei der Vorplanung die Abweichung zwischen dem verfügbaren Druck Δp_{verf} und dem errechneten Druckverlust $\Sigma (R \cdot l + Z)$ für einen Fließweg maximal ± 100 mbar betragen. Positive und negative Abweichungen der einzelnen Stromfäden einer Anlage sollten sich in der Summe in etwa aufheben.

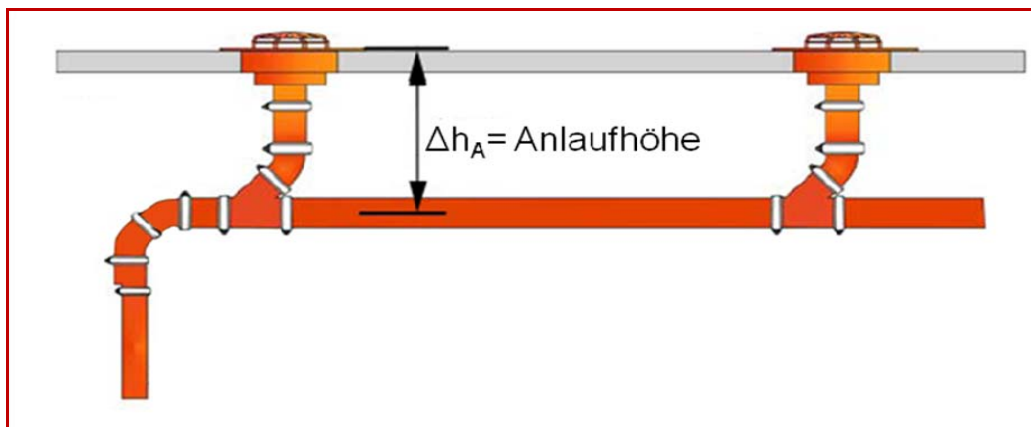
Bei der Ausführungsplanung müssen dann die Veränderungen des Abflussvermögens der einzelnen Dachabläufe – bedingt durch die hydraulischen Abweichungen – iterativ mittels Computerprogramm nachgewiesen werden.

Hierbei ist folgendes zu beachten:

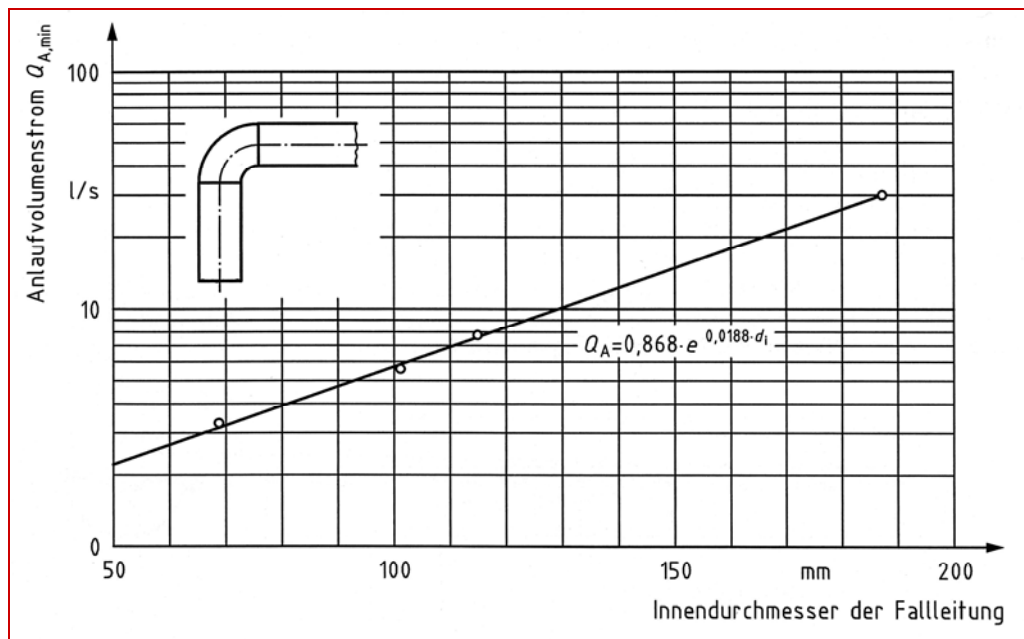
- nach der iterativen Berechnung darf das maximal zulässige Abflussvermögen der einzelnen Dachabläufe nicht überschritten werden;
- Abweichungen zwischen Ist- und Sollabfluss der einzelnen Dachabläufe müssen sich in einem gemeinsamen linearen Tiefpunkt ausgleichen können;
- befinden sich Dachabläufe in eigenen Tiefpunkten, muss das Abflussvermögen jedes Dachablaufs mindestens dem jeweiligen Sollabfluss entsprechen.

Anlaufbedingungen

Bei einer geringen Höhendifferenz Δh_A zwischen dem Dachablauf und der Sammelanschlussleitung ist zu prüfen, ob die Druckentwässerungsanlage sicher anläuft. Die Anlagen sind so zu konstruieren, dass die Falleitung bereits bei geringen Regenspänden zuschlägt. Erst dann kann sich der bestimmungsgemäße Betrieb der Regenentwässerungsanlage mit Druckströmung einstellen.



Zunächst muss festgestellt werden, bei welchem Volumenstrom es bei der vorgegebenen Nennweite zum Zuschlagen der Falleitung kommt. In Bild 28 der DIN 1986-100 sind Messwerte enthalten, welcher Mindestvolumenstrom $Q_{A,\text{min}}$ einer Falleitung (Falleitungslänge $> 4,0$ m) zugeführt werden muss, damit sich eine Druckströmung ausbilden kann.



Mindestvolumenstrom für Falleitungen

Zusätzlich muss festgelegt werden, welcher Volumenstrom bei einer Anlaufhöhe Δh_A über die Sammelanschlussleitung der Falleitung zugeführt werden kann. Wenn der Gesamtvolumenstrom Q_r der Anlage sowie die verfügbare Höhendifferenz Δh_{verf} und die Anlaufhöhe Δh_A bekannt sind, lässt sich mit Hilfe der Affinitätsgesetze (Proportionalitätsgesetze) der realisierbare Anlaufvolumenstrom $Q_{A,\text{vorh}}$ wie folgt berechnen:

$$Q_{A,\text{vorh}} = Q_r \cdot (\Delta h_A / \Delta h_{\text{verf}})^{0,5}$$

Hierin bedeuten:

$Q_{A,\text{vorh}}$ = der realisierbare Anlaufvolumenstrom in der Anlage, in Liter pro Sekunde (l/s);

$Q_{A,\text{min}}$ = der Volumenstrom, bei der die Falleitung zuschlägt, in Liter pro Sekunde (l/s);

Δh_A = die Anlaufhöhe (Höhendifferenz zwischen Dachablauf und Mitte Sammelanschlussleitung).

Damit die bestimmungsgemäße Funktion der Druckströmungsanlage in jedem Fall gewährleistet ist, muss der Mindestvolumenstrom der Falleitung $Q_{A,\text{min}}$ gemäß Bild 28 der Norm noch mit einem Sicherheitsfaktor von **1,2** multipliziert werden.

$$Q_{A,\text{vorh}} > 1,2 \cdot Q_{A,\text{min}}$$

Bei handschriftlicher Berechnung von Dachentwässerungen mit Druckströmung sollte die Festlegung der maximal zulässigen Nennweite der Falleitung bereits unmittelbar vor der eigentlichen Rohrnetzrechnung durchgeführt werden. Dadurch können aufwendige Nachberechnungen vermieden werden.