

Sparsam vom Dach in die Traufe

Grundgedanken zur sicheren Bemessung von Druck-Regenentwässerungssystemen

Die Bemessung von Druck-Regenentwässerungssystemen zur Flachdachentwässerung wird entsprechend dem Stand der Technik noch nicht einheitlich durchgeführt. Die im Normenentwurf für die DIN 1986 gegebene Bemessungsanleitung kann eine Funktionsgefährdung durch

Überdimensionierung bestimmter Durchmesser nicht ausschließen. Um Durchmesserminimum und Funktionssicherheit zu gewährleisten, sind vor der eigentlichen Berechnung der Systemquerschnitte strömungstechnische Grundgedanken unerlässlich

1. Einleitung

Für die Flachdachentwässerung, insbesondere von Industriehallen, werden zunehmend Regenentwässerungen eingesetzt, die hier als Druck-Regenentwässerungssysteme bezeichnet werden sollen. Systeme dieser Art werden auch bezeichnet als Regenwasser-Druckrohrleitungen [1], Druck-Regenentwässerungssysteme [2, 3], Druckrohr-Regenentwässerungsanlagen [4, 10], Regen-Entwässerungsanlagen (UV-System) [5, 6], planmäßig vollgefüllt betriebene Regenwasserleitungen [7], planmäßig vollgefüllt betriebenes Regenentwässerungssystem [8], Hochleistungsdachentwässerung [9], vollgefüllte Regenwasserleitungen [11] oder im neuen Normentwurf für die DIN 1986 als Druckrohr-Entwässerungen.

Die Bemessung der Systeme wird dem Stand des Wissens und der Technik entsprechend noch nicht einheitlich durchgeführt.

Das erforderliche Vertrauen der Anwender, die zu erbringende Produkthaftung durch die Anbieter sowie die Zuverlässigkeit von technischen Normen zur Bemessung der Systeme, lassen die Erarbeitung einer allgemeinen Berechnungsanleitung für Druck-Regenentwässerungssysteme dringend geboten erscheinen [2, S. 551] [11, S. 29].

Der Notwendigkeit der Erstellung einer allgemeinen Berechnungsanleitung steht jedoch die hohe Komplexität des Problems gegenüber [11, S. 26], die der Schaffung einer allgemeinen Berechnungsanleitung für die „Druck-Regenentwässerungssysteme“ bisher im Wege stand.

Überwiegend einheitlich wird in der Literatur und in Unterlagen der Systemanbieter die Höhe zwischen Dachkante und Rückstauenebene als geodätisch wirkende Höhe für die Förderung des Regenwassers im System angesetzt und es werden gleiche Druckverluste in allen Fließwegen gefordert [6, S. 254], [11, S. 9, S. 24].

Es wird jedoch festgestellt, daß die Druckströmung bei einer bestimmten Regenmenge abreißt [6, S. 397], [11 S. 12]. Zur Berechnungsmethode und zum Überflutungsrisiko wird vermerkt: „Wann eine Überflutungsgefahr für Dachflächen bzw. für Rinnen besteht, ist von der Zunahme der Regenstärke und wahrscheinlich vom Grad der Überdimensionierung abhängig. Berechenbar ist dieser Zustand nach bisher vorliegenden Kenntnissen nicht, weil zu viele Parameter bestehen.“ [11, S. 26].

Die „Grenzen der Überdimensionierung“ der Durchmesser der Abläufe und Rohrleitungen wurden bisher nicht untersucht [11, S. 19].

Zur Klärung der Frage der Überdimensionierung und Durchmesserminimierung bei Funktionssicherheit des Systems wurde daher die Zahl der Einflußgrößen durch geeignete Vereinfachung ohne wesentliche Beschränkung der Allgemeingültigkeit verringert und ein Modellsystem der Druck-Regenentwässerungssysteme geschaffen.

Es gelang, ein geschlossenes mathematisches/physikalisches Modellsystem der Druck-Regenentwässerung zu erstellen und durch ein Computerprogramm zu einem operativen System für Auslegungsrechnungen und Parametervariationsrechnungen auszugestalten.

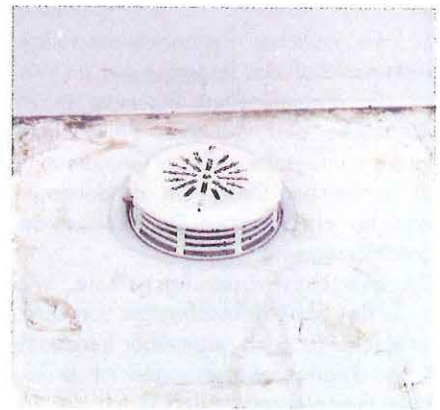


Bild 1



Bild 1a

Die strömungstechnischen Grundgedanken, die zur Lösung des Problems führten, werden hier in textlicher, grafischer und mathematischer Form beschrieben. Dieser Aufsatz hat zum Ziel, die strömungstechnischen Voraussetzungen dar- ▶

zustellen, unter denen ein Druck-Regenentwässerungssystem durchmesserminimal und funktionssicher bemessen werden kann, und damit der Erstellung einer allgemeinen Druck-Regenentwässerungssystem-Berechnungsanleitung zu dienen.

2. Aufgabe und Aufbau des Systems

Regenentwässerungen haben die Aufgabe, Regenwasser vom Dach eines Gebäudes in dessen Grundleitung abzuleiten.

In herkömmlichen Regenentwässerungssystemen läuft das Regenwasser im Wege der Freispiegelentwässerung durch zahlreiche platzraubende Falleitungen in die mit Gefälle verlegte Grundleitung an zahlreichen Stellen ein, an denen jeweils nur ein oder zwei Dachabläufe angeschlossen sind.

Druck-Regenentwässerungssysteme, wie z. B. das Schnellablaufsystem von Loro, unterscheiden sich gegenüber herkömmlichen Regenentwässerungen mit druckloser Freispiegelströmung durch die zusätzliche Aufgabe, das großflächig anfallende Regenwasser gleichmäßig vom Dach eines Gebäudes aufzunehmen, im Wege der Druckströmung zu sammeln und fortzuleiten sowie an einer Stelle in die Grundleitung abzugeben.

In Druck-Regenentwässerungssystemen wird das Regenwasser vom Dach in den Dachabläufen (Bild 1) aufgenommen, durchströmt nacheinander Anschlußleitung, waagerechte Sammelleitung (Bild 2), den Knickpunkt zwischen waagerechter Sammelleitung und senkrechter

Bild 2

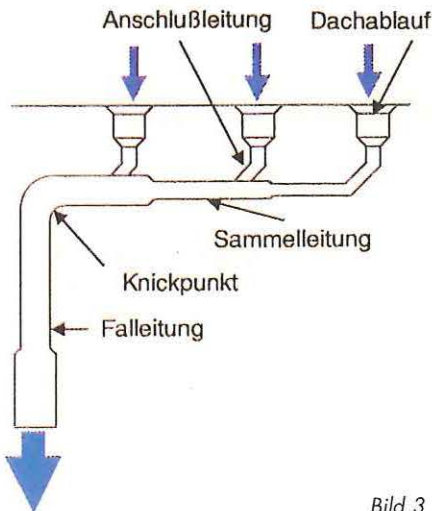


Bild 3

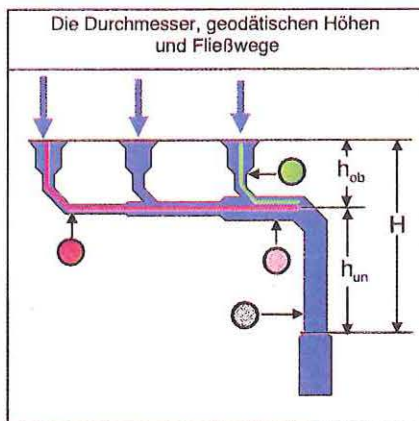


Bild 4

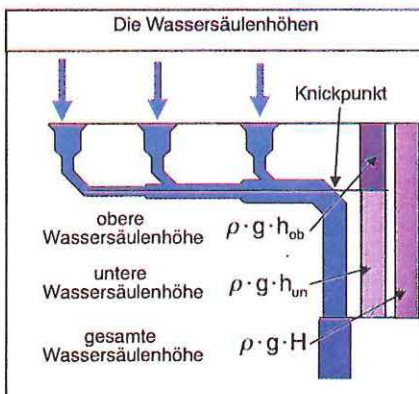


Bild 5

Falleitung und wird in die Grundleitung abgegeben (Bild 3).

Ziel der Auslegung und Bemessung des Systems ist es, geringstmöglichen Bedarf an Platz und Raum zu erreichen durch:

- **waagerechte** Verlegung der Sammelleitung,
- **eine** senkrechte Falleitung für zahlreiche Abläufe,
- **kleine** Durchmesser durch hohe Strömungsgeschwindigkeit.

3. Bemessung der Durchmesser des Systems: mit kleiner oder großer geodätischer Höhe

Die Durchmesser der Abläufe und Rohrleitungen von Druck-Regenentwässerungssystemen werden entsprechend den Druckverlusthöhen bemessen, wobei gilt, daß bei konstantem Volumenstrom eine Verkleinerung des Durchmessers eine Vergrößerung des Druckverlustes zur Folge hat und umgekehrt.

$$d \sim \frac{1}{\Delta P_v}$$

Von besonderer Bedeutung sind (Bild 4): kleinster Durchmesser von Ablauf und Anschlußleitung im ungünstigsten Fließweg (rot)

größter Durchmesser der Sammelleitung im ungünstigsten Fließweg (grün)

Durchmesser im günstigsten Fließweg Durchmesser der Falleitung (grau)

kleine geodätische Höhe h_{ob}

große geodätische Höhe H

Durch den Knickpunkt der Leitung zwischen waagerechter Strömung in der Sammelleitung und senkrechter Strömung in der Falleitung wird die treibende Wassersäulenhöhe mit Druckwirkung in eine obere Wassersäulenhöhe mit Überdruckwirkung oberhalb und eine untere Wassersäulenhöhe mit Unterdruckwirkung unterhalb des Knickpunktes geteilt.

$$\rho \cdot g \cdot H = (\rho \cdot g \cdot h_{un} + \rho \cdot g \cdot h_{ob})$$

Die Bemessung kann unter Ansatz ausschließlich der kleinen geodätischen Höhe h als druckwirksamer Höhe oder unter Ansatz der großen geodätischen Höhe H als druckwirksamer Höhe erfolgen, wobei sich die Ergebnisse der Bemessung hinsichtlich Durchmesserminimum und Funktionssicherheit des Systems unterscheiden (Bild 5).

3.1 Bemessung mit kleiner geodätischer Höhe

Wird zur Bemessung der Durchmesser von Ablauf, Anschlußleitung, Sammelleitung im ungünstigsten Fließweg oberhalb des Knickpunktes allein die kleine

Bild 6

obere Höhe zwischen Dach und Sammelleitung als druckwirksame Höhe angesetzt, so ist die Überdruckwirkung der oberen Wassersäulenhöhe allein hinreichend, um die maximale Regenmenge zu treiben (Bild 6).

$$\Delta P_{V,ob,uF} = r \cdot g \cdot h_{ob}$$

Die Druckverluste in den günstigeren Fließwegen dürfen dann kleiner oder gleich dem Druckverlust im ungünstigsten Fließweg sein.

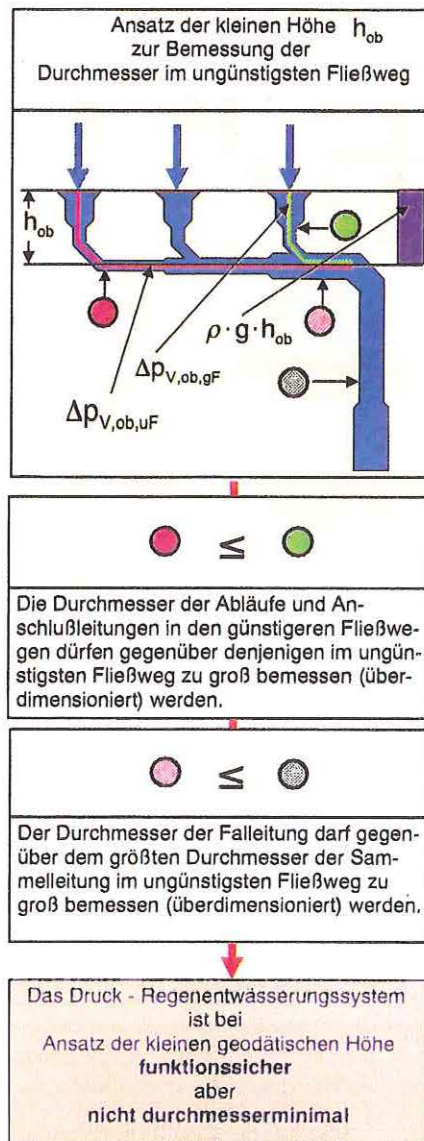
$$P_{V,ob,gF} \leq P_{V,ob,uF}$$

Sind die Durchmesser unter Ansatz der kleinen geodätischen Höhe bemessen, so wird auf minimale Bemessung der Durchmesser des Systems oberhalb des Knickpunktes verzichtet. Es wird aber durch hinreichende Überdruckwirkung der geodätischen Höhe oberhalb des Knickpunktes auch bei Überdimensionierung der Durchmesser der Anschlußleitungen in günstigeren Fließwegen (grün) gegenüber dem ungünstigsten Fließweg (rot) oder auch der Durchmesser der Fallleitung (grau) gegenüber dem Durchmesser der Sammelleitung (rosa) Funktionssicherheit des Systems erzielt.

● Bei Bemessung mit kleiner geodätischer Höhe und damit Verzicht auf minimalen Durchmesser der Sammelleitung, kann durch Überdruck trotz zu großer Durchmesser von Anschlußleitungen oder der Fallleitung, also trotz Überdimensionierung des Systems in Teilbereichen, die Funktionssicherheit des Systems gewährleistet sein.

3.2 Bemessung mit großer geodätischer Höhe

Zur Erzielung des Durchmesserminimums des Systems im ungünstigsten Fließweg oberhalb des Knickpunktes ist ausschließliche Überdruckwirkung durch die obere Wassersäulenhöhe nicht hinreichend. Es muß die große geodätische Höhe zur Bemessung der Sammelleitung angesetzt werden, um das Durchmesserminimum der Sammelleitung zu erzielen.



3.2.1 Bemessung der Sammelleitung bei Ansatz großer geodätischer Höhe (Bild 7)

Druck-Regenentwässerungssysteme, insbesondere deren Sammelleitung, können durchmesserminimal bemessen werden mittels Nutzung von Unterdruck durch die Wassersäulenhöhe in der senkrechten Fallleitung zur Überwindung von Druckverlusthöhen in Abläufen, Anschlußleitungen und waagerechter Sammelleitung zusätzlich zur Wassersäulenhöhe oberhalb des Knickpunktes.

$$\Delta P_{V,ob} = p \cdot g \cdot h_{ob} + \Delta P_u$$

Um die Durchmesser der Sammelleitung im ungünstigsten Fließweg möglichst gering bemessen zu können, sollte der Unterdruck zur Überwindung der Druckverluste in den Fließwegen oberhalb des

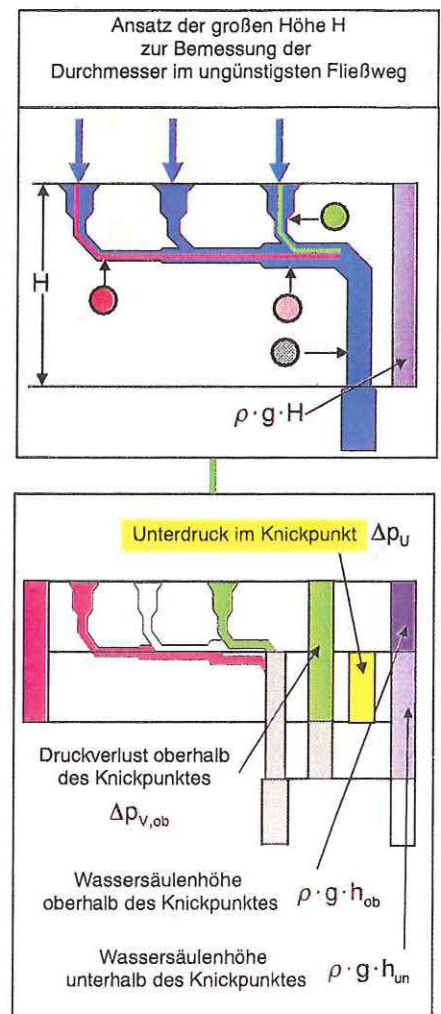


Bild 7

Knickpunktes möglichst hoch gewählt werden.

Der maximal mögliche Unterdruck wird durch Annäherung des Unterdruckes an die Differenz zwischen Atmosphärendruck und Wasserdampfdruck erzielt.

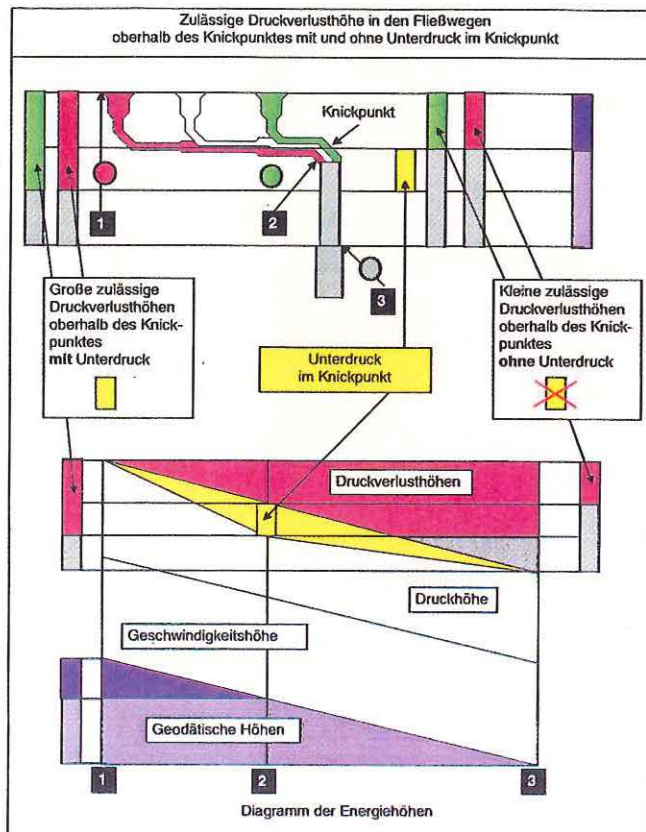
$$\Delta p_u \rightarrow (p_{atm} - p_w)$$

Folgendes Diagramm (Bild 8) verdeutlicht, daß mit der hier angesprochenen Erzielung eines Unterdruckes nicht die Erzielung eines Unterdruckes durch Vergrößerung der Geschwindigkeitshöhe gemeint ist, sondern die Erzielung eines Unterdruckes durch Veränderung des Verhältnisses von Druckverlusthöhe und geodätischer Höhe.

4. Problem durch zu große Bemessung der Fallleitung

Bei durchmesserminimaler Bemessung der Abläufe, Anschlußleitungen und waagerechten Sammelleitung oberhalb

Bild 8



des Knickpunktes mittels Nutzung von Unterdruck durch die untere Wassersäulenhöhe sind die Druckverlusthöhen in den Fließwegen oberhalb des Knickpunktes größer als die Wassersäulenhöhen oberhalb des Knickpunktes

$$\Delta P_{V,ob} > \rho \cdot g \cdot h_{ob}$$

und insbesondere bei großer Länge der Sammelleitung möglicherweise zu groß zum Aufbau hinreichenden anfänglichen Überdruckes. Die Regenwassermenge, die von oberhalb des Knickpunktes in die Falleitung fließt, ist dann nicht groß genug, um einen zu groß bemessenen Durchmesser der Falleitung zu füllen. Damit wird die Bildung der erforderlichen Wassersäulenhöhe unterhalb des Knickpunktes nicht erzielt, die unterhalb des Knickpunktes erforderlich ist, um den Unterdruck aufzubauen,

$$\Delta p_u = \rho \cdot g \cdot h_{un} - \Delta P_{V,un}$$

der erforderlich ist, um die Druckverlusthöhe in den Fließwegen oberhalb des Knickpunktes zu überwinden (Bild 9).

$$\Delta P_{V,ob} = \rho \cdot g \cdot h_{ob} + \Delta p_u$$

- Zu große Bemessung des Durchmessers der Falleitung gegenüber dem größ-

ten Durchmesser der Sammelleitung im ungünstigsten Fließweg bei durchmesserminimaler Bemessung der anderen Systemteile, entsprechend dem maximalen Unterdruck, gefährdet damit die Funktionssicherheit des Systems, mit der Folge, daß insbesondere bei maximaler Regenmenge Überflutung des zu entwässernden Daches eintreten kann.

5. Problem durch zu große Bemessung von Abläufen und Anschlußleitungen

Es kann nur soviel Wassersäulenhöhe zusätzlich zur Wassersäulenhöhe in den senkrechten Anschlußleitungen für den Regenwassertransport in der waagerechten Sammelleitung im ungünstigsten Fließweg genutzt werden, wie zusätzlich Druckverlusthöhe im günstigsten Fließweg durch dortige kleine Durchmesser aufgebaut werden kann. Zu große Bemessung des minimalen Durchmessers der Anschlußleitungen im günstigsten Fließweg bei sonstiger durchmesserminimaler Bemessung des gesamten Systems bewirkt, daß sich eine zu geringe Druckverlusthöhe im günstigsten Fließweg gegenüber der Wassersäulenhöhe unterhalb des Knickpunktes bildet (Bild 10).

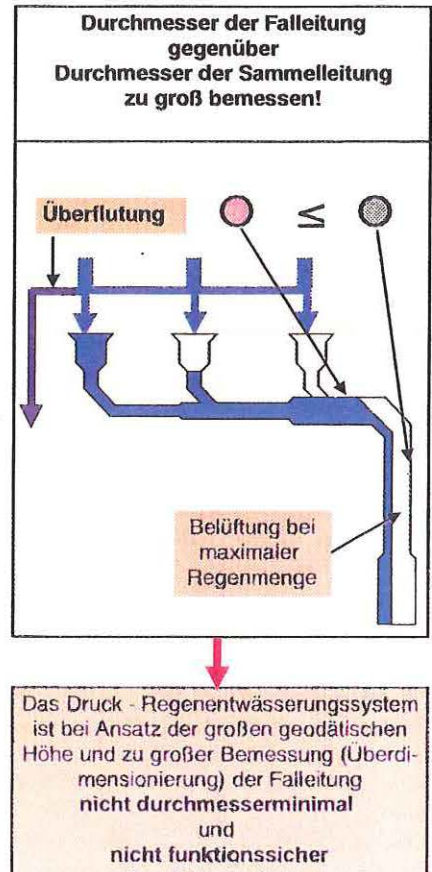


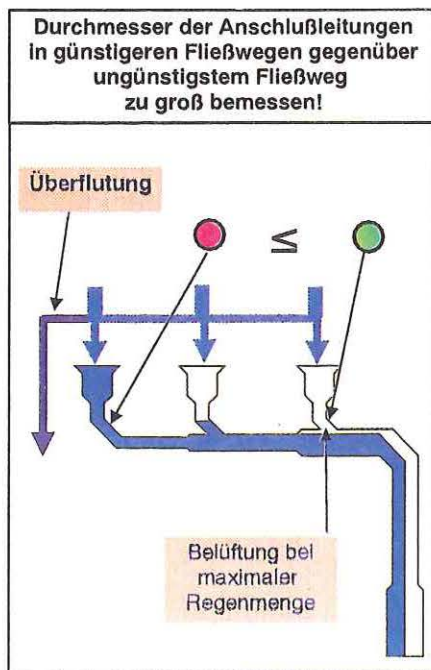
Bild 9

$$\Delta P_{V,ob} < \rho \cdot g \cdot h_{ob} + \Delta p_u$$

Ist die Druckverlusthöhe im günstigsten Fließweg gegenüber der Druckverlusthöhe im ungünstigsten Fließweg oberhalb des Knickpunktes zu gering, so wird auch bei maximaler Regenmenge Luft angesogen, die verhindert, daß der geplante Regenabfluß erzielt wird und bewirkt, daß Überflutung des Daches eintreten kann und das System nicht funktionssicher ist.

Sind die Durchmesser der Anschlußleitungen, insbesondere der Durchmesser der Anschlußleitung im günstigsten Fließweg, oder ist der Durchmesser der Falleitung zu groß bemessen gegenüber minimal bemessenen Durchmessern in der Sammelleitung, so wird bei maximaler Regenmenge ein zu geringer Regenwasserstrom durch das System abgeleitet.

- Bei Bemessung mit großer geodätischer Höhe und minimalem Durchmesser der Sammelleitung kann durch mangelnden Aufbau und Abbau von Unterdruck infolge zu großer Durchmesser von Anschlußleitungen oder der Falleitung die Funktionssicherheit des Systems gefährdet sein.



Das Druck-Regenentwässerungssystem ist bei Ansatz der großen geodätischen Höhe und zu großer Bemessung (Überdimensionierung) der Abläufe und Anschlußleitungen in den günstigeren Fließwegen nicht durchmesserminimal und nicht funktionssicher

Bild 10

6. Problemlösung durch verringerten Durchmesser der Falleitung

Der Durchmesser der Falleitung ist in Abstimmung mit den Durchmessern von Abläufen, Anschlußleitungen und Sammelleitung so zu bemessen, daß derjenige Regenabfluß, der durch Überdruck infolge der geodätischen Höhe von Abläufen und Anschlußleitungen maximal förderbar ist, genau reicht, um die Falleitung zunächst intermittierend und im Grenzfall maximalen Regenabflusses ständig querschnittsfüllend mit Regenwasser zu füllen, damit der Aufbau des Unterdruckes durch die Wassersäulenhöhe unterhalb des Knickpunktes im rechten Maß gesichert wird.

Der Durchmesser der Falleitung muß so bemessen werden, daß hinreichender Unterdruck durch die Differenz von Wassersäulenhöhe und Druckverlusthöhe unterhalb des Knickpunktes aufgebaut wird (Bild 11).

$$\Delta p_u = \rho \cdot g \cdot h_{un} - \Delta p_{v,un}$$

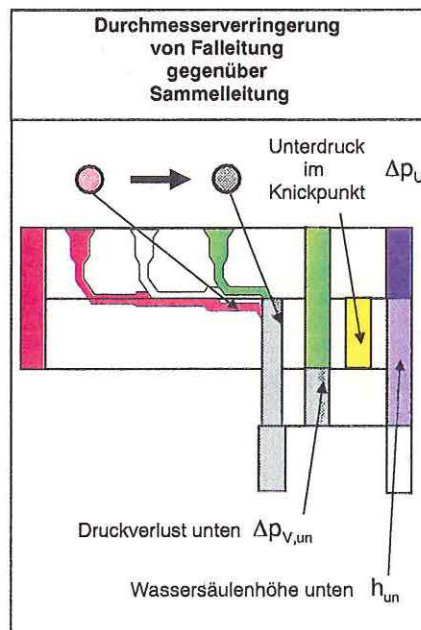


Bild 11

In der Falleitung ist bei durchmesserminimaler Bemessung der Sammelleitung der Druckverlust kleiner als der Druck durch die Wassersäulenhöhe.

$$\Delta p_{v,un} < \rho \cdot g \cdot h_{un}$$

● Durch verringerten Durchmesser der Falleitung gegenüber dem größten Durchmesser der Sammelleitung ist sicherzustellen, daß der Durchmesser der Falleitung nicht zu klein und nicht zu groß ist, um den erforderlichen Unterdruck aufbauen zu können.

7. Problemlösung durch verringerte Abläufe und Anschlußleitungen

Die Durchmesser der Abläufe, Anschlußleitungen und Sammelleitungen sind so zu bemessen, daß der Unterdruck, den die Wassersäulenhöhe in der Falleitung im Zusammenwirken mit den Druckverlusthöhen in diesen Systemteilen oberhalb des Knickpunktes aufbaut, in den Abläufen und Anschlußleitungen aller Fließwege bei maximaler Regenmenge ohne Ansaugen von Luft vollständig abgebaut wird, damit auch der Abbau des Unterdruckes im rechten Maß gesichert wird. Die Durchmesser der Anschlußleitungen müssen so bemessen werden, daß durch die Druckverluste in den Anschlußleitungen die Summe von Unterdruck und Wassersäulenhöhe oberhalb des Knickpunktes hinreichend abgebaut wird.

$$\Delta p_{v,ob} = \rho \cdot g \cdot h_{ob} + \Delta p_u$$

Bei durchmesserminimaler Bemessung der Sammelleitung ist der Druckverlust in den Fließwegen oberhalb des Knickpunktes größer als der Druck durch die Wassersäulenhöhe oberhalb des Knickpunktes.

$$\Delta p_{v,ob} \geq \rho \cdot g \cdot h_{ob}$$

● Durch verringerten Durchmesser der Abläufe und Anschlußleitungen in Richtung vom ungünstigsten zum günstigsten Fließweg ist sicherzustellen, daß der Druckverlust durch die Anschlußleitungen oberhalb des Knickpunktes, insbesondere im günstigsten Fließweg, nicht zu gering ist, um den erforderlichen Unterdruck zu gewährleisten (Bild 12).

● Bei Ansatz der großen geodätischen Höhe und Durchmesserminimum der Sammelleitung muß die Funktionssicherheit des Systems durch geeigneten Aufbau und Abbau von Unterdruck mittels weder zu groß noch zu klein bemessener Durchmesser, insbesondere der Anschlußleitungen im günstigsten Fließweg und der Falleitung, gesichert sein (Bild 13).

8. Bemessungsregeln

Eine zukünftige Norm zur Bemessung von Druck-Regenentwässerungssystemen sollte folgende Grundsätze beinhalten:

1. Verringerung der Durchmesser in Strömungsrichtung zulässig
2. Waagerechte Verlegung der Sammelleitung zulässig
3. Bemessung der Durchmesser im ungünstigsten Fließweg, in dem die Sammelleitung liegt, entweder mit Ansatz der Höhe zwischen Dach und Sammelleitung als wirksame geodätische Höhe oder aber mit Ansatz der gesamten Höhe zwischen Dach und Übergang in die Freispiegelleitung als wirksame geodätische Höhe, wobei dann sicherzustellen ist, daß die Durchmesser der Abläufe und Anschlußleitungen der Fließwege oberhalb des Knickpunktes, insbesondere

