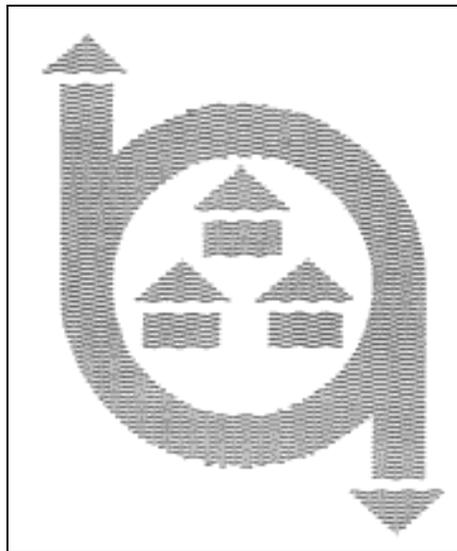


Entwässerungstechnik im Umbruch



**Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft
Band 140
Universität Stuttgart**

Bemessung und Konstruktion der Unterdruckentwässerung

Dipl.-Ing. R. Schluff, Kiel/Heikendorf

Inhaltsverzeichnis

- 1. Abwasserbeseitigung im ländlichen Raum**
 - 1.1 Anwendungsgründe für Sonderentwässerungsverfahren
 - 1.2 Kosten der herkömmlichen Kanalisation
 - 1.3 Möglichkeiten der Kostenreduzierung der Kanalisation im ländlichen Raum
- 2. Geschichtliches**
- 3. Bestandteile der Unterdruckentwässerung**
- 4. Funktion der Unterdruckentwässerung**
- 5. Einzugsgebiet der Unterdruckentwässerung**
- 6. Hausanschlußschacht mit Übergabeventil**
 - 6.1 Forderung an die Betriebssicherheit und Konstruktion des Hausanschlußschachtes
- 7. Das Rohrnetz**
 - 7.1 Bestimmung der Druckstufe bei PE-HD Rohr
 - 7.1.1 Berechnungsbeispiel
 - 7.2 Rohrnetzberechnung
 - 7.2.2 Berechnungsbeispiel
- 8. Vakuumpumpstationen**
 - 8.1 Pumpstation mit hydraulischer Förderung
 - 8.2 Funktion
 - 8.3 Berechnung und Konstruktion einer Vakuumpumpstation, bei der das Abwasser durch Abwasserpumpen gefördert wird
 - 8.3.1 Berechnung der Vakuumpumpen
 - 8.3.2 Anzahl der Vakuumpumpen
 - 8.3.3 Auslegung der Pumpen nach Grund- und Spitzenlast
 - 8.3.4 Konstruktionsmerkmale der Vakuumpumpen
 - 8.3.5 Berechnung der Abwasserpumpen
 - 8.4 Berechnung und Konstruktion einer Vakuumpumpstation, bei der das Abwasser pneumatisch gefördert wird.
 - 8.4.1 Funktion
 - 8.4.2 Berechnung der Vakuumpumpen
 - 8.4.3 Berechnung der Kompressoren
 - 8.4.4 Berechnung des erforderlichen Spüldrucks der Druckleitung
- 9. Überwachung und Steuerung der Unterdruckentwässerung**
 - 9.1 Überwachung
 - 9.2 Steuerung
- 10. Herstellungskosten**
 - 10.1 Abschreibungssätze
 - 10.1.1 Rohrnetz
 - 10.1.2 Hausanschlußschächte
 - 10.1.3 Pumpstation
- 11. Bewirtschaftungskosten**
 - 11.1 Energiekosten
 - 11.2 Reparaturkosten
 - 11.3 Personalaufwand
- 12. Literaturhinweis**

Bemessung und Konstruktion der Unterdruckentwässerung

1. Abwasserbeseitigung im ländlichen Raum

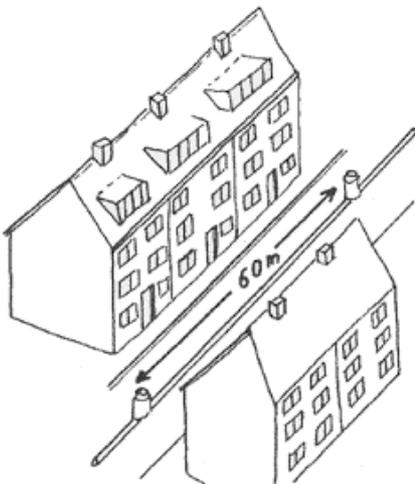
1.1 Anwendungsgründe für Sonderentwässerungsverfahren

Für die Anwendung von Sonderentwässerungsverfahren gibt es mehrere Gründe. Vorwiegend jedoch den der Kostenersparnis.

Warum?

1.2 Kosten der herkömmlichen Kanalisation

a. in der Stadt



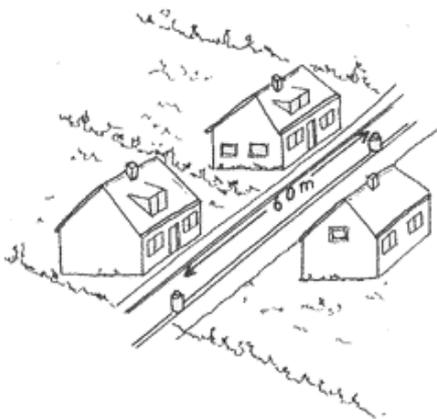
Angeschlossene Einwohner auf eine Kanalhaltung von 60 m Länge.
Bebauung 1. Straßenseite:
3 Häuser x 2 WE x 4 Geschosse = 24 WE
Bebauung 2. Straßenseite:
3 Häuser x 2 WE x 4 Geschosse = 24 WE
insgesamt: 48 WE x 3 E = ca. 150 E

Einwohner je lfdm Kanal:
 $150 : 60 = 2,5 \text{ E/m}$

Kosten pro lfdm Kanal ca. 750,-- DM

Kosten je Einwohner 750,-- DM : 2,5 E = 300,-- DM /E

b. im Dorf



Angeschlossene Einwohner auf eine Kanalhaltung von 60 m Länge.
Bebauung 1. Straßenseite 2 WE
Bebauung 2. Straßenseite 1 WE
insgesamt: 3 WE x 3 E = ca. 10 E

Einwohner je lfdm Kanal:
 $10 : 60 = 0,17 \text{ E/m}$

Kosten je lfdm Kanal ca. 500,-- DM

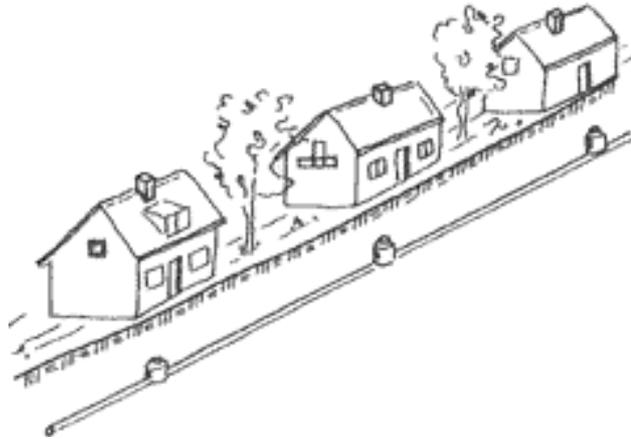
Kosten je Einwohner 500,-- DM : 0,17 E = ca. 3.000,-- DM/E

Fazit:

Die Kosten im Dorf sind ca. **10** mal so hoch wie in der Stadt

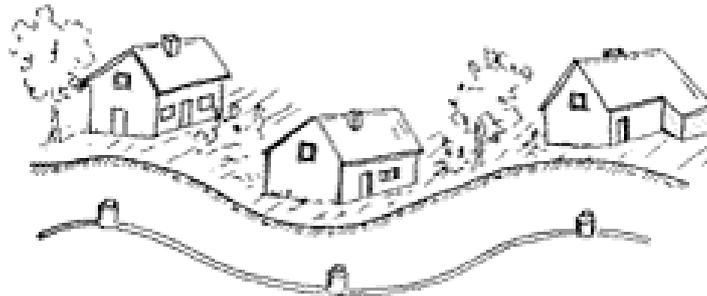
1.3 Möglichkeiten für eine Kostenreduzierung der Kanalisation im ländlichen Raum

Freigefällesystem



Anwendung nur bei ausreichendem Gefälle

Drucksystem



Prädestiniert für Gelände mit wechselnden Hoch- und Tiefpunkten und Streusiedlungen

Unterdrucksystem



Größte Einsparung bei flachem Gelände, hohem Grundwasserstand und schlechten Bodenverhältnissen.

2. Geschichtliches

Die Vakuumentwässerung besteht seit mehr als einhundert Jahren. Bereits im Jahre 1892 waren 500 Grundstücke mit 15.000 Einwohnern der im Nordwesten von Paris gelegenen Vorstadt Levallois-Perret an eine Vakuumentwässerung angeschlossen. Obgleich die Erfahrungen ausgezeichnet waren, geriet das System im Laufe der Jahrzehnte in Vergessenheit.

Erst im Jahre 1959 entwickelte der Schwede Joel Liljendahl die Vakuumentwässerung weiter und erprobte sie in der Praxis in einem Wohngebiet nördlich von Stockholm.

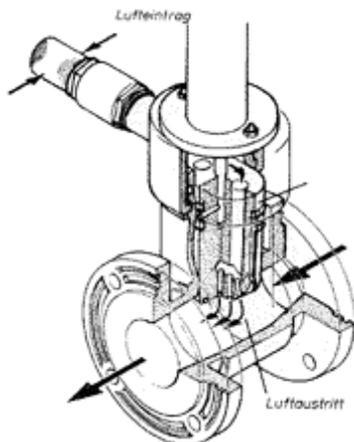
In Deutschland wurden zahlreiche Gemeinden im Vakuumsystem kanalisiert. Doch schon bald nach der Inbetriebnahme erwies sich das System als sehr störanfällig. Dies lag vor allem an den durch Unterdruck gesteuerten Hausanschlußventilen.

Auch die Konstruktion der Pumpstationen und die Form der Rohrverlegung waren unausgereift.

Wegen der Unsicherheit im bisher praktizierten System und dem Anwachsen der Probleme in vakuumkanalisierten Gemeinden erteilte der Bundesminister für Forschung und Technologie unter der Projekt-Nummer 02 - Wa 8732 den Forschungsauftrag, das Vakuumsystem sicher zu machen.

Ein Ingenieurbüro für Tiefbau baute in Kiel eine komplette Vakuumanlage in durchsichtigem Rohr auf. An der Anlage konnten entscheidende Verbesserungsmöglichkeiten für die Praxis erkannt werden.

Als Kernstück wurde ein neues Hausanschlußübergabeventil aus verschleißfestem PVC mit elektronischer Steuerung und Überwachung entwickelt. Im Gegensatz zu allen davor bekannten Konstruktionen erfolgt der für den Transport des Abwassers erforderliche Lufteintrag direkt durch das Ventil. Die Luftmenge wird darüber hinaus den bei wechselnden Unterdrücken im Rohrnetz erforderlichen Wasser- Luft- Verhältnissen angepaßt.



Hierdurch konnten etwa 60% der Energiekosten eingespart werden.

Die bis dahin bekannte Fördertechnik wurde durch die Neuentwicklung revolutionierend verändert.

Das Ventil wurde einem extrem harten Dauertest unter Beimischung von Textilien, Schaumstoffen, Zellulose und Sand unterzogen.

Nach über 300.000 tausend Schaltspielen war das Ventil immer noch vakuumdicht und kaum nennenswerter Verschleiß erkennbar.

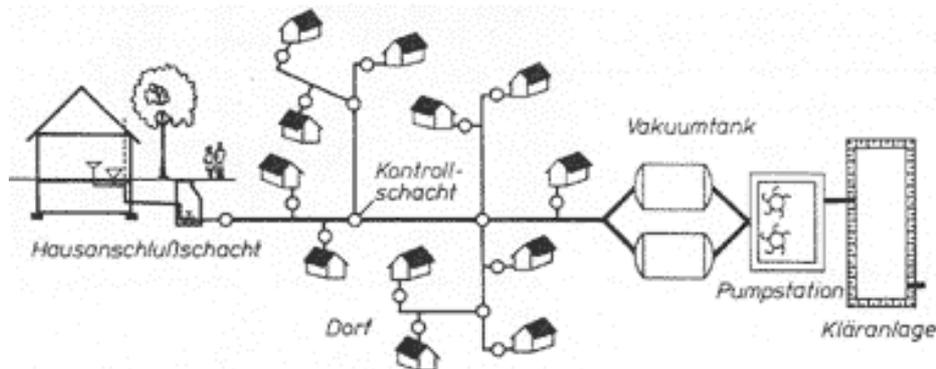
Berücksichtigt man, daß zur Abwasserbeseitigung in einem Einfamilienhaus ca. 3.000 Schaltspiele im Jahr erforderlich werden, so läßt sich eine theoretische Betriebssicherheit von 100 Jahren errechnen.

Darüber hinaus führten zahlreiche Untersuchungen und Messungen zu völlig neuen Erkenntnissen und der Entwicklung einen betriebssicheren Fördersystems.

Neuentwickelt wurde auch eine vakuumpneumatische Pumpstation, die die Betriebs- und Wartungskosten erheblich vermindert, die Erstellungskosten um fast 50% verbilligt und die Betriebssicherheit erhöht.

In der geschichtlichen Darstellung nicht unerwähnt bleiben sollte die Tatsache, daß alle Flugzeuge, Passagierschiffe und Bahnen die Beseitigung der Fäkalien im Vakuum durchführen.

3. Bestandteile der Unterdruckentwässerung



- Hausanschlußschacht,** in dem das anfallende Schmutzwasser in dosierten Mengen an das Rohrnetz übergeben wird.
- Rohrnetz,** für den Schmutzwassertransport
- Pumpstation,** in der das Vakuum für den Schmutzwassertransport erzeugt wird.

4. Funktion der Unterdruckentwässerung

Die in der Pumpstation befindlichen Vakuumpumpen erzeugen in den Abwassertanks einen Unterdruck von 0,6 bis 0,7 bar gegenüber der Atmosphäre. Der Unterdruck setzt sich über die Rohrleitungen bis zu den Hausanschlüssen fort. Sobald in einem Haus Schmutzwasser anfällt, öffnet eine Steuerung ein Übergabeventil und das Schmutzwasser wird unter gleichzeitiger Hinzugabe von Luft in Richtung Pumpstation abgesaugt. Luft und Abwasser gelangen schubweise in die Abwassertanks. Sind die Abwasserbehälter gefüllt, wird mittels Abwasserpumpen das Schmutzwasser entnommen und zur Aufbereitung und Weiterbehandlung in die Kläranlage gefördert.

Bei erforderlichen manometrischen Förderhöhen ab ca. 30 m erfolgt der Fördervorgang pneumatisch.

5. Einzugsgebiet der Unterdruckentwässerung

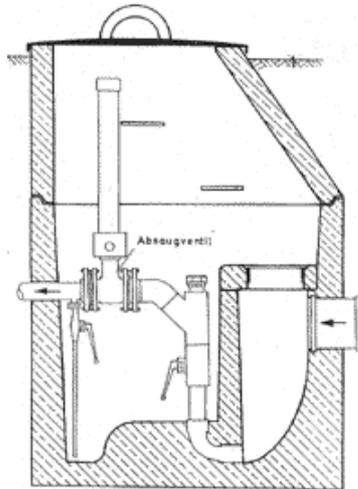
Grundsätzlich sollte ein Einzugsgebiet im Durchmesser nicht größer als vier Kilometer sein. Hierbei ist die Pumpstation als Zentrum anzusehen. Die Höhen an den Endpunkten der Rohrleitungen sollten gegenüber der Pumpstation nicht tiefer liegen als:

| | |
|-------------|--------|
| bei 2,0 km | 0,80 m |
| bei 1,5 km | 1,20 m |
| bei 1,0 km | 1,60 m |
| bei 0,75 km | 2,00 m |

Hierbei ist die Tiefe der Hausanschlüsse analog zu berücksichtigen und die Gesamtröhrlänge einzubeziehen. Die Übernahme von Schmutzwasser aus größeren Tiefen ist nur bei entsprechender Luftaussteuerung möglich.

Größere Gebiete werden in einzelne Bereiche mit selbständigen Vakuumpumpstationen aufgeteilt und mit Druckleitungen verbunden. So kann das Entwässerungsgebiet über große Flächen ausgedehnt werden.

6. Hausanschlußschacht mit Übergabeventil



Beispiel: Hausanschlußschacht mit elektronisch gesteuertem Ventil und automatischem Lufteintrag

Das Schmutzwasser gelangt über einen Freigefällezulauf in den Vorbehälter des Hausanschlußschachtes. Ist der Vorbehälter gefüllt, so öffnet ein elektronischer Sensor das Übergabeventil, Luft strömt während des Öffnens in die Mischkammer ein, vermischt sich mit dem Abwasser und tritt als Wasser- Luft- Gemisch aus dem Ventil in das Rohrnetz ein. Das Ventil wird hydraulisch geöffnet und mit einem Anpreßdruck von ca. 260 kg geschlossen.

Es gibt auch pneumatisch gesteuerte Ventile, die vakuumabhängig öffnen und schließen.

6.1 Forderung an die Betriebssicherheit und Konstruktion des Hausanschlußschachtes

An den Schacht:

- wasserdicht
- auftriebssicher
- frostsicher
- einfacher Einbau

An das Ventil

- freier Durchgang zur Vermeidung von Verstopfungen und Energieverlust
- druckunabhängig öffnen
- ohne Fremdenergie schließen
- Abwasserförderung unter gleichzeitiger Beimischung von Luft
- langjährige Haltbarkeit und Wartungsfreiheit
- 250.0 Schaltspiele sind lt. Europeanorm zu gewährleisten

7. Das Rohrnetz

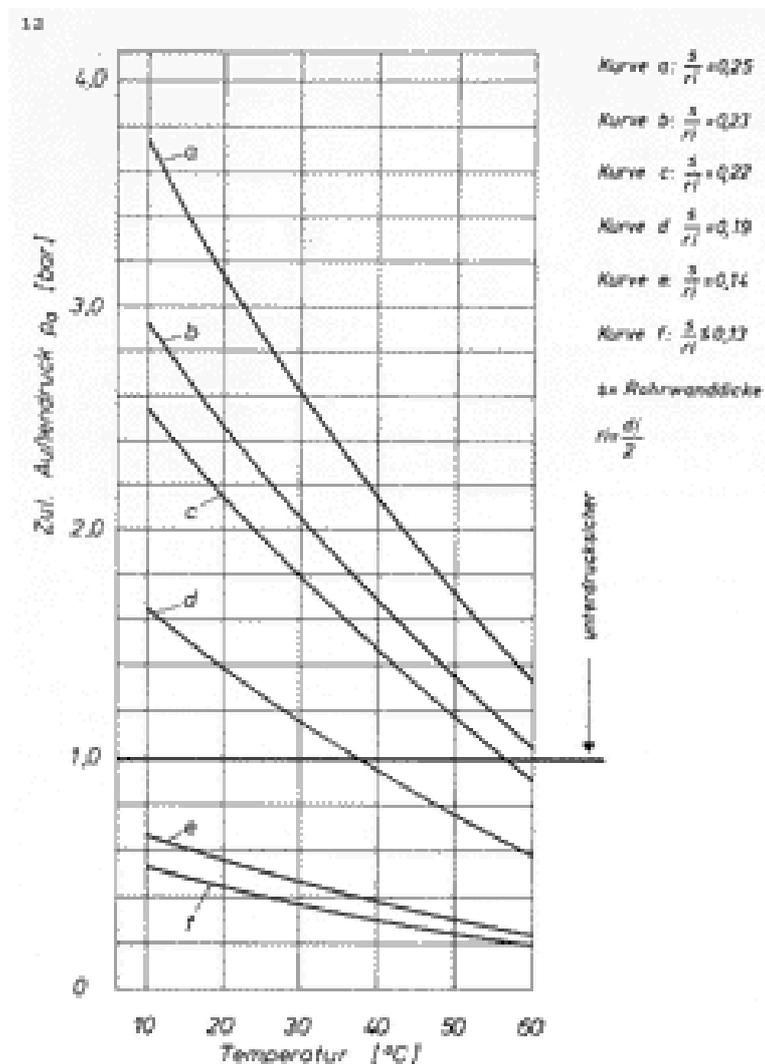
Rohrmaterial

Das Leitungsnetz ist aus PVC-hart nach DIN 8061/62 PN 10 oder PE-HD nach DIN 8074/75 in den Querschnitten DN 65, DN 80 DN 100 und DN 125 zu erstellen.

7.1 Bestimmung der Druckstufe bei PE-HD-Rohr

Bei PE-HD-Rohr muß die zu wählende Druckstufe besonders beachtet werden, da das Rohr abhängig von Temperatur und Unterdruck zu Verformungen und damit zur Einengung des Querschnittes neigt.

Die erforderliche Druckstufe kann aus nachfolgender Tabelle entnommen werden. Hierbei ist zu beachten, daß eine Temperatur von ca. 35° C nicht überschritten wird.



Zulässige Außendrucke bzw. Anwendungsgrenzen bei Unterdruckbelastung für Rohrleitungen aus PE-HD

7.1.1 Berechnungsbeispiel für PE-HD-Rohr

Erforderlicher Rohrquerschnitt DN 125

gewählt: PE-HD Rohr 125 x 7,1, PN 6
s = 7,1 mm, di = 110,8 mm

Ermittlung der Bemessungskurve

$$r_i = \frac{d_i}{2} = \frac{110,8}{2} = 55,40$$

$$\text{Kurvex} = \frac{7,1}{55,40} = 0,13$$

Der errechnete Kurvenwert ist zu gering. Die Berechnung wird mit einer höheren Druckstufe wiederholt.

gewählt: PE-HD Rohr 125 x 11,4, PN 10
s = 11,4 mm, di = 102 mm

$$r_i = \frac{d_i}{2} = \frac{112}{2} = 51$$

$$\text{Kurvex} = \frac{11,4}{51} = 0,22$$

Ergebnis: Das gewählte Rohr ist auch bei 35° C unterdrucksicher.

7.2 Rohrnetzberechnung

Bei der Rohrnetzberechnung sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

Zahl der Einwohner

Wassermenge

Q = 150 l/E/T, Fremdwasser braucht nicht zusätzlich berücksichtigt zu werden.
Zugrundezulegender Spitzenabfluß Q/8

$$Q = \frac{150}{8 \cdot 60 \cdot 60} = 0,005 \text{E}(\text{l} / \text{s})$$

Zuschlagswert

Bei der Rohrnetzberechnung nehmen nachfolgende Faktoren entscheidenden Einfluß:

Addition der Hoch- und Tiefpunkte der Verlegeform
Gleichheitsfaktor des Öffnens der Hausanschlußventile

Fließgeschwindigkeit
Unterdruckdurchsatz
sowie erhöhter Abwasseranfall bei späterer Verdichtung der Bebauung.

Aus empirischen Ermittlungen hat sich ein brauchbarer Zuschlag von 65% ergeben, mit dem Q zu multiplizieren ist.

$$f_z = 1,65$$

$$Q = 0,005 \times 1,65 \times E \text{ (l/s)} = 0,00825 \times E \text{ (l/s)}$$

Reibungsverlust hr

Rauhigkeitswert

Die Rohrreibungsverluste werden nach der Formel von Prandtl-Colebrook ermittelt.

$$\text{betrieblicher Rauhigkeitswert } k_b = 0,25 \text{ mm}$$

Druckliniengefälle Jr

Luft einschüsse im Rohr und die ständig wechselnden Druckverhältnisse durch die Zweiphasen-strömung werden mit dem empirisch ermittelten Betriebsfaktor $f_b = 1,5$ multipliziert.

Erhöhtes Druckliniengefälle = Jr x f_b

$$h_r = \frac{l \times J_r \times f_b \text{ (m)}}{1.000}$$

Geodätischer Höhenunterschied hgeo

Er ergibt sich aus dem Höhenunterschied zwischen der Ansaughöhe in der Pumpstation (Einlaufhöhe) und dem tiefsten Punkt des jeweilig zu berechnenden Kanalstranges bzw. Hausanschlußschachtes.

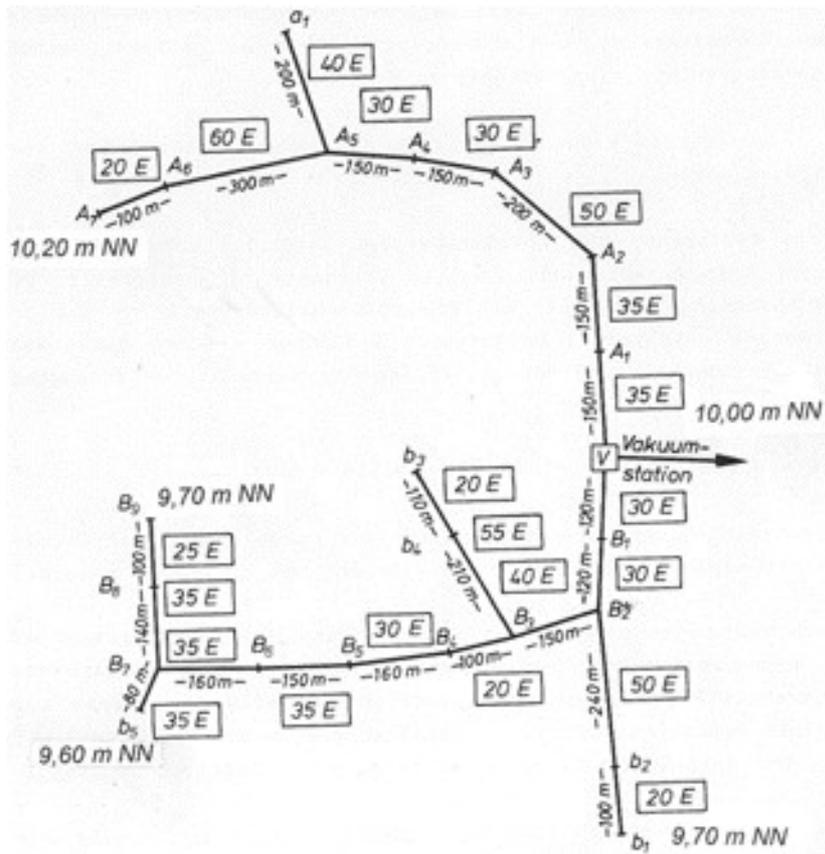
hgeo in m

Wichtig!

Vakuumpumpstationen werden wirtschaftlich mit einem Unterdruck von ca. 0,6 bar gegenüber der Atmosphäre gefahren. Der Unterdruck am Hausanschlußventil sollte aus Sicherheitsgründen 0,3 bar nicht unterschreiten.

Die Summe der Rohrreibungsverluste plus geodätischer Höhenunterschied darf daher einen Wert von 3,00 m Wassersäule nicht überschreiten.

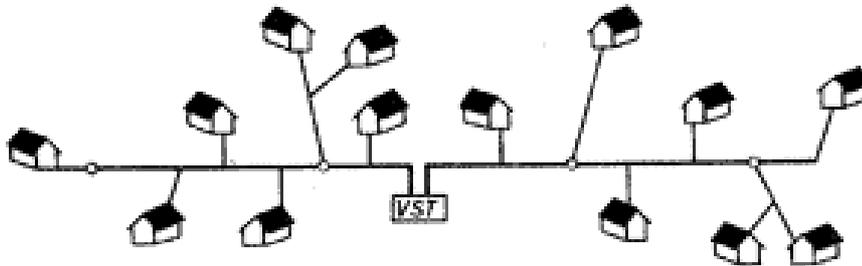
7.2.2 Berechnungsbeispiel



| Strecke | Länge | Ein- wähler $E \times 0,00025$ | Abwasser- anfall | Gesamt- abfluß | Rohr- durch- messer | Druck- linien- gefälle | Erhöhtes Druck- linien- gefälle | Rohr- reibungs- verluste | Bemerkungen |
|---|----------|--------------------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|--|--------------------------------|-------------|
| von bis | l m | E | l/s | Q l/s | DN mm | J_r ‰ | $J_r \times 1,5$ ‰ | h_r mWS | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| A ₇ A ₆ | 100 | 20 | 0,165 | 0,165 | 65 | 0,10 | 0,15 | 0,015 | |
| A ₆ A ₅ | 300 | 60 | 0,495 | 0,66 | 80 | 0,40 | 0,60 | 0,180 | |
| a ₁ A ₅ | 200 | 40 | 0,33 | 0,33 | 65 | 0,225 | 0,337 | 0,067 | |
| A ₅ A ₄ | 150 | 30 | 0,247 | 1,237 | 80 | 1,25 | 1,875 | 0,281 | |
| A ₄ A ₃ | 150 | 30 | 0,247 | 1,484 | 80 | 1,80 | 2,70 | 0,405 | |
| A ₃ A ₂ | 200 | 50 | 0,412 | 1,896 | 80 | 2,80 | 4,20 | 0,840 | |
| A ₂ A ₁ | 150 | 35 | 0,288 | 2,184 | 100 | 1,20 | 1,80 | 0,270 | |
| A ₁ Vak. | 150 | 35 | 0,288 | 2,472 | 100 | 1,60 | 2,40 | <u>0,360</u> | |
| | | | | | | | | 2,418 | < 3,0 |
| B ₉ B ₈ | 100 | 25 | 0,206 | 0,206 | 65 | 0,10 | 0,15 | 0,015 | |
| B ₈ B ₇ | 140 | 35 | 0,288 | 0,494 | 80 | 0,24 | 0,36 | 0,050 | |
| b ₃ B ₇ | 80 | 35 | 0,288 | 0,288 | 65 | 0,18 | 0,27 | 0,021 | |
| B ₇ B ₆ | 160 | 35 | 0,288 | 1,070 | 80 | 0,95 | 1,425 | 0,228 | |
| B ₆ B ₅ | 150 | 35 | 0,288 | 1,358 | 80 | 1,50 | 2,25 | 0,337 | |
| B ₅ B ₄ | 160 | 30 | 0,247 | 1,605 | 80 | 2,10 | 3,15 | 0,504 | |
| B ₄ B ₃ | 100 | 20 | 0,165 | 1,770 | 80 | 2,40 | 3,60 | 0,360 | |
| b ₂ B ₃ | 110 | 20 | 0,165 | 0,165 | 65 | 0,10 | 0,15 | 0,016 | |
| b ₁ B ₃ | 210 | 55 | 0,453 | 0,618 | 80 | 0,36 | 0,54 | 0,113 | |
| B ₃ B ₂ | 150 | 40 | 0,330 | 2,718 | 100 | 1,85 | 2,775 | 0,416 | |
| b ₁ b ₂ | 100 | 20 | 0,165 | 0,165 | 65 | 0,10 | 0,15 | 0,015 | |
| b ₂ B ₁ | 240 | 50 | 0,412 | 0,577 | 80 | 0,32 | 0,48 | 0,115 | |
| B ₂ B ₁ | 120 | 30 | 0,247 | 3,542 | 125 | 0,30 | 1,395 | 0,167 | |
| B ₁ Vak. | 120 | 30 | 0,247 | 3,789 | 150 | 0,46 | 0,69 | <u>0,082</u> | |
| | | | | | | | | 2,439 | < 3,0 |
| zuzüglich h _{geo} 10,00 - 9,60 = | | | | | | | | <u>0,4</u> | |
| | | | | | | | | 2,83,9 | < 3,0 |

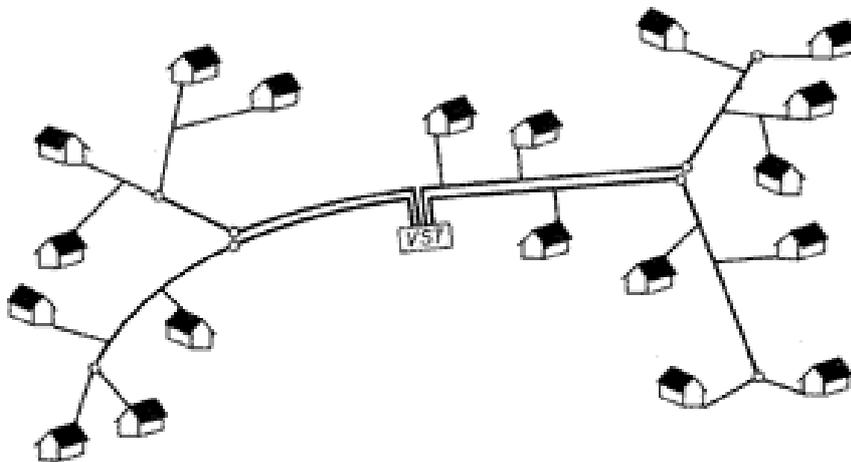
| | |
|--|-----------------|
| Unterdruck an der Pumpstation | 0,60 bar |
| abzügl. Gesamtverlust | <u>0,28 bar</u> |
| verbleibender Unterdruck am tiefsten Hausanschlußschacht | 0,32 bar |

Das Berechnungsverfahren hat sich als richtig erwiesen in Gemeinden, wo der überwiegende Teil der Häuser an einem Rohrstrang liegt und nur kurze Rohrstränge das Netz verästeln.



Bei großen Verästelungen und insbesondere dann, wenn die zu entwässernden Gebiete noch dazu auf unterschiedlichen Höhen liegen ist es sinnvoll, die Einzugsgebiete auf mehrere Stränge aufzuteilen.

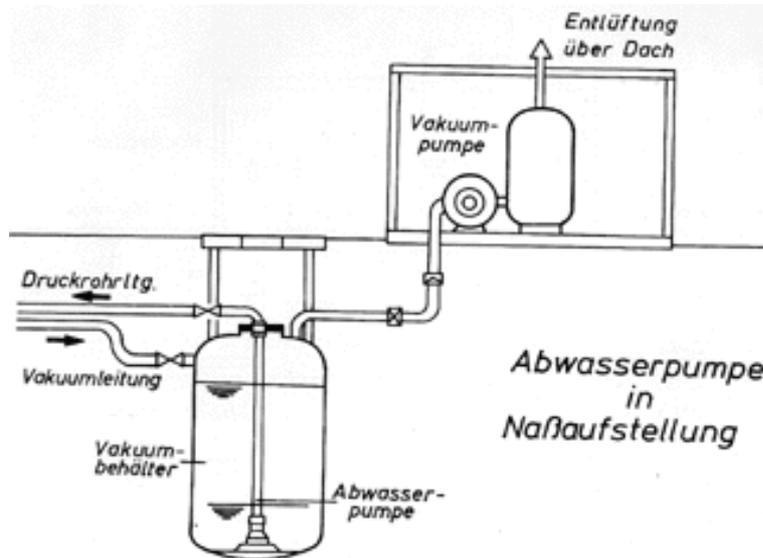
Die Aufteilung in mehrere Rohrstränge mit kleineren Durchmessern kann zu Kostensenkungen führen. Sie bietet darüberhinaus die Möglichkeit, die Gesamtanlage durch unterschiedliche Aussteuerung der Rohrstränge energiesparender zu betreiben.



8. Vakuumpumpstation

Es gibt zwei Arten, die sich im wesentlichen durch die Bauart und Förderhöhe unterscheiden.

8.1 Pumpstation mit hydraulischer Förderung



Vor der Pumpstation im Erdreich befinden sich mindestens zwei Abwassertanks mit einem Inhalt von je ca. 10 - 12 cbm. In ihnen sind die Abwasserpumpen als Naßläufer untergebracht.

In einem Oberteil (Fertigarage) befinden sich die Vakuumpumpen.

8.2 Funktion

Die Vakuumpumpen erzeugen in den Abwassertanks einen Unterdruck, durch den das Schmutzwasser aus dem Rohrnetz in den Tank gesogen wird. Von hier aus wird es durch die Abwasserpumpen hydraulisch über eine Druckleitung zur Kläranlage gefördert.

Die mögliche manometrische Förderhöhe beträgt ca. 30 m.

8.3 Berechnung und Konstruktion einer Vakuumpumpstation, bei der das Abwasser durch Abwasserpumpen gefördert wird

Oberirdischer Baukörper

Als oberirdischer Baukörper zur Unterbringung der Vakuumpumpen, Schalt- und Steuereinrichtungen wird vorwiegend eine Fertigarage verwendet.

8.3.1 Berechnung der Vakuumpumpen

Luftbedarf

Der Luftbedarf einer Vakuumanlage hängt hauptsächlich von nachfolgenden Faktoren ab:

- a) Zahl der angeschlossenen Einwohner und Einwohnergleichwerte
- b) Zahl der Einwohner pro lfdm Kanal
- c) Länge des Rohrleitungsnetzes
- d) Geodätischer Höhenunterschied zwischen der Pumpstation und dem tiefsten zu entwässernden Siedlungsgebiet.

Eine Berechnungsformel, in die die obengenannten Hauptfaktoren (daneben gibt es noch eine ganze Reihe von Nebenfaktoren) einfließen, gibt es nicht.

Durch empirische Versuche wurde nach folgende Berechnungsformel gefunden:

Erforderlicher Luftbedarf:

| |
|----------------------------------|
| 6 l Luft/Einwohner/Minute |
|----------------------------------|

8.3.2 Anzahl der Vakuumpumpen

Damit auch in einem Reparaturfall ein ununterbrochener Betrieb gewährleistet ist, müssen Vakuumpumpen zusätzlich zur Vakuumpumpe mit einer Vakuumpumpe ausgestattet werden.

- a) Vakuumpumpenstationen, bei denen der Luftbedarf durch eine Vakuumpumpe gedeckt werden kann, sollten eine Vakuumpumpe gleicher Leistung erhalten.
- b) Vakuumpumpenstationen, bei denen der Luftbedarf durch zwei Vakuumpumpen gedeckt werden muß, sollten eine Vakuumpumpe mit der Leistung einer Vakuumpumpe erhalten.

8.3.3 Auslegung der Pumpen nach Grund- und Spitzenlast

Es ist davon auszugehen, daß der Schmutzwasseranfall sich in einer Grundmenge kontinuierlich über einen Tag zwischen 6.00 Uhr und 22.00 Uhr erstreckt.

Die Spitzenzeiten erstrecken sich von.

| | |
|---------|-----------|
| 6.30 - | 8.30 Uhr |
| 11.30 - | 13.30 Uhr |
| 18.00 - | 20.00 Uhr |

Zur Vermeidung hohen Spitzenstrombedarfs sollten die Pumpen so ausgelegt sein, daß - z. B. bei einer Wahl von zwei Hauptpumpen - durch eine Hauptpumpe die Grundlast gefahren werden kann und nur in Spitzenzeiten der Bedarf durch die zweite Pumpe ergänzt wird.

Grundsätzlich sollte der errechnete Luftbedarf auf mehrere Pumpen mit kleiner Leistung aufgeteilt werden.

8.3.4 Konstruktionsmerkmale der Vakuumpumpen

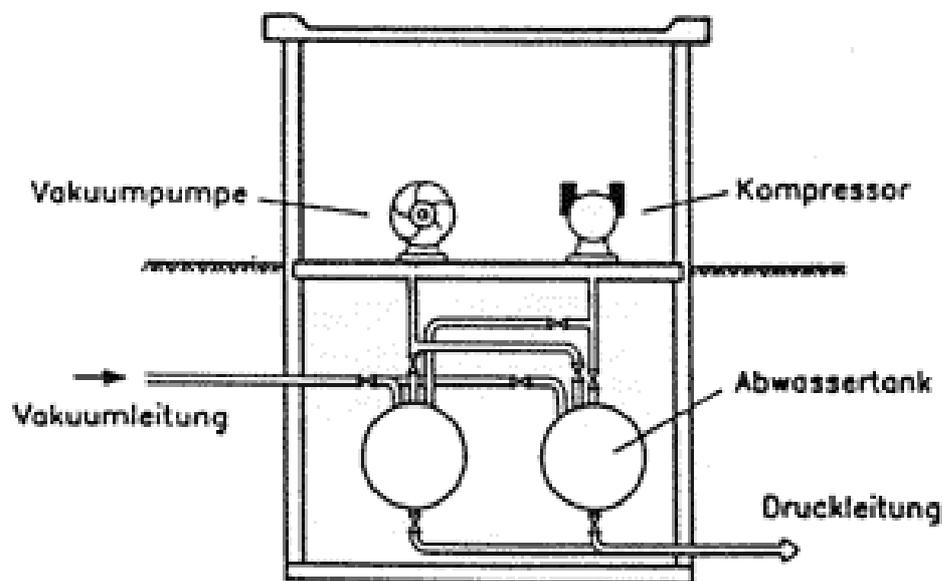
Zu bevorzugen sind Vakuumpflüssigkeitsringpumpen. Sie erzeugen das Vakuum durch Wasser in einem Flüssigkeitsring und bedürfen daher keiner Schmierung und Wartung.

8.3.5 Berechnung der Abwasserpumpen

Die Berechnung der Abwasserpumpen erfolgt entsprechend den Arbeitsblättern der ATV.

8.4 Berechnung und Konstruktion einer Vakuumpumpstation, bei der das Abwasser pneumatisch gefördert wird

Pumpstation mit pneumatischer Förderung



Die Station besteht aus einem Ober- und einem Unterbau, die aufeinander gesetzt sind. Im Oberbau befinden sich mindestens zwei Abwassertanks, die sowohl als Vakuum- als auch als Drucktanks betrieben werden. Im Oberbau befinden sich die Vakuumpumpen und Kompressoren für die pneumatische Förderung.

8.4.1 Funktion

Die Vakuumpumpe erzeugt im Abwassertank einen Unterdruck von 0,6 - 0,7 bar gegenüber der Atmosphäre. In den Abwassertank wird aus der Vakuumleitung, an die die Wohnhäuser angeschlossen sind, das Abwasser hineingesaugt. Ist ein Abwassertank gefüllt, so verschließt sich automatisch die Vakuumleitung des Ortsnetzes. Es öffnet sich die Druckleitung zur Kläranlage. Das Abwasser wird aus dem Tank durch Kompressoren pneumatisch ausgeblasen. Während des Ausblasevorganges tritt keine Betriebsunterbrechung ein. Ein parallel geschalteter zweiter Abwassertank übernimmt den Betrieb.

Die mögliche manometrische Förderhöhe beträgt ca. 120,0 m und macht es möglich, größere Entfernungen bis zur zentralen Kläranlage zu überwinden.

8.4.2 Berechnung der Vakuumpumpen

Luftbedarf

wie bei hydraulischen Pumpstationen

Anzahl der Vakuumpumpen

wie bei hydraulischen Pumpstationen

Auslegung der Pumpen nach Grund- und Spitzenlast

wie bei hydraulischen Pumpstationen

8.4.3 Berechnung der Kompressoren

Im Gegensatz zur hydraulischen Förderung bei der das Abwasser durch Abwasserpumpen gefördert wird erfolgt der Transport hier pneumatisch durch Preßluft, die von den Kompressoren erzeugt wird. Das in den Abwassertanks gesammelte Schmutzwasser wird ausgeblasen.

Für die Auslegung der Kompressoren sind nachfolgend Faktoren zu berücksichtigen:

- Schmutzwasseranfall Q_s
- Abwassertankinhalt V_k
- Tankfüllzeit t_f
- Verlustzeit t_v (Umschaltzeit der Ventile, Neutralisationszeit der Druckverhältnisse)
- Ausblasezeit t_a
- Druckhöhe
- Ausblasevolumenstrom Q_{ab}

Bemerkung

Für die Durchführung der Berechnung wird auf das Buch "Unterdruckentwässerung - Abwasserbeseitigung im ländlichen Raum" verwiesen. (Schluff)

Besondere Beachtung erfordert die Berechnung der Abwasserdruckleitung wegen der in ihr vorsichgehenden "Zweiphasenströmung".

8.4.4 Berechnung des erforderlichen Spüldruckes der Druckleitung

Allgemeines

Druckluftgespülte, geschlossene Abwasserleitungen stellen eine betriebssichere Möglichkeit zum Transport von Abwasser über größere Entfernungen dar. Das Verfahren ist daher besonders geeignet, entlegene Entwässerungsgebiete an zentrale Abwasseranlagen anzuschließen. Die Druckluftspülung bewirkt dabei eine Verringerung der Aufenthaltszeit des Abwassers in der Leitung. Nach jedem pneumatischen Spül- bzw. Nachblasevorgang gelangt Luft in die Rohrleitungen welche zwar einerseits zur Förderung des Abwassers dient, andererseits aber auch durch sich bildende Lufteinschlüsse den Abfluß erheblich behindert.

Obwohl das Verhalten der Lufteinschlüsse teilweise zufallsbedingt ist, lassen sich Füllungszustände in der Leitung bestimmen, die für die Bemessung maßgebend sind. Größere Lufteinschlüsse sammeln sich nach einem Spülvorgang hinter den Hochpunkten in den fallenden Abschnitten der Leitung. In diesen Abschnitten liegt dann Freispiegelabfluß bzw.

Teilfüllungszustand vor. Freispiegelabfluß bzw. Teilfüllungszustand stellt sich in allen Leitungsbereichen ein, in denen das Leitungsgefälle (J) größer ist als das Druckliniengefälle bei Vollfüllung (Jv).

Unter der Annahme stationär gleichförmiger Verhältnisse verläuft in diesen Abschnitten die Energielinie bzw. Drucklinie parallel zur Rohrachse, so daß die Energieverlusthöhen größer sind als in den Leitungsabschnitten ohne Lufteinschlüsse. Das sich ergebende geringere Abflußvermögen in den Rohrabschnitten mit Lufteinschlüssen muß durch einen entsprechend höheren Spüldruck kompensiert werden. Unter Umständen kann für die Bemessung des Spülvorganges aber auch der Vollfüllungszustand maßgebend sein.

Von einer bestimmten Fließgeschwindigkeit an erfolgt ein Luftaustrag, in dem durch die Strömung der gesamte Lufteinschluß in Bewegung gesetzt und abtransportiert wird.

Formel für die Fließgeschwindigkeit, bei der sich die Leitung mit Sicherheit von selbst entlüftet:

$$VK \min = (0,825 + 0,25\sqrt{J})\sqrt{g \cdot d}$$

(aus: Wisner, Mohsen, Kouwen "Removal of air from water lines by hydraulic means")

Bei Vernachlässigung des Gefälles ergeben sich folgende Mindestfließgeschwindigkeiten für die einzelnen Rohrdurchmesser:

- | | | |
|----|--------|--|
| 1. | DN 80 | VK min = (0,825) * 9,81 * 0,08 = 0,75 m/s |
| 2. | DN 100 | VK min = (0,825) * 9,81 * 0,10 = 0,82 m/s |
| 3. | DN 125 | VK min = (0,825) * 9,81 * 0,125 = 0,91 m/s |
| 4. | DN 150 | VK min = (0,825) * 9,81 * 0,15 = 1,00 m/s |
| 5. | DN 200 | VK min = (0,825) * 9,81 * 0,20 = 1,16 m/s |

Beim Spülvorgang liegen instationäre Verhältnisse vor. Ferner bilden sich längere Bereiche aus, in denen ein Wasser- Luft- Gemisch vorliegt. Eine genauere Erfassung des Abflusses ist daher nicht möglich.

In der nachfolgenden Übersichtsformel wird unter Voraussetzung eindeutiger Trennflächen zwischen Wasser und Luft der rechnerische Zusammenhang zwischen Abflußgeschwindigkeit v und Spüldruck psp angegeben.:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot d(p_{sp} + \gamma \cdot g \cdot J)}{\gamma \cdot \delta \cdot L}}$$

- d: Rohrdurchmesser
- δ: Dichte des Wassers
- L: Länge des zu spülenden Wasserpfropfens
- J: Neigung (bei Gefälle positiv, bei Steigung negativ)
- γ: Reibungswert

Es ist eine Spülgeschwindigkeit von v = 1,0 m/s anzustreben.

9. Überwachung und Steuerung der Unterdruckentwässerung

Die zentrale Überwachung und Steuerung der Unterdruckentwässerung ist von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit und wirtschaftliche Betreibung des Systems. Man unterscheidet zwischen Überwachung und Steuerung.

9.1 Überwachung

Zur Überwachung gehört die selbsttätige Übermittlung von Daten, die den Zustand und Ablauf der Funktion im Hausanschluß und der Pumpstation angeben

zum Beispiel:

Meldung aus dem Hausanschlußschacht

Verstopfung im Zufluß
Ventil schließt nicht
Wasser im Schacht

Meldung aus der Pumpstation

Vakuum zu tief
kein Druck
Stromausfall

Die Daten werden auf einen Bildschirm übertragen und über einen Drucker ausgedruckt. Die Meldezentrale, z. B. Kläranlage, ist zu jeder Zeit über den Funktionsablauf aller Hausanschlüsse und Pumpstationen informiert. Ggfs. gemeldete Störungen geben detailliert Auskunft über Standort, Art, Umfang und für die Reparatur benötigtes Werkzeug.

Ein Fehler kann sofort lokalisiert und behoben werden.

9.2 Steuerung

Steuerungen sind Vorgänge, bei denen aktiv durch Befehle in das System eingegriffen wird. Zum Beispiel:

- Einstellen und Verändern der Öffnungszeiten der Ventile
- Abfrage der punktuell unterschiedlichen Druckverhältnisse im System und Angleichen auf einen Mittelwert
- Abfrage der Wassermenge für einen Anschlußnehmer für einen bestimmten Zeit-raum und Ausdrucken des Beitragsbescheides

10. Herstellungskosten

Die Herstellungskosten der Kanalbaugruben, Oberflächenaufbruch und Wiederherstellung können je nach örtlichen Gegebenheiten voneinander abweichen.

Für eine überschlägige Kostenermittlung sollten ca. 130,00 DM für Baugrube einschl. Rohrleitung zugrundegelegt werden.

Kaum Schwankungen unterworfen sind die Funktionselemente des Systems.

Sie betragen

Für einen Hausanschlußschacht einschl. Steuer-
und Überwachungseinrichtung
Pumpstation, betriebsfertig
Für Ummauerung, Dach und Einfriedigungen

ca. 4.500,-- DM
ca. 300.000,-- DM
ca. 30.000,-- DM

10.1 Abschreibungssätze

lt ATV Arbeitsgruppe 1.12

| | | |
|------------------------|---------------|--|
| 10.1.1 Rohrnetz | 80-100 Jahre, | abhängig von der Sorgfalt der Verlegung |
|------------------------|---------------|--|

10.1.2 Hausanschlußschachte

| | | |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|
| Betonschacht und PVC Teile | ca. 2.500,-- DM | 50 Jahre |
| Ventil und Steuerung | ca 2.000,-- DM | 25 Jahre |
| | | Mittelwert ca. 35 Jahre |

10.1.3 Pumpstation

| | | |
|--------------------------------|---------------|----------|
| baulicher Teil | 220.000,-- DM | 50 Jahre |
| Maschinen und bewegliche Teile | 80.000,-- DM | 15 Jahre |
| Abwasser- und Drucktanks | 30.000,-- DM | 40 Jahre |

11. Bewirtschaftungskosten

11.1 Energiekosten

| | |
|---|----------------|
| Für das Sammeln des Abwassers im Vakuumverfahren je nach Ausdehnung des Einzugsgebietes zwischen | 0,10 - 0,35 DM |
|---|----------------|

| | |
|--|----------------|
| für die Weiterförderung zur Kläranlage je nach Entfernung und Höhenunterschied zwischen | 0,15 - 0,35 DM |
|--|----------------|

11.2 Reparaturkosten

Über elektronisch gesteuerte Anlagen liegen Erfahrungen von 19 Anlagen über einen Zeitraum von 10 Jahren vor. Hiernach ist ein Reparaturaufwand gar nicht oder nur in geringem Umfange notwendig gewesen. Er sollte daher nicht höher als 0,1 - 0,2 % , bezogen auf die Funktionselemente des Systems angesetzt werden.

11.3 Personalaufwand

Bei elektronisch gesteuerten Anlagen hat es sich als sinnvoll erwiesen, keine Wartungs- oder Unterhaltungsverträge abzuschließen. Wozu auch?

Zweckmäßig ist jedoch , den ca. zweimal jährlich erforderlichen Ölwechsel in den Kompressoren bei gleichzeitiger Funktionsüberprüfung durch eine Fachfirma bei fester Preisvereinbarung durchführen zu lassen. Hierfür ist ein Preis von 500 - 600,-- DM pro Jahr anzusetzen.

Eine Kontrolle der Pumpstation und der Hausanschlußschächte kann nebenberuflich oder durch den Wärter der Kläranlage durchgeführt werden. Hierfür sollte die Aufwandsentschädigung 200,-- bis 300,-- DM pro Monat nicht überschreiten.

Die Ausbildung des Personals erfolgt in turnusmäßigen zweitägigen Lehrgängen, in denen das notwendige Wissen vermittelt wird.

12. Literaturhinweis

- Entwurf eines Arbeitspapiers: Unterdruckentwässerung
Planungs-, Bau- und Betriebsgrundsätze
Arbeitsgruppe 1.1.6
Korrespondenz Abwasser 2/1985
- Unterdruckentwässerung Neue Erkenntnisse führen zu einem
Betriebssicheren Fördersystem
Dipl.-Ing. Reinhold Schluff, Heikendorf
Abwassertechnik 4/1986
- Arbeitsbericht der ATV „Besondere Entwässerungsverfahren“
Druckluftgespülte Abwassertransportleitungen
Planungs-, Bau- und Betriebsgrundsätze
Korrespondenz Abwasser 1/1987
- Unterdruckentwässerung – Abwasserbeseitigung im
ländlichen Raum
R. Schluff, Heikendorf 1990
- ATV Arbeitsblatt A 116, September 1992
Besondere Entwässerungsverfahren
- Unterdruckentwässerung - Druckentwässerung

Copyright R. Schluff Heikendorf