



***Anleitung zur Planung von  
Vakuumtwässerungsanlagen  
nach dem Sägezahnprinzip  
mit den Erfahrungen der  
VAB GmbH***

**VAB Vakuum AnlagenBau GmbH**  
Am Sandberg 1  
06774 Plodda

Tel: 034955/21423 • Fax: 21492

## Inhalt

<b>1.</b>	<b>Vorwort</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Beschreibung der Vakuumkanalisation</b>	
2.1	Funktion	4
2.2	Vakuumpumpstation	5
2.3	Vakuumhausanschlußschacht	6
2.4	Rohrleitungsnetz	7
<b>3.</b>	<b>Einsatzmöglichkeiten der Vakuumkanalisation</b>	
3.1	Unterschiede zu anderen Entwässerungsverfahren	9
3.2	Anwendungsgebiete	12
3.3	Systemspezifische Anforderungen an vorgesehene Projekte	14
<b>4.</b>	<b>Ökonomischer Vergleich zwischen der Freigefälle-, Niederdruck- und Vakuumkanalisation</b>	
4.0	Vorbemerkungen	18
4.1	Freispiegelkanalisation	
4.1.1	Kostenschätzung	20
4.1.2	Eckwerte	21
4.1.3	Projektkostenbarwerte und Jahreskosten	22
4.2	Niederdruckkanalisation	
4.2.1	Kostenschätzung	23
4.2.2	Eckwerte	24
4.2.3	Projektkostenbarwerte und Jahreskosten	25
4.3	Vakuumkanalisation	
4.3.1	Kostenschätzung	26
4.3.2	Eckwerte	27
4.3.3	Projektkostenbarwerte und Jahreskosten	28
<b>5.</b>	<b>Gegenüberstellung der Kostenarten</b>	<b>29</b>
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>31</b>

## 1. Vorwort

Die Anfänge der geordneten Erfassung und Ableitung von Abwässern reichen bis in das 16. Jh. v. Chr. zurück. Aus dieser Zeit fand man im Palast Mari, im Norden von Mesopotamien, schon Rohrleitungen, die zum Abtransport des Abwassers eingesetzt wurden. Weitere umfangreiche Kanalisationen sind aus der Römerzeit bekannt, die auch nach über 2.000 Jahren noch voll funktionsfähig sind (z.B. Cloaca Maxima in Rom).

In den nachfolgenden Kulturepochen wurde aber einer geordneten Abwasserableitung weniger Bedeutung zugemessen. Der Tiefstand wurde im Mittelalter erreicht. Da dienten in den sehr eng bebauten Städten vor allem die Straßen als „Abwasserkanal“ mit den bekannten schlimmen Folgen, die einer Massenausbreitung von gefährlichen Krankheiten einen idealen Nährboden gaben. Nachdem im 18. und besonders im 19. Jahrhundert viele Ärzte diese hygienischen Miss-Stände als Ursache von zahlreichen Epidemien erkannt hatten, wurden nun besonders in den Großstädten Abwasserkanäle gebaut.

Als mit der Dampfmaschine auch ein universell einsetzbarer Antrieb für Pumpen vorhanden war, wurden in den 60-iger Jahren des vergangenen Jahrhunderts durch den holländischen Ingenieur Liernur (1828 - 1893) pneumatisch betriebene Abwassersysteme gebaut. Die erste derartige Anlage wurde durch ihn 1866 in der holländischen Stadt Harlem eingesetzt. Dieses System der Abwassererfassung wurde durch Liernur im selben Jahr in England und den Niederlanden zum Patent angemeldet.

Danach wurden Liernur - Systeme in Amsterdam, Dordrecht, Leiden, Prag, Trouville (Frankreich), Hanau und Stansted (England) installiert. Für weitere europäische Städte und Baltimore (USA) wurden für derartige Anlagen Planungen angefertigt und teilweise umgesetzt. Aufgrund des relativ niedrigen technologischen Standards der erstellten Anlagen arbeiten diese Anlagen heute nicht mehr.

Weitere Wegbereiter des Vakuumkanalsystems waren im 19. Jahrhundert u.a. der Franzose Adrian Le Marquand und der Deutsche J. P. W. Schmick. Ein weiterer Franzose, mit Namen J. B. Berlier, entwarf ein System, daß zur Entwässerung in Paris eingesetzt wurde.

In den 20-iger Jahren dieses Jahrhunderts wurden verbesserte Anlagen des Franzosen Henri Gandillon zur Entsorgung von Oberflächen- und Abwässern in einem System eingesetzt. Dabei wurde das Abwasser von 3-4 Häusern über Freigefälleleitungen in einen Sammelschacht geleitet, der mit einer Vakuumleitung verbunden war. Diese Vakuumleitung mündete am Boden dieses Sammelschachtes und wurde mit einer Kugel verschlossen. Durch einströmendes Abwasser wurde die Kugel angehoben und gab die Öffnung frei. Dadurch wurde das Abwasser in die unter Vakuum stehende Leitung gedrückt. Nach Beendigung dieses Vorganges verschloss die Kugel diese Öffnung wieder und beseitigte damit eventuelle Druckverluste. Diese Vakuumssysteme sind zum Teil noch heute in Gebrauch.

Etwa 100 Jahre nach den ersten Vakuumanlagen von Liernur meldete der schwedische Ingenieur Joel Liljendahl 1956 ein Patent zur Erfassung und Transport von Toilettenabwasser mittels Vakuum an. Interessant ist dabei, daß er erstmals Vakuumtoiletten vorschlug, die pro Spülvorgang nur 1,5 l Wasser benötigen. Zum Transport des Abwassers werden durch das Vakuumventil ca. 50 l Luft nach jeder Toilettenspülung in das Rohrnetz geleitet. Ähnlich wie bei den Systemen von Liernur wurden aber ins Leitungsnetz Taschen (Syphons) eingebaut, die geringe Abwassermengen sammeln und danach als Flüssigkeitstropfen durch das Rohrnetz leiten.

1968 erwarb die Firma Elektrolux AB, Schweden, die Rechte an der Erfindung von J. Liljendahl und entwickelte sie weiter. Diese neuen Systeme wurden nun auf Schiffen und Zeltplätzen angewendet. Danach wurde durch Elektrolux das Vakuumsystem für die Sammlung und Transport von Schwarz- (Toiletten-) und Grauwasser (Spülwasser) weiterentwickelt. Seit etwa 1970 wurde dieses System „Vacuflow“ genannt und wurde danach durch den holländischen Ingenieur D. G. Quatfas weiterentwickelt.

Die Firma Elektrolux verkaufte 1985 seine gesamte Vakuumabteilung mit allen Neuentwicklungen für Flugzeuge und Schiffe an Ifö Sanitär AB, Schweden, die diese Systeme unter den Markennamen EVAC weiter vertrieben.

1990 erwarb D. G. Quatfas von EVAC die Rechte des Vacuflow - Systems, entwickelte es weiter und vertrieb es unter der Bezeichnung QUA - VAC.

Ab 1970 erschien ein neues Vakuumsystem unter der Bezeichnung AIRVAC auf dem amerikanischen Markt. Die Besonderheit dieses Systems besteht darin, daß bei AIRVAC ein 3“ Kolbenventil, gegenüber den bisher überwiegend verwendeten Membranventilen, eingesetzt wurde. Nach dem erfolgreichen Einsatz dieses Ventiles folgte dann 1982 das 2“ Kolbenventil.

Im Jahr 1995 erwarb die Firma **Vakuum AnlagenBau (VAB GMBH) Plodda** die Lizenz zum Vertrieb des Vakuumsystems AIRVAC und hat diese bis zum Auslauf der Lizenzvereinbarung im Jahre 2007 sehr erfolgreich umgesetzt. Ab dem Jahr 2007 errichtet die **VAB GmbH** lizenzunabhängig die Vakuumsysteme. Derzeit größte Baumaßnahme ist der Aufbau von 10 Vakuumsystemen auf der Insel Fehmarn für ca. 5.000 EW.

Die Referenzliste der Firma **VAB GMBH** ist im Kapitel 6 aufgeführt.

## 2. Beschreibung der Vakuumkanalisation

### 2.1 Funktion

Das Herzstück der Vakuumkanalisation ist die Vakuumpumpstation (*siehe Kapitel 1, Abb.2*). Die Vakuumpumpstation besteht aus einem oder mehreren Vakuumtanks, wobei die Tanks überwiegend in der Vakuumpumpstation aufgestellt sind. Aber auch ein Einbau der Tanks in den Untergrund ist bei Spezialfällen möglich. Oft wird aber dabei der Einbau des Tanks in ein „Kellergeschoß“ vorgenommen, um auch bei tiefen Einbau noch über die Vorteile der Anordnung in der Station zu verfügen. Die Berechnung der oder des Vakuumtanks und der anderen Systembestandteile der Vakuumstation erfolgt nach der ATV A116 oder speziellen Computerprogrammen der Systemanbieter. Zur Erzeugung des notwendigen Unterdruckes in Höhe von 0,6-0,7 bar sind mindestens zwei Vakuumpumpen mit den Tanks verbunden. Zur Abwasserabförderung sind an den Vakuumtank entweder zwei trocken aufgestellte Abwasserpumpen vorhanden oder bei Einbau des Vakuumtanks in unterirdischer Bauweise wird er mit Tauchpumpen ausgerüstet. Die Bemessung der Förderleistung errechnet sich aus der Wassermenge und der zu überwindenden geodätischen Höhe sowie der Länge der Abwasserdruckleitung.

Das an den Vakuumtank angeschlossene Vakuumrohrleitungsnetz besteht überwiegend entweder aus PE-HD oder aus PVC Rohren in den Dimensionen d 90 - d 160. Das Vakuumrohrleitungsnetz wird nach der „Sägezahn - Verletechnik“ eingebaut.

Als Bindeglied zwischen der unter Normaldruck befindlichen Freigefälleleitung und der Vakuumleitung wird an der Grundstücksgrenze ein Vakuumhausanschlußschacht eingebaut.

In den Vakuumtanks der Vakuumpumpstation wird mittels der vorhandenen Vakuumpumpen ein Vakuum von ca. 0,6 - 0,7 bar erzeugt. Dieses Vakuum setzt sich in den an den Abwassertank angeschlossenen Haupt- und Nebenleitungen fort. In den Vakuumhausanschlußschächten wird das Vakuum durch ein Vakuumentil abgesperrt.

Wird das Vakuumentil durch den Anstieg des Abwassers im Schacht geöffnet, so wird das Abwasser durch den atmosphärischen Überdruck in das Vakuumrohrleitungsnetz gedrückt und weiter bis in den Vakuumtank der Vakuumpumpstation geleitet.

Von hier wird das Abwasser durch die Abwasserpumpen aus dem Tank abgepumpt und durch die sich anschließende Abwasserdruckrohrleitung weitergefördert (Kanalnetz oder Kläranlage).

## 2.2 Vakuumpumpstation

Die Vakuumpumpstation wird möglichst an zentraler Stelle am tiefsten Punkt des Netzes errichtet. Dadurch ist der Betrieb dieser Anlage sicher und besonders energie günstig

Die Vakuumerzeugung wurde bis vor 10 Jahren überwiegend mit Wasserringpumpen oder mit Umwälzpumpen mit Ejektoren realisiert. Da diese Art der Vakuumerzeugung den Anforderungen nach Energie- und Wasserersparnis und einer stabilen Vakuumerzeugung mit erwünschten Unterdrücken von bis zu 0,8 bar nicht genügt, bietet die **VAB GmbH** Drehschieberpumpen oder Schraubenverdichter an.

Der Einbau der Vakuumentanks sollte aus Kostengründen oberirdisch erfolgen. Für die Abwasserpumpen sollte einer Trockenaufstellung grundsätzlich der Vorzug eingeräumt werden, um den Wartungsaufwand so gering wie möglich zu halten.

Deshalb setzt die **VAB GmbH** seit Beginn ihrer Tätigkeit oberirdische Vakuumentanks mit trocken aufgestellten Abwasserpumpen im Gebäude der Vakuumpumpstation ein. Damit sind alle Systembauteile in der Vakuumpumpstation frei zugänglich.

Zum unverzichtbaren Bestandteil der Vakuumpumpstation gehört natürlich auch die Schalteinrichtung für die Elektrotechnik und ein weiterer Schaltschrank für die Informationsgewinnung und -weiterleitung. Dabei werden schon vermehrt Anlagen errichtet, die über eine zentrale Einrichtung nicht nur überwacht, sondern auch für bestimmte Betriebs- bzw. Havariezustände geschaltet werden können.

Weiterhin setzt man zur Kostenreduzierung immer weniger Baukörper in Form von „Einfamilienhäusern“ ein und verwendet als Alternative Fertigteilaragen und Blockholzhütten, die äußerlich entsprechend den Erfordernissen gestaltet werden. Damit lassen sich Kosteneinsparungen in beträchtlicher Höhe erzielen. Bei günstigen Baugrundverhältnissen lassen sich auch kostengünstige unterirdische Bauhüllen für die Vakuumpumpstation erstellen.

Eine Besonderheit zu anderen Vakuumsystemanbietern stellen die sogenannten Minivakuumstationen der Firma **VAB GMBH** dar. Sie bestehen im Wesentlichen aus ein oder zwei Drehkolbenpumpen, die sowohl der Erzeugung des Vakuums als auch dem Weitertransport des Abwassers dienen. Mit diesen Minipumpstationen lassen sich Entsorgungsgebiete bis zu 2000 m Stranglänge kostengünstig über Vakuum entsorgen.

## 2.3 Vakuumhausanschlusschacht

Das Abwasser der Anfallstelle (Wohnung oder Gewerbe) wird über eine Freigefälleleitung dem Vakuumschacht zugeführt und sammelt sich im Stauraum. Dieser Stauraum kann wie bei den Pumpenschächten ausgebildet sein. Durch Anstieg des Abwassers im Stauraum wird im Staurohr ein Staudruck erzeugt, der in die pneumatische Steuerung übergeleitet wird und durch deren Tätigkeit das Vakuumventil öffnet.

Durch den äußeren Luftdruck wird das Abwasser in die Vakuumleitung gedrückt. Bei diesem Vorgang wird eine starke Vermischung des Abwassers mit der Luft erreicht, durch die ein stark mit Luft durchsetztes und intensiv verwirbeltes Abwasser-Luft-Gemisch in die Vakuumleitung gelangt.

Der Baukörper des Vakuumhausanschlusschachtes wird aus PE - HD hergestellt und weist damit eine Lebensdauer von mehr als 50 Jahren auf. Für den Einsatz des 2" Ventiles wird dabei ein Schachtmantel DN 500 verwendet. Für das größere 3" Ventil wird ein Schachtmantel mit einem Mindestdurchmesser von DN 600 verwendet. Größere Durchmesser werden dann eingesetzt, wenn ein größeres Stauvolumen verlangt wird oder zwei 3" Ventile eingebaut werden müssen.

Die eingesetzten Vakuumventile haben gleichfalls eine hohe Lebensdauer. Von der Herstellern wird in Abständen von 2-5 Jahren nur die Kontrolle des Ventildichtringes vorgegeben. Die dabei entstehenden Kosten liegen bei ca. 10,23 € pro Ventil.

Die Länge des Schachtmantels beträgt für Vakuumschächte in Normalausführung 1,40 m und die Anschlusstiefe der Freigefälleleitung beträgt 0,90 m unter Geländeoberkante. Werden tiefere Anschlüsse benötigt, so stehen bei der **VAB GmbH** Schächte bis zu einer Zulauftiefe von 3,00 m (Gesamteinbautiefe ca. 3,50 m) zur Verfügung. Damit können auch tiefer liegende Grundstücke noch sicher angeschlossen werden. Derartig große Hebungen im Schacht bedingen aber günstige hydraulische Verhältnisse im nachfolgenden Rohrleitungsnetz.

## 2.4 Rohrleitungsnetz

Das Rohrleitungsnetz der Vakuumentwässerungsanlagen nach dem Sägezahnprinzip besteht entweder aus PVC oder aus PE - HD.

Bei der Verlegung von PVC - Rohren werden Abzweige, Schieber und dergleichen überwiegend mittels Doppelmuffen verbunden. Das hat den Vorteil, daß die Verlegung der Rohre bei fast jedem Wetter durchführbar ist. Weiterhin bleiben die Verbindungen relativ flexibel, so daß bei nachfolgenden Bodenbewegungen ein Leitungsbruch so gut wie ausgeschlossen ist.

Bei der Verbindung der Rohre mittels Klebemuffen ist bei niedrigen Temperaturen und Niederschlägen keine Rohrverlegung möglich, bzw. müssen teure Schutzmaßnahmen getroffen werden (z. B. beheizte Zelte).

Die Verlegung von PE- Rohren, die mittels Elektroschweißmuffen zu verbinden sind, ist grundsätzlich auch möglich. Für anspruchsvolle Vakuurnetze (große Transportmengen) ist dieses Material jedoch aufgrund seiner Biegeweichheit deutlich ungünstiger als das vorherbeschriebene PVC-Material. Kamerabefahrungen in real gebauten PE-Leitungssystemen haben deutlich gezeigt, dass die Restwelligkeit von PE-Rohren eine Verlegung im 2 Promille Bereich nicht sicherstellen konnte.

Der Einsatz von Stumpfschweißung in PE-Rohrsystemen ist nicht möglich, da sich bei diesem Vorgang ein Grat an der Schweißnaht bildet, der nicht nur hydraulische Verluste, sondern auch die Ablagerung von festen Bestandteilen an der Rohrwand hervorruft.

Aufgrund der ausgezeichneten chemischen Beständigkeit sind PE-Rohrsysteme besonders gut für eine Verlegung im gewerblichen Bereich, insbesondere für die Entsorgung von Chemiestandorten, geeignet.

Für eine einwandfreie Funktion der Vakuumkanalisation ist genaue Rohrverlegung von ausschlaggebender Bedeutung. Die **VAB GmbH** verwendet als Verlegeart das sogenannte Sägezahnprofil. Dieses Verlegeprinzip ist dadurch gekennzeichnet, daß im horizontalen Gelände Rohrlängen von ca. 150 m mit einem Gefälle von 0,2 % verlegt und zum Ausgleich kurze Sprünge von 30 cm Höhe (auf ca. 2.00 m oder auch noch kürzer bei Verwendung von Formstücken mit einem Winkel bis 45°) eingebaut werden.

Aufgrund der einfacheren Verlegung, der geringeren Rohrreibungsverluste, der damit verbundenen Möglichkeit längere Achsen zu bauen (etwa 6000m) und der besseren Möglichkeit zur Querung von Hindernissen gehen auch andere Vakuumsystemanbieter gegenwärtig verstärkt dazu über, die Rohrverlegung nach dem Sägezahnprinzip zu realisieren. Die Vakuumrohrleitungen werden als Verästelungsnetz ohne Ringschluss ausgebildet. Zur besseren Unterteilung der Achsen sollen mindestens alle 400- 450 m Vakuumschieber eingebaut werden. Desgleichen sollen Schieber an den Einmündungen von Nebenachsen - in der Haupt- und Nebenachse - oder bei Leitungsabschnitten von mehr als 25 Häusern eingebaut werden.

Die Verlegung der Vakuumleitung des Vakuumsystems erfolgt im wesentlichen nach folgenden Vorschriften (*siehe Kapitel 3, Abb.5*):

- bei *horizontalem Geländeverlauf* Gefälle 0,2 % in Fließrichtung, zum Ausgleich der Rohrgrabenvertiefung werden alle 150 m Sprünge von 0,30 m eingebaut,
- bei *Gefälle in Fließrichtung* größer 0,2 % wird die Rohrleitung dem Geländegefälle entsprechend verlegt,
- bei *Geländeanstieg in Fließrichtung* werden kurze Sprünge mit einem Mindestabstand von 6,00 m in die Vakuumleitung eingebaut. Das Gefälle beträgt 40 - 80 % des Rohrinneendurchmessers oder 0,2 %, je nachdem welcher Wert größer ist.

Die Rohrdurchmesser richten sich nach den Wassermengen und den hydraulischen Verlusten. Die genaue Auslegung des Netzes wird durch die **VAB GmbH** vorgenommen. Bei geringer Bevölkerungsdichte kann man von folgenden Längen für PE - HD Rohre der Druckstufe PN 6 ausgehen:

- |         |                 |
|---------|-----------------|
| • d 90  | 250 m           |
| • d 110 | 800 m           |
| • d 125 | 1.000 m         |
| • d 140 | 1.200 m         |
| • d 160 | ohne Begrenzung |

Die genaue Berechnung der Hydraulik, insbesondere bei hydraulisch sehr anspruchsvollen Achsen bzw. Netzen, wird durch die **VAB GmbH** oder eines dazu befähigten Planungsbüros den Planern zugearbeitet.

### 3 Einsatzmöglichkeiten der Vakuumkanalisation

#### 3.1 Unterschiede zu anderen Entwässerungsverfahren

Im kommunalen Bereich stehen gegenwärtig drei Entwässerungssysteme zur Auswahl:

- Freigefälleentwässerung
- Niederdruckentwässerung
- Vakuumentwässerung

Bei der **Freigefälleentwässerung** werden aufgrund des benötigten Rohrdurchmessers von DN 200 beträchtliche Kosten durch die damit verbundenen großen Erdaushubmassen, hervorgerufen durch breite und tiefe Rohrgräben, notwendig. Unberücksichtigt davon sind noch die Kosten für eventuell erforderliche Zwischenpumpwerke und Hausanschlüsse. Für die Planung und den Bau dieser Kanalisation gelten u.a. folgende Vorschriften: ATV A 139, ATV A 142, DIN 18300 und die DIN EN 1610.

Bei der **Niederdruckentwässerung**, die für jedes Grundstück ein separates Hausanschluss-Pumpwerk vorsieht, liegen die Kosten, aufgrund des um mindestens 1.278,- € höheren Preises für die Pumpwerke (incl. der Kosten für den Elektro-Anschluss usw.) gegenüber den Kosten für einen Vakuumhausanschlusschacht und eventuell noch erforderlicher Druckluftspülstationen, überwiegend höher als bei der Vakuumkanalisation.

Weiterhin sind die Folgekosten für die Hausanschlusspumpwerke zu beachten. So muss man pro Jahr für jedes Pumpwerk mit Wartungskosten in Höhe von 25 – 51 € pro Jahr rechnen. Da die Pumpen aller 10-12 Jahre erneuert werden müssen, sind beträchtliche Kosten für die Ersatzinvestitionen zu planen.

Aufgrund der vielen elektromechanischen Verluste ist der Verbrauch an Elektroenergie und auch die Störanfälligkeit höher als bei der Vakuumkanalisation. Da der Abwassertransport unter anaeroben Bedingungen erfolgt, treten Probleme in der Kläranlage auf. Planungs- und Bauvorschriften für diese Art der Erfassung von Abwässern werden u.a. in der DWA 116/2, ATV A 134 und der DIN 18300 aufgeführt.

Die **Vakuumkanalisationssysteme**, die die **VAB GmbH** baut, bieten gegenwärtig Vorteile, die bis vor wenigen Jahren noch nicht für möglich gehalten wurden. Das Hauptmerkmal der Vakuumkanalisation besteht darin, daß sie sich besonders durch hohe Wirtschaftlichkeit in folgenden Bereichen auszeichnet:

- **niedrige Investitionskosten beim Bau der Anlage**
- **günstige Gesamtjahreskosten aufgrund geringer Kosten für die Wiederbeschaffung und niedriger Betriebskosten.**

Folgende Erläuterungen sollen diese Feststellung untermauern:

- Vakuumsysteme verursachen aufgrund der geringen Rohrdimensionen der verlegten Leitungen (in der Regel  $d\ 90 - d\ 160$ ) und der geringen Rohrgrabentiefe (1,20 m - 1,50 m) beträchtlich niedrigere Kosten für die Rohrgräben als Freigefällesysteme. Besonders bedeutsam ist dieser Fakt für solche Bauvorhaben, die mit hohen Aufwendungen für Grundwasserabsenkung und felsigen Baugrund belastet sind. Durch diese Verlegung minimieren sich auch die Kosten für gegebenenfalls notwendigen Abtransport und Zwischenlagerung des Erdaushubs.
- Bei notwendigen Erweiterungen des Vakuumnetzes können die Anbindungen an das vorhandene System problemlos erfolgen.
- Die Trassenführung des Vakuumsystems ist problemlos zu realisieren, da bei einer Richtungsänderung keine Zwangspunkte in Form von Revisionsschächten oder dergl. vorgegeben sind. Aufgrund der geringen Bodenbewegungen ist selbst eine Leitungsverlegung auf privatem Grund und Boden kein unüberwindliches Hindernis.
- Hindernisse lassen sich ausgezeichnet in allen Richtungen umgehen. Da nur an den Tiefpunkten sich kurzzeitig Abwasser ansammeln kann, ist auch eine oberirdische Verlegung der Vakuumleitung möglich. Damit ist man in der Lage, Bäche und andere Geländeeinschnitte, durch seitliche Befestigung der Leitung in einem wärmeisolierten Schutzrohr an Brücken oder als separate Rohrbrücke, kostengünstig und mit nur geringen hydraulischen Verlusten zu realisieren.
- In den Vakuumsystemen der Firma **VAB GmbH** sind bisher aufgrund der hohen Fließgeschwindigkeiten weder in den Rohrleitungen und durch Verhinderung der Abscheidung von Kondenswasser in den Steuerungen auch in Ventileinheiten keinerlei Frostschäden aufgetreten.
- Durch hohe Fließgeschwindigkeiten von mindestens 6 m/s, die starke Verwirbelung des Abwassers durch Sprünge und seitliche Zuläufe von einmündenden Achsen bzw. Hausanschlüssen können sich keinerlei Ablagerungen bilden, womit das Spülen der Rohrleitungen entfällt. Dadurch sind auch beim Vakuumsystem Verstopfungen hinter dem Vakuumhausanschlußschacht in den Leitungen nicht möglich.
- Austritt von Abwasser aus den Rohrleitungen bei eventuellen Defekten ist nicht möglich, da das Vakuum das Abwasser in der Leitung hält. Aufgrund dessen ist man in der Lage, Vakuumleitungen auch als Einrohr - System durch Schutzgebiete zu verlegen. Eine Mitverlegung im Rohrgraben von Trinkwasserleitungen ist gleichfalls möglich.

- Der Eintritt von Fremdwasser ist in das geschlossene Vakuumsystem ebenfalls nicht möglich. Bei eventuellen Rohrbrüchen oder Perforationen wird ein Fremdwasserzulauf durch veränderte Laufzeiten der Vakuumpumpen und der Möglichkeit der vielfachen Abschieberung der Achsen sehr schnell lokalisiert. Gleichfalls werden ungenehmigte Anschlüsse von Dachentwässerungen oder Gewerbeeinleitungen durch Laufzeitänderungen bemerkt. Dadurch wird ein Energieverbrauch zum Transport unnötiger Wassermengen ausgeschaltet. Ein weiterer Vorteil gegenüber den Freigefälle- und Niederdrucksystemen besteht darin, daß bei Defekten in der Vakuumkanalisation sofort gehandelt werden muss, da das System sich sonst ausschaltet. Ein Austritt des Abwassers ist damit nicht möglich.
- Als Rohrmaterial werden hoch beanspruchbare Kunststoffleitungen aus PVC oder PE eingesetzt. Bei der Verwendung von PE - HD Rohren können auch chemisch hochbelastete Abwässer erfasst und zur Vakuumpumpstation geleitet werden. Das Vakuumventil ist gleichermaßen für derartige Belastungen geeignet, da es aus hochfestem Polypropylen bzw. transparentem Zytel gefertigt ist. Metallische Bauteile kommen nicht mit dem Abwasser in Berührung und bestehen außerdem grundsätzlich aus VA - Stahl. Bei besonderen Beanspruchungen können Ventile und Rohrleitungen auch aus anderen Kunststoffen gefertigt werden.
- Nur an der zentralen Vakuumpumpstation wird Elektroenergie zugeführt und auch nur dort können elektromechanische Fehler und Verluste auftreten. Für die Steuerung der Ventile wird keine zusätzliche Energie benötigt, sie werden durch das Leitungsvakuum betätigt.
- Die Ventile können einzeln überwacht werden. Dadurch werden sowohl Defekte aufgespürt und/oder eine Wassermengenmessung wird realisiert.

Für die Auslegung von Vakuumkanalsystemen sind insbesondere die DIN EN 1091 und DWA 116/1 zu berücksichtigen.

***Zusammenfassend kann man feststellen, daß die Vakuumkanalisation gegenüber den herkömmlichen Systemen durch einen hohen Sicherheits- und Umweltstandard, hohe Flexibilität und niedrige Bau- Betriebs- und Folgekosten für Ersatzinvestitionen gekennzeichnet ist (s. auch dazu Abschnitt 4).***

## 3.2 Anwendungsgebiete

Vakuumentwässerungsanlagen wurden bisher überwiegend zur Entwässerung von ländlichen Gemeinden mit einer geringen Bevölkerungsdichte eingesetzt. Nach den vielfältigen Verbesserungen, die durch die Vakuumsystemanbieter, allen voran die Firma AIRVAC und die **VAB GmbH**, durchgeführt wurden und auch durch die gestiegene Anzahl von Vakuumsystemen auf dem europäischen Markt, stehen jetzt eine Vielzahl von weiteren Bereichen, als Möglichkeit des Einsatzes der Vakuumentwässerung, zur Verfügung. Denkt man dabei an die Hochgeschwindigkeitszüge, Flugzeuge und große Kreuzfahrtschiffe, so wären diese Verkehrsmittel ohne Vakuumtoiletten gar nicht denkbar.

In der nachfolgenden Liste werden die gegenwärtigen Anwendungsgebiete genannt:

Gemeinden mit geringer Bevölkerungsdichte

Neubaugebiete

Gewerbegebiete und Einkaufszentren

Gebiete mit großen Bauerschwernissen

- hoher Grundwasserstand
- felsiger Untergrund
- beengter Bauraum durch viele Fremdleitungen
- wertvolle Alleebäume im Trassenbereich
- kontaminierter Boden
- hohe Mengen an Bodenaustausch infolge ungeeigneter Auffüllung mit z.B. Bauschutt usw.

Grundwassersanierung

Bau von Abwassersammlern in Schutzgebieten

- Trinkwasserschutzgebiete
- Naturparks
- in der Nähe von Naturschutzgebieten

Industrieanlagensanierung (z.B. Abwassernetzentflechtung in der chemischen Industrie)

Lebensmittelindustrie

Tankanlagen (Entleerung von Tanktassen)

Sammlung toxischer und radioaktiver Abwässer (Krankenhäuser, Deponien usw.)

Sanierung von Freigefällekanälen (anstelle mit Inlinern)

Entsorgung von Industrie-, Gewerbe- oder Handelseinrichtungen in vorhandenen Versorgungskanälen (z.B. Fernheizkanälen)

Gartensiedlungen

Campingplätze

Fluss- und Seeanlieger bzw. Marinas

Entwässerung komplizierter Dächer (Stadien)

Aufgrund der Vielseitigkeit, der stark gesunkenen Preise für alle Komponenten der Vakuumentwässerung, der niedrigen Betriebs- und Wiederbeschaffungskosten und des hohen technischen Standards der Vakuumentwässerungsanlagen sollte sich der Planer nie scheuen, diese Systeme sowohl bei einfachen, als auch bei komplizierten Problemen anzuwenden.

### 3.3 Systemspezifische Anforderungen

Unter diesem Abschnitt soll der Planer wesentliche Grundlagen für das Erstellen der Grundlagenermittlung und ggf. auch der Vorplanung erhalten.

Grundsätzlich sollte er sich aber schon bei diesen Stufen mit der Firma **VAB GmbH** in Verbindung setzen, damit jedes Vorhaben schon von Beginn an mit der vollen Unterstützung des Systemverantwortlichen betreut werden kann.

Als Arbeitsgrundlagen sollten dazu unbedingt folgende Vorschriften beachtet werden:

- Europäische Norm EN 1091 „Vakuumentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“,
- DWA °Arbeitsblatt A 116/1 „Besondere Entwässerungsverfahren Unterdruckentwässerung“,
- ATV Handbuch „Bau und Betrieb von Kanalisationen“; Kapitel 3.9: Unterdruckentwässerung
- Technische Dokumentation der **VAB GmbH**

Nach der Beschaffung und Sichtung obiger Vorschriften sollte der Planer folgende Arbeitsschritte erledigen, wobei die Reihenfolge nicht verbindlich ist:

#### Machbarkeitstudie

##### **1. Beschaffung des Übersichtslageplanes**

Für die Stufe der Grundlagenermittlung sollte der Lageplan mindestens im Maßstab 1:5.000 oder 1:2.500 vorliegen

##### **2. Ermitteln des Umfanges des Entwässerungsgebietes**

Bei dieser Tätigkeit sollten unbedingt folgende Werte ermittelt werden:

- Anzahl der Häuser oder Ermittlung der Wassermengen an den jeweiligen Anfallstellen,

- Ermitteln der Längen der einzelnen Achsen (die größte Länge einer Achse sollte in diesem Stadium maximal 3.000 m betragen; größere Längen sollten nur in Zusammenarbeit mit den Ingenieuren der **VAB GmbH** weiterbearbeitet werden).

### **3. Erstellen eines Netzkonzeptes**

- Grobe Festlegung des Netzes unter der Prämisse, daß an der Vakuumpumpstation mehrere Achsen in den Vakuumtank einmünden,
- die Abwassermengen der einzelnen Achsen sollten möglichst identische Werte besitzen,
- orientierende Festlegung des Standortes der Vakuumpumpstation; dabei ist zu beachten, daß der Standort dafür geodätisch niedriger liegt als der überwiegende Teil des Netzes (günstige Hydraulik und geringer Energieverbrauch),
- Festlegung der Entwässerungsrichtung für das gesammelte Abwasser (Einleitung in Freigefälle oder Druckrohrleitung; bevorzugt ist der Standort der Vakuumpumpstation auf oder am Gelände der Kläranlage),
- Abschätzung des Geländeverlaufs der einzelnen Achsen im Aufriss; es muss darauf geachtet werden, daß zu überwindende geodätische Höhen nicht größer als 3,50 m sind.

Für diese Ermittlungen sollten mindestens Höhenlinien im Lageplan vorhanden sein. Weiterhin sollte man bei diesen Tätigkeiten schon eng mit dem Auftraggeber zusammenarbeiten, um dessen Wünsche in diese Stufe der Planung einfließen zu lassen, bzw. gemeinsam Alternativvorschläge zu erarbeiten. In dieser Stufe muss man auch zu den oben aufgeführten Punkten genaue Ortsbesichtigungen durchführen, damit das am Schreibtisch erarbeitete Konzept auf seine technische Realisierbarkeit ständig untersucht wird.

### **4. Zusammenfassung der Schritte 1. - 3.**

Alle oben ermittelten und festgelegten Parameter sollten gemeinsam mit dem Auftraggeber besprochen werden. Der Planer sollte seine ermittelten Ergebnisse in Form einer Machbarkeitsstudie niederschreiben.

## Vorplanung

Nach der Übergabe des Auftrages zur Anfertigung der Vorplanung muss der Planer seine Tätigkeiten auf die Ermittlung wichtiger und notwendiger Details richten.

### **1. Anfertigung des Lageplanes**

Für die Ausarbeitung aller nachfolgenden Planungsstufen sollte ein Lageplan vom vorgesehenen Bauvorhaben nach neustem Stand beschafft oder selbst erarbeitet werden. Für Planung von Vakuumentwässerungsanlagen haben sich Lagepläne im Maßstab von 1:1.000 als besonders gut geeignet erwiesen. Besonders zu empfehlen ist eine Weiterbearbeitung dieser Lagepläne mit CAD - Systemen.

### **2. Erstellung des Nivellements der Achsen**

Bezogen auf die Arbeit mit einem Lageplan im Maßstab 1:1.000 haben sich für die Vakuumpfanung Höhenpunkte aller 50 m als ausreichend erwiesen. Bei besonders markanten Geländeformen (Hügel, Böschungen, Gräben und Bäche) sollten so viele Höhen ermittelt werden, um diese Geländelinie genau festlegen zu können. Bei der Vermessung sollte man sich auch ständig über die günstigste Leitungsführung informieren und bei auftretenden Problemen eine Korrektur der Trasse vorzunehmen. Änderungen der vorgegebenen Trasse können ggf. dann erforderlich werden wenn:

- Oberflächenbefestigungen vorhanden sind,
- Unterquerungen von Bächen und dergl. durch Anhängen der Leitung an Brücken vermieden werden können,
- die Höhenvermessung kurze Anstiege oder Einschnitte aufweist,
- tiefer liegende Grundstücke damit besser angeschlossen werden können.

### **3. Erarbeitung eines Fremdleitungsplanes**

Zu diesem Bearbeitungsabschnitt sollte vom vorgesehenen Trassenbereich auch die Lage der Fremdleitungen kartografisch erfasst werden. Obwohl man bei der Vakuumleitungsverlegung von überwiegend nur 0.6 m breiten Rohrgräben ausgeht, ergeben sich im unbefestigten

Seitenbereich von Straßen usw. oft Schwierigkeiten durch vorhandene Fremdleitungen.

Deshalb sollte man dann versuchen, die andere Straßenseite als Bauraum zu nutzen. Eine derartige Änderung ist natürlich nur dann sinnvoll, wenn nicht die Mehrzahl der Hausanschlüsse durch Querung der Straße hergestellt werden müssen. Eine Umverlegung, oder ein seitliches Aufhängen und wieder Einbauen störender Kabel ist dann oftmals billiger. Dies Erschwernisse müssen aber unbedingt erfasst werden, da sie möglicherweise beträchtliche Kosten verursachen könnten, die bei der erforderlichen Kostenschätzung beachtet werden müssen.

#### **4. Erstellung von Höhenlängsschnitten mit Verlegezonen**

Nach der Fertigstellung des benötigten Lageplanes (entsprechend Pkt.1-3) sollte der Planer nunmehr Höhenlängsschnitte im Vorzugsmaßstab 1 : 100/1.000 anfertigen. Diese Arbeit sollte gleichfalls mittels geeigneter Längsschnittdateiprogramme im PC erfolgen. Die Lage der Leitungen sollte als Verlegezone eingearbeitet werden. Dabei muss der Planer sich an die Verlegevorschriften halten., die unter Punkt 2.4 aufgeführt wurden.

Bei Achsen, die länger als 3.000 m sind oder über extreme Geländeanstiege in Fließrichtung (über 3,50 - 4,00 m) verfügen oder große Wassermengen abzuleiten haben, sollte der Planer sich an die **VAB GmbH** wenden.

#### **5. Berechnung der Vakuumpumpstation**

Die Berechnung der Vakuumpumpstation kann grundsätzlich nach der DWA 116 erfolgen. Die Systemanbieter wenden aber spezielle Computerprogramme an, die eine wesentlich optimiertere Auslegung der Pumpstation liefern. Auf diese Berechnung sollte man auf jeden Fall zurückgreifen.

#### **6. Kostenschätzung**

Die Kostenschätzung ist bei den meisten Vorhaben ausschlaggebend in der Vorplanung. Bei der Vakuumkanalisation hatte man bisher häufig Probleme, eine kostengünstige Anlage zu bauen, da die Systembestandteile der Vakuumkanalisation im Preis zu hoch waren. Die **VAB GmbH** hat sich deshalb das Ziel gesetzt, mit Hilfe seines wissenschaftlich - technischen Know-how preiswerte und qualitativ hochwertige Anlagen anzubieten. Dadurch konnten in den letzten 2-3 Jahren die Preise um ca. 30% gesenkt werden. Wie man unter Absatz 4 feststellen kann, sollte man aber gleichzeitig mit der Anfertigung der Kostenschätzung auch eine Kostengegenüberstellung nach LAWA anfertigen.

## 4. Ökonomischer Vergleich zwischen Freigefälle-, Niederdruck- und Vakuumkanalisation - Kostenvergleichsrechnung

### 4.0 Vorbemerkungen

Im nachfolgenden Abschnitt 4 soll ein Vergleich der drei Entwässerungsarten bezüglich Ihrer Investitionskosten, Betriebskosten, Projektkostenbarwerte und der Jahreskosten dargestellt werden. Die Berechnungen zu den Projektkostenbarwerten und den Jahreskosten erfolgen auf der Grundlage der „Leitlinien zur Durchführung Dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - LAWA - von 1998. Als Kalkulationsparameter wird mit einem realen Zinssatz von 3 % p.A. und einem Untersuchungszeitraum von 50 Jahren gerechnet.

In den folgenden Übersichten wurden die Projektkostenbarwerte und die notwendigen Jahreskosten ermittelt. Zu den Kosten der Erstinvestition werden die jeweiligen Ersatzinvestitionen als Einzelzahlungen auf der Grundlage der entsprechenden Nutzungsdauer mit dem entsprechenden Diskontierungsfaktor für gleichmäßige Zahlenreihen DFAKR in Barwerte zum Bezugszeitpunkt umgerechnet und dazu addiert. Die Laufenden Kosten werden gleichfalls mit dem Faktor DFAKR in einen Barwert zum Bezugszeitpunkt umgerechnet und den obigen Kosten dazugerechnet.

Die Jahreskosten erhält man aus den Laufenden Kosten und den Investitionskosten sowie Ersatzinvestitionskosten, die mit dem entsprechenden DFAKR Faktor multipliziert und zu den Jahreskosten dazu addiert werden.

Diese Berechnung soll an einem Modellprojekt mit folgenden Parametern durchgeführt werden:

ländliche Gemeinde, Länge:	2,5 km
Anzahl der Häuser:	100 Stck (3.5 EW) je 50 Häuser an beiden Seiten der Straße
Gelände:	horizontaler Verlauf
Trasse:	im Seitenraum der Straße
Straßenbefestigung:	Bitumen (5 m breit)

Es wird nur die Sammlung der Abwässer in der Ortslage betrachtet.

In der nachfolgenden Übersicht haben wir diese Nutzungszeiträume aufgeführt, wobei einige von uns, aufgrund von Erfahrungen der Anwender und Vakuumanbieter, geändert wurden. Weiterhin sind dazu verschiedene Veröffentlichungen, z. B. Konzepte zur Abwasserbehandlung im ländlichen Raum, Band 3, März 2000, eingeflossen.

**Folgende durchschnittliche Nutzungszeiten der Anlagenteile wurden angenommen:**

Schächte für Druck- und Unterdruckentwässerung	50
Jahre	
Unterdruckbehälter	50 Jahre
Abwassertauchpumpen	10 Jahre
Abwasserpumpen in Trockenaufstellung	13
Jahre	
Vakuumpumpen	13 Jahre
Vakuumkolbenventile	25 Jahre
Elektroinstallation	25 Jahre
Spülstation (maschineller Teil)	13 Jahre

## 4.1. Freispiegelkanalisation

### 4.1.1 Kostenschätzung

1.	1 Stck.	Baustelleneinrichtung psch. (3 % der Anrechenbaren Kosten)		12.351,00 €
2.	2500 m	Rohrgraben ausheben und wieder verfüllen, Einbau der Freigefälleleitungen aus Steinzeugrohren mit Kontrollschächten alle 60 m, Tiefe des Rohrgrabens 1,25-2,50 m 102,26 €/m		255.650,00 €
3.	250 m	Querung der Bitumenstrasse in offener Bauweise, komplett mit Wiederherstellung der Bitumendecke (für 50 Stck HA-Leitungen) 81,80 €/m		20.450,00 €
4.	100 Stck.	Hausanschlüsse komplett herstellen einschl. aller Erd- und Oberflächenarbeiten, Lieferung und Einbau von 6,00 m Steinzeugrohr DN 150 sowie ein Kontrollschacht Typ Uponor 920,33 €/Stck		92.033,00 €
5.	8 Stck.	Hebeanlagen komplett liefern und einbauen 5.445,26 €/Stck		24.395,00 €
			baulicher Teil	6.554,00 €
			maschineller Teil 1	2.614,00 €
			Elektrotechnik	
		<b>Summe (netto)</b>		<b><u>424.047,00 €</u></b>

## 4.1.2. Eckwerte

### Ermittlung der Laufenden Kosten

- |   |   |            |
|---|---|------------|
| • | Wartung für 2.500 m Freigefällekanal<br>0,51 €/m*a  | 1.275,00 € |
| • | Wartung für 8 Stck. Hebeanlagen<br>383,50 €/Stck *a | 3.068,00 € |
| • | Energiekosten der Pumpstationen<br>2,56 €/EW*a      | 896,00 €   |

### Summe Laufende Kosten

**5.239,00 €**

### Investitionskosten (ohne Ingenieurleistungen)

#### ***Durchschnittliche Nutzungsdauer 50 Jahre***

(Kostenschätzung Pos 1 - 4, +5. - baulicher Teil) 404.879,00 €

#### ***Durchschnittliche Nutzungsdauer 25 Jahre***

(Kostenschätzung Pos. 5 - Elektrotechnik) 2.614,00 €

#### ***Durchschnittliche Nutzungsdauer 10 Jahre***

(Kostenschätzung Pos.5 - maschineller Teil) 16.554,00 €

### Gesamtinvestitionskosten

**424.047,00 €**

### 4.1.3. Projektkostenbarwerte und Jahreskosten

Nutzungsdauer 50 Jahre, Zinssatz 3,00 %

#### Projektkostenbarwert PKBW

Investitionskosten (erstmalig)	424.047,00 €	*1,000	= 424.047,00 €
Ersatzinvestitionskosten			
* nach 10 Jahren	16.554,00 €	*0,7441	= 12.318,00 €
* nach 20 Jahren	16.554,00 €	*0,5537	= 9.166,00 €
* nach 25 Jahren	2.614,00 €	*0,4776	= 1.248,00 €
* nach 30 Jahren	16.554,00 €	*0,4120	= 6.820,00 €
* nach 40 Jahren	16.554,00 €	*0,3066	= 5.075,00 €
* Laufende Kosten	5.238,00 €	*25,73	= 134.774,00 €

#### **Projektkostenbarwert**

**593.448,00 €**

#### Jahreskosten

Investitionskosten	404.879,00 €	*0,0389	= 15.750,00 €
Ersatzinvestitionskosten			
* nach 10 Jahren	16.554,00 €	*0,1172	= 1.940,00 €
* nach 25 Jahren	2.614,00 €	*0,0512	= 134,00 €
Laufende Kosten	5.239,00 €	*1,0000	= 5.239,00 €

#### **Jahreskosten**

**23.063,00 €**

## 4.2. Niederdruckkanalisation

### 4.2.1 Kostenschätzung

1.	1 Stck. 11.481,00 €	Baustelleneinrichtung psch. (3 % der Anrechenbaren Kosten)	
2.	2500 m	Rohrgraben ausheben und wieder verfüllen, Einbau der Druckrohrleitungen aus PVC bzw. PE-HD d 63 - d 110, Tiefe des Rohrgrabens 1,25m 30,68 €/m	76.700,00 €
3.	250 m	Querung der Bitumenstraße mittels Rakete incl. der benötigten Pressgruben und 6m Abwasserdruckrohr aus PVC oder PE-HD d 63 (für 50 HA-Leitungen) 33,23 €/m	8.307,50 €
4.	100 Stck.	Hausanschlusspumpwerke komplett mit Schaltschrank liefern, zzgl. aller Erd- und Oberflächenarbeiten, Lieferung und Einbau von 6,00 m PVC oder PE-HD Rohr 2.556,46 €/Stck.	143.162,00 € 97.145,00 € 15.339,00 €
		baulicher Teil (56 %)	
		maschineller Teil (38%)	
		Elektrotechnik (6%)	
5.	1 Stck. 9.204,00 €/Stck.	Spülstation komplett liefern und einbauen	
		baulicher Teil	3.068,00 €
		maschineller Teil	5.113,00 €
		Elektrotechnik	1.023,00 €
6.	3.350 m	Elektrokabel liefern und verlegen 6,14 €/m	20.569,00 €
7.	3 Stck.	Zählerschränke zur Einspeisung der Elektroenergie einschl. Anschlussgebühren 4.090,34 €/Stck.	12.271,00 €
		<b>Summe (netto)</b>	<b><u>394.178,50 €</u></b>

## 4.2.2. Eckwerte

### Ermittlung der Laufenden Kosten

• Wartung für 1 Stck. Spülstation 511,00 €/Stck *a	511,00 €
• Wartung für 100 Stck. Hauspumpwerke 25,56 €/Stck *a	2.556,00 €
• Energiekosten für 100 Stck. Hauspumpwerke 0,013 €/Stck *d	474,00 €
• Energiekosten für 1 Stck. Spülstation 77,00 €/Stck *a	77,00 €

**Summe Laufende Kosten** **3.618,50 €**

### Investitionskosten (ohne Ingenieurleistungen)

<b><i>Durchschnittliche Nutzungsdauer 50 Jahre</i></b> (Kostenschätzung Pos 1 - 3, 4+5. - baulicher Teil)	242.718,50 €
<b><i>Durchschnittliche Nutzungsdauer 25 Jahre</i></b> (Kostenschätzung Pos. 4-7 Elektrotechnik)	49.202,00 €
<b><i>Durchschnittliche Nutzungsdauer 13 Jahre</i></b> (Kostenschätzung Pos 5 - maschineller Teil)	5.113,00 €
<b><i>Durchschnittliche Nutzungsdauer 10 Jahre</i></b> (Kostenschätzung Pos. 4 - maschineller Teil)	97.145,00 €
<b>Gesamtinvestitionskosten</b>	<u><b>394.178,50 €</b></u>

### 4.2.3. Projektkostenbarwerte und Jahreskosten

Nutzungsdauer 50 Jahre, Zinssatz 3,00 %

#### Projektkostenbarwert PKBW

Investitionskosten (erstmalig)	394.178,50 €	*1,000	= 394.178,50 €
Ersatzinvestitionskosten			
* nach 10 Jahren	97.145,00 €	*0,7441	= 72.285,50 €
* nach 13 Jahren	5.113,00 €	*0,6810	= 3.482,00 €
* nach 20 Jahren	97.145,00 €	*0,5537	= 53.789,00 €
* nach 25 Jahren	49.202,00 € + 5.113,00 €	*0,4776	= 25.941,00 €
* nach 30 Jahren	97.145,00 €	*0,4120	= 40.024,00 €
* nach 38 Jahren	5.113,00 €	*0,3252	= 1.663,00 €
* nach 40 Jahren	97.145,00 €	*0,3066	= 29.784,50 €
* Laufende Kosten	3.618,00 €	*25,73	= 93.091,00 €
<b>Projektkostenbarwert</b>			<b><u>714.238,50 €</u></b>

#### Jahreskosten

Investitionskosten	242.718,50 €	*0,0389	= 9.441,50 €
Ersatzinvestitionskosten			
* nach 10 Jahren	97.145,00 €	*0,1172	= 11.385,50 €
* nach 13 Jahren	5.113,00 €	*0,0940	= 481,00 €
* nach 25 Jahren	49.202,00 €	*0,0512	= 2.519,00 €
Laufende Kosten	3.618,00 €	*1,0000	= 3.618,50 €

**Jahreskosten**  
**27.445,50 €**

## 4.3. Vakuumkanalisation

### 4.3.1 Kostenschätzung

1.	1 Stck.	Baustelleneinrichtung psch. (3 % der Anrechenbaren Kosten)		10.220,00 €
2.	2.500 m	Rohrgraben ausheben und wieder verfüllen, Einbau der Vakuumleitungen aus PVC bzw. PE-HD d 90 - d 125, Tiefe des Rohrgrabens 1,25-1,50m 30,68 €/m		76.700,00 €
3.	250 m	Querung der Bitumenstrasse mittels Rakete incl. der benötigten Pressgruben und 6m Abwasserdruckrohr aus PVC oder PE-HD d 90 33,23 €/m		8.307,50 €
4.	100 Stck	Vakuumhausanschlußschacht komplett, zzgl. aller Erd- und Oberflächenarbeiten und 6,00 m PVC od. PE-HD Rohr liefern und einbauen. 1.533,88 €/Stck.	baulicher Teil Ventile	80.790,00 € 72.598,00 €
5.	1 Stck.	Vakuumpumpstation komplett liefern und einbauen 102.258,00 €/Stck.	baulicher Teil, Tank maschineller Teil Elektroinstallation	51.129,00 € 30.677,00 € 20.452,00 €
<b>Summe (netto)</b>				<b><u>350.873,50 €</u></b>

### 4.3.2. Eckwerte

#### Ermittlung der Laufenden Kosten

• Wartung für 1 Stck Vakuumpumpstation 511,00 €/Stck *a	511,00 €
• 100 Stck Vakuumhausanschlusschächte 10,23 €/Stck *a	1.023,00 €
• Energiekosten Vakuumpumpstation $350 \text{ EW} * 100\text{l/d} = 35 \text{ m}^3 * 0,4 \text{ kWh/m}^3 = 14 \text{ kWh/d}$ $* 365 \text{ d} = 5.110 \text{ kWh/a} * 0,13 \text{ €/kWh}$	664,00 €

#### Summe Laufende Kosten

**2.198,00 €**

#### Investitionskosten (ohne Ingenieurleistungen)

##### ***Durchschnittliche Nutzungsdauer 50 Jahre***

(Kostenschätzung Pos 1 - 3, 4 + 5. - baulicher Teil) 227.146,50 €

##### ***Durchschnittliche Nutzungsdauer 25 Jahre***

(Kostenschätzung Pos. 4 –Ventile  
Pos.5 –Elektrotechnik) 93.050,00 €

##### ***Durchschnittliche Nutzungsdauer 13 Jahre***

(Kostenschätzung Pos. 5 - maschineller Teil) 30.677,00 €

#### **Gesamtinvestitionskosten**

**350.873,50 €**

### 4.3.3. Projektkostenbarwerte und Jahreskosten

Nutzungsdauer 50 Jahre, Zinssatz 3,00 %

#### Projektkostenbarwert PKBW

Investitionskosten (erstmalig)	350.873,00 €	*1,000	= 350.873,00 €
Ersatzinvestitionskosten			
* nach 13 Jahren	30.677,00 €	*0,6810	= 20.891,00 €
* nach 25 Jahren	30.677,00 € + 93.050,00 €	*0,4776	= 59.092,00 €
* nach 38 Jahren	30.677,00 €	*0,3252	= 9.976,00 €
* Laufende Kosten	2.198,00 €	*25,73	= 56.555,00 €
<b>Projektkostenbarwert</b>			<b><u>497.387,50 €</u></b>

#### Jahreskosten

Investitionskosten	227.146,50 €	*0,0389	= 8.836,00 €
Ersatzinvestitionskosten			
* nach 13 Jahren	30.677,00 €	*0,0940	= 2.884,00 €
* nach 25 Jahren	93.050,00 €	*0,0512	= 4.764,00 €
Laufende Kosten	2.198,00 €	*1,0000	= 2.198,00 €
<b>Jahreskosten</b>			<b><u>18.682,00 €</u></b>

## 5. Gegenüberstellung der Kostenarten

In den vorstehenden Berechnungen wurden alle Übersichten auf € umgestellt. Grundsätzlich wurden bei allen Berechnungen nur Nettowerte verwendet, um durch eventuelle Änderungen der Mehrwertsteuer keine Verzerrung der entsprechenden Kostenarten zu bekommen.

Bei der **Freigefällekanalisation** haben wir nach nochmaligen Überrechnung die Anzahl der Hebewerke auf 8 Stück erhöht. Diese Anzahl kann bei einer Vertiefung des Rohrgrabens verringert werden, dann müsste man aber den von uns gewählten Preis für die Erstellung des Rohrgrabens von 102,26 €/m beträchtlich erhöhen. Damit wird aber die Ersparnis für die Pumpwerke deutlich überschritten.

In der Kostenschätzung für die **Niederdruckkanalisation** haben wir den Preis für die Einzelpumpwerke auf 2.556,46 € verringert, obwohl bei einer kürzlich in einem Abwasserzweckverband im Landkreis Prignitz stattgefundenen Submission ein Preis von ca. 4.090,34 € erzielt wurde. Nach unseren Erfahrungen stellt der Preis für ein Einzelpumpwerk in Höhe von 2.556,46 € die niedrigste Preiskategorie dar. Erfahrungsgemäß liegen dann die Kosten der Ersatzinvestition für die Pumpe unvergleichbar höher. Unsere Aufgliederung der Kosten der Einzelpumpwerke in einen Kostenanteil in Höhe von 56 % für die Bauhülle, 38 % für die Pumpe und 6 % für die Elektrotechnik wurde aus der Literatur übernommen.

Die Änderungen bei der **Vakuumkanalisation** beziehen sich besonders auf die Aufteilung des Preises für den Vakuumhausanschlußschacht in je einen Anteil für den Schachtkörper und das Vakuumventil, wobei wir auch hier für das Vakuumventil nur eine Nutzungsdauer von 25 Jahren angesetzt haben. Es sind zwar schon Ventile mit einer längeren Nutzungsdauer im Einsatz, aber durch die ständige Verbesserung dieser Teile und der damit verbunden optimaleren Fahrweise der Pumpstation und der Verringerung des Wartungsaufwandes der neuen Ventile ist ein Einsatz über diese Zeit hinaus wenig sinnvoll.

Die Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnung wurden in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Die in Klammern gesetzten Werte geben den prozentualen Wert, gegenüber dem zur Basis erklärten Höchstwert, an.

	Freigefällekanal € (%)	Niederdruckkanal € (%)	Vakuumkanal € (%)
<b>Laufende Kosten</b>	5.239,00 (100)	3.618,50 (69)	2.198,00 (42)
<b>Gesamtinvestitions- kosten</b>	424.047,00 (100)	394.178,50 (93)	350.873,50 (83)
<b>Projektkostenbar- werte</b>	593.448,00 (83)	714.238,50 (100)	497.387,50 (70)
<b>Jahreskosten</b>	23.063,00 (84)	27.445,00 (100)	18.682,00 (68)

Aus dieser Übersicht ist zu erkennen, daß die Vakuumkanalisation, gegenüber Freigefälle- und der Niederdruckentwässerung, bei dem unter Pkt. 4. gewählten Beispiel bedeutend besser abschneidet.

Der **Vorteil der Vakuumkanalisation gegenüber der Freigefällekanalisation** besteht darin, daß für den **Bau des Rohrgrabens geringere Kosten** wirksam werden. Weiterhin wird oftmals übersehen, daß bei der **Freigefälleentwässerung eine jährliche Spülung** des Kanalnetzes erforderlich ist und auch Abschreibungs- und Betriebskosten der Hebewerke entstehen, die bei der Vakuumentwässerung entfallen. Dabei wurde aber bei der Auswahl der örtlichen Bedingungen unter Pos.4.0 kein Gelände gewählt, daß für die Freigefälleentwässerung große Nachteile aufweist. Die Leitungsverlegung für das Freigefällesystem wurde gleichfalls im Seitenraum angeordnet. Bei einer Trasse, die den Bau eines Freigefällesammlers nicht oder nur unter großen Aufwendungen zulässt, z. B. bei beengten Bauräumen im Untergrund oder durch das Vorhandensein von großen Alleebäumen usw., ist man gegenüber der Vakuumkanalisation gezwungen, mit einem hohen Aufwand an Kosten, die Leitung im Bereich der Fahrbahn zu verlegen. Bei einer derartigen Betrachtung der unterschiedlichen Entwässerungssysteme sind die Vorteile der Vakuumkanalisation beträchtlich größer als oben dargestellt.

Für den Bau und Betrieb der **Niederdruckentwässerung** sind als Nachteil gegenüber der Vakuumkanalisation besonders die **hohen Kosten für die Anschaffung der Einzelpumpwerke** und die **hohen Wiederbeschaffungskosten der Pumpen** zu nennen. Bei Verwendung von Einzelpumpwerken der gehobenen Preisklasse fällt der Unterschied noch deutlicher aus. Nach den Erfahrungen unseres Planungsbüros sollten Niederdruckentwässerungssysteme für die Aufgaben verwendet werden, bei denen ihre speziellen Vorteile zur Anwendung kommen, zum Beispiel für Ortsentwässerungen, die größere Geländeunebenheiten aufweisen.

**Im Interesse seiner Auftraggeber sollte sich jeder Planer immer mit derartigen Überlegungen auseinandersetzen. Dazu haben wir unter Pkt. 3.1 weitere Unterschiede aufgeführt, die durch die Kostengegenüberstellung bestätigt wurden.**

## 6. Zusammenfassung

Im vorliegenden "Leitfaden..." wird dem Planer, der sich mit der Erstellung von Unterlagen zum Bau von Entwässerungsanlagen beschäftigt, eine Anleitung zum Einsatz der Vakuumtechnologie zur Abwassersammlung und -ableitung gegeben. Dabei wird durch die Anwendung der Empfehlungen der **VAB GmbH** gewährleistet, daß ein technisch hochentwickeltes System zur Anwendung kommt, das allein in Deutschland über 50 Mal eingesetzt wurde.

Durch das Engagement der Ingenieure und Mitarbeiter der **VAB GmbH** wird gesichert, daß der Anwender dieses Vakuumsystems ein hochwertiges Verfahren erwirbt, daß sich durch große Variabilität, Zuverlässigkeit und niedrige Laufende Kosten auszeichnet.

Die Firma **VAB Vakuum AnlagenBau GmbH** bietet allen interessierten Planern und Nutzern eine große Palette von Möglichkeiten zur Unterstützung bei der Bearbeitung zukünftiger Vorhaben an. So übernehmen wir bei der Bearbeitung eines Vorprojektes die Erstellung einer Machbarkeitsstudie mit Kostenschätzung, Systemvergleiche oder bei weiteren Planungsstufen, helfen wir Ihnen bei der Spezialplanung zur Dimensionierung der Leitung und Vakuumpumpstation bis hin zur Anfertigung von baureifen Plänen und Leistungsbeschreibungen.

***Planer und Baufirmen können bei Bedarf gern unsere Einweisungsmappe mit Einbauvorschriften und Detailhinweisen für alle benötigten Vakuumsystembestandteile bestellen.***