



Beratungsart:	X	öffentlich		nicht öffentlich
----------------------	----------	-------------------	--	-------------------------

Beschlussvorlage	Nr.:	64/2014	Datum:	25.03.2014
-------------------------	-------------	----------------	---------------	-------------------

Beratungsfolge:				
Nr.	-	Stadtvertretung/ Fachausschuss	Sitzungstag	
1		Ausschuss für Jugend, Sport und Soziales		
2		Ausschuss für Schule, Kultur, Paten- und Partnerschaften		
3		Ausschuss für Umwelt, Verkehr und öffentliche Sicherheit		
4	X	Ausschuss für Bauwesen	15.05.2014	
5		Ausschuss für Stadtentwicklung, Wirtschaft und Finanzen		
6		Hauptausschuss		
7		Stadtvertretung		

Schluss- und Mitzeichnungen:		
	<u>S.WS</u>	<u>S.WS</u>
gez. i.V. M. Vogt		
Bürgermeisterin	Geschäftsführer	Bearbeiter/in

1. TOP:

Abwasserpumpstation Neuwührener Weg
Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Neubau einer Druckrohrleitung und den Austausch der installierten Pumpen

2. Sachverhalt und Problemdarstellung:

In der Abwasserpumpstation Neuwührener Weg wird das anfallende Abwasser mithilfe von zwei installierten Pumpen über eine ca. einen Kilometer lange Druckrohrleitung zum Übergabepunkt in der Friedrich-Hebbel-Straße gefördert. Von dort läuft das Abwasser im Freigefälle zur Pumpstation Altes Klärwerk in der Jahnstraße und wird anschließend in das Hauptpumpwerk in der Gutenbergstraße gefördert.

In der Vergangenheit hat es immer wieder Probleme insbesondere bei Starkregenereignissen gegeben, da die Förderleistung der ca. 40 Jahre alten Pumpen bei dem vorhandenen Querschnitt der Druckrohrleitung nicht mehr ausreicht. Eine Erhöhung der Förderleistung wäre mit den vorhandenen Pumpen möglich, ist aber ohne Querschnittserweiterung der Druckrohrleitung mit einer erheblichen Steigerung der Förderkosten (Stromverbrauch) verbunden.

Aus diesem Grund wurde die Ingenieurgesellschaft Possel und Partner GmbH & Co. KG (i.pp) aus Kiel mit der Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsberechnung beauftragt. Insbesondere wurden folgende Punkte in die Berechnung einbezogen:

- a) Optimierung der Förderaufgabe in Bezug auf Energieeffizienz: Untersuchung auf Wirtschaftlichkeit des Neubaus einer Druckrohrleitung mit größerem Durchmesser (ggf. bei geänderter Trassenführung)
- b) Gleichzeitige Überprüfung, ob der Austausch der ca. 40 Jahre alten Pumpen gegen modernere, effizientere Aggregate wirtschaftlich darstellbar ist

a) Im Hinblick auf den Neubau einer Druckrohrleitung mit größerem Durchmesser hat die Ingenieurgesellschaft zwei Möglichkeiten in Ihre Überlegungen einbezogen:

Neubau Druckrohrleitung in der vorhandenen Trasse

Der Bau einer neuen Druckrohrleitung mit größerem Innendurchmesser unter Beibehaltung der aktuellen Trassierung erscheint der Ingenieurgesellschaft unrealistisch: An diversen Stellen unterquert die vorhandene Leitung Privatgrundstücke, in anderen Bereichen hat sich in 40 Jahren ein Baumbestand entwickelt, der eine Genehmigung aus naturschutzrechtlicher Sicht, auch bei grabenloser Verlegung, problematisch erscheinen lässt.

Neubau Druckrohrleitung in alternativer Trasse

Grundsätzlich bietet sich als neuer Übergabepunkt bzw. Endpunkt der Druckrohrleitung von der Pumpstation Neuwührener Weg ein Schacht hinter der Sporthalle (am „Raisdorfer Holz“) an, in den auch die Pumpstation „Raisdorfer Holz“ fördert. Von diesem Schacht führt eine Freigefälleleitung zum Hauptpumpwerk in der Gutenbergstraße.

Diese Trassenführung mit dem „neuen“ Einleitungspunkt führt von der Abwasserpumpstation Neuwührener Weg im ersten Abschnitt (ca. 530 Meter) durch Ackerflächen bzw. an Ackerflächen entlang. Danach kreuzt sie den Rönner Weg und verläuft ca. 150 Meter entlang der Straße Raisdorfer Holz. Anschließend biegt sie Richtung Nord-Nord-West ab bis zum Bahngelände und läuft Richtung Westen an diesem entlang bis zum Einleitungsschacht.

Hierbei handelt es sich lediglich um einen Vorschlag für eine neue Trassenführung. Es sind zahlreiche Variationen denkbar; dabei wird der größte Teil jedes Mal durch unbebautes Gebiet führen. Eine genaue Festlegung wäre Gegenstand einer Entwurfs- und Genehmigungsplanung.

Die beschriebene Verlegung der Trassenführung hat außer den Erleichterungen bei der baulichen Herstellung vor allem den Vorteil, dass das erneute Heben des Abwassers in die Pumpstation „Altes Klärwerk“ in der Jahnstraße eingespart wird (Einsparung ca. 22.000 kWh pro Jahr).

b) Überprüfung, ob der Austausch der 40 Jahre alten Pumpen gegen moderne, effizientere Aggregate wirtschaftlich darstellbar ist:

Wenn die Kapazität der Druckrohrleitung durch Vergrößerung des Leitungsquerschnitts erhöht wird, sinkt mit der Verlusthöhe die erforderliche Gesamtförderhöhe und infolgedessen der elektrische Leistungsbedarf der Pumpen. Die elektrischen Motoren der Pumpen sind dann zu groß. Das bedeutet, dass die vorhandenen Pumpen zumindest modifiziert werden müssten (durch Drehzahlabsenkung und kleiner Motoren), wenn sie nicht komplett auszutauschen wären.

Wie bereits erwähnt, erlaubt die Vergrößerung des Druckrohrleitungsquerschnitts Energieeinsparungen infolge des nicht mehr benötigten Hebens des Abwassers. Angesichts des Alters der installierten Pumpen ist eine Anpassung durch Drehzahlabsenkung und kleinere Motoren nicht sinnvoll. Genauso wenig sinnvoll erscheint der Neubau der Druckrohrleitung ohne Umschwenken zu der o.a. neuen Einleitungsstelle.

Daher wurden von der Ingenieurgesellschaft nur zwei Varianten durch eine dynamische Kostenvergleichsrechnung miteinander verglichen:

- Variante 1: Drehzahlerhöhung der vorhandenen Pumpen und
Variante 2: Austausch der vorhandenen Pumpen und Neubau der Druckrohrleitung mit Wechsel des Einleitungspunktes.

Bei der Variante 1 fallen nur sehr geringe Investitionskosten an. Die Förderaufgabe kann durch den bloßen Austausch von Riemenscheiben und Keilriemen erfüllt werden. Nicht abzuschätzen ist, wie lange die Pumpen und Motoren noch ohne gravierende Reparaturen funktionieren werden, insbesondere unter der Voraussetzung, dass sie nach der Drehzahlerhöhung am obersten Limit arbeiten müssen.

Bei Variante 2 fallen erheblich Investitionskosten an:

- für die neuen Pumpen
- für die Anpassung der Verrohrung und der elektrotechnischen Ausrüstung in der Pumpstation und
- für den Neubau der Druckrohrleitung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung mit errechneten Umsetzungsalternativen wird von der Ingenieurgesellschaft Possel und Partner vorgestellt.

3. Lösungsvorschlag:

Die Kostenvergleichsrechnung zeigt, dass die Realisierung der Variante 2 wirtschaftlicher als die Realisierung der Variante 1 ist. Es wird daher vorgeschlagen, die Maßnahme wie beschrieben (Neubau Druckrohrleitung in alternativer Trasse mit Austausch der Pumpen) umzusetzen.

4. Haushaltsrechtliche Auswirkungen:

Kosten für die Ingenieurleistungen für vorbereitende Arbeiten und für die Erstellung einer Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Umsetzung der Variante 2 sind im Haushalt 2014 berücksichtigt worden (10.000 Euro). Die Investitionskosten für die Umsetzung der Variante 2 müssten im Haushalt 2015 angemeldet werden (ca. 150.000 Euro zzgl. Ingenieurkosten, Kosten beispielsweise für Überleitungsrechte, Grunddienstbarkeiten etc.).

Die Kosten für die Umsetzung der Variante 1 könnten aus den zur Verfügung stehenden Haushaltsmitteln 2014 beglichen werden.

5. Beschlussempfehlung:

- 1) Dem Neubau der Druckrohrleitung mit größerem Durchmesser und geänderter Trassenführung sowie dem Austausch der installierten Pumpen im Pumpwerk Neuwührener Weg wird zugestimmt.

- 2) Mit der Ingenieurgesellschaft Possel und Partner GmbH & Co. KG ist ein Ingenieurvertrag abzuschließen, der die stufenweise Beauftragung folgender Leistungen vorsieht:

Stufe 1: Grundlagenermittlung, Vorplanung und Entwurfsplanung

Stufe 2: Genehmigungs- und Ausführungsplanung, Vorbereitung der Vergabe

Stufe 3: Mitwirken bei der Vergabe, Objektüberwachung (Bauüberwachung)

Anlage: Wirtschaftlichkeitsberechnung i.pp

Abstimmung:			Kenntnis genommen:	Vertagung:	Keine Abstimmung:
Dafür:	Dagegen:	Enthaltungen:			

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Neubau Druckrohrleitung

Pumpwerk Neuwührener Weg

Auftraggeber:

Stadt Schwentinental

Bürgermeisterin Susanne Leyk

Theodor-Storm-Platz 1

24223 Schwentinental

Verantwortliche Leitung

Herr T. Heimann

Stadtwerke Schwentinental

Auftragnehmer:



Ingenieure für Bau, Umwelt
und Stadtentwicklung

Rendsburger Landstraße 196-198

24113 Kiel

Tel.: 04 31 / 6 49 59 - 0

Fax: 04 31 / 6 49 59 - 59

E-Mail: info@ipp-kiel.de

Projektleiter: Dipl.-Ing. D. Noack

Sachbearbeiter: H.-H. Blüdorn-van Bruinehsen

Auftrag Nr. (AG):

-

Projektnummer (IPP):

2013-029

Anzahl der Seiten:

25

Anzahl der Pläne:

3

Anzahl der Anlagen:

2

Exemplarnummer:

1 von 2

Ort, Datum:

Kiel, den 03.04.2013



Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung.....	5
2	Grundlagen.....	5
2.1	Aktuelle Situation.....	5
2.2	Überprüfung des Status Quo.....	6
3	Varianten.....	7
3.1	Grundsätzliche Anmerkungen.....	7
3.2	Leistungssteigerung durch Drehzahlerhöhung.....	7
3.3	Auslegung Druckrohrleitung.....	8
3.3.1	Neubau Druckrohrleitung / vorhandene Trasse.....	9
3.3.2	Alternative Trasse / Neubau Druckrohrleitung.....	10
4	Variantenvergleich.....	12
5	Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	13
5.1	Grundlagen.....	13
5.2	Methodik.....	14
5.2.1	Kostenermittlung.....	14
5.2.2	Finanzmathematische Aufbereitung.....	14
5.3	Durchführung.....	18
5.3.1	Eignungsprüfung.....	18
5.3.2	Kostenermittlung.....	19
5.3.3	Finanzmathematische Aufbereitung.....	21
5.3.4	Kostengegenüberstellung.....	22
5.3.5	Sensitivitätsanalyse.....	23
5.4	Gesamtbeurteilung.....	24
6	Zusammenfassung.....	25
7	Unterschriften.....	25



II Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Status Quo und Status vor Leistungserhöhung 1979/1980	6
Tabelle 3-1:	Situation nach Drehzahlerhöhung	8
Tabelle 3-2:	Situation nach Neubau der Druckrohrleitung in „alter“ Trasse	10
Tabelle 3-3:	Situation nach Neubau der Druckrohrleitung mit „neuem“ Einleitungspunkt	11
Tabelle 5-1:	Angaben zu den Berechnungsgrundlagen	19
Tabelle 5-2:	Kostenermittlung	20
Tabelle 5-3:	Projektkostenbarwert Alternative 1	21
Tabelle 5-4:	Projektkostenbarwert Alternative 2	22
Tabelle 5-5:	Vergleich der Alternativen	22
Tabelle 5-6:	Auswirkungen bei Variation des Zinssatzes	24
Tabelle 5-7:	Auswirkungen einer Strompreissteigerungsrate von 1% p.a.	24

III Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5-1:	Veranschaulichung einiger Grundbegriffe zur zeitlichen Gewichtung von Kostengrößen	15
Abbildung 5-2:	Entwicklung der Projektkostenbarwerte im Untersuchungszeitraum	23



1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Stadtwerke Schwentinental betreiben im Ortsteil Raisdorf die Abwasser-Pumpstation „Neuwührener Weg“ (Pumpwerk 06). Installiert sind zwei trocken aufgestellte Kreiselpumpen, die das Abwasser über eine rund einen Kilometer lange Druckleitung zum Übergabepunkt in der Friedrich-Hebbel-Straße fördern.

Bei Starkregenereignissen reicht die Förderleistung der Pumpen nicht mehr aus. Eine Erhöhung der Förderleistung wäre möglich, ist aber ohne Querschnittserweiterung der Druckrohrleitung mit einer erheblichen Steigerung der Verluſthöhe verbunden.

Um die Förderaufgabe in Bezug auf Energieeffizienz zu optimieren, ist die Wirtschaftlichkeit des Neubaus einer Druckrohrleitung mit größerem Querschnitt – ggf. bei geänderter Trassenführung – zu untersuchen. Gleichzeitig ist zu prüfen, ob auch der Austausch der 40 Jahre alten Pumpen gegen moderne, effizientere Aggregate wirtschaftlich darstellbar ist.

Zur Klärung dieser Fragen hat die Stadt Schwentinental die Ingenieurgesellschaft Possel u. Partner GmbH & Co. KG mit der Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsberechnung beauftragt.

2 Grundlagen

2.1 Aktuelle Situation

Im Pumpwerk 06 sind zwei trocken aufgestellte Kreiselpumpen der Fa. KSB vom Typ KRK 150-37 installiert, die das Abwasser durch eine ca. 1.050 m lange Druckleitung aus Asbestzement mit einem Nenndurchmesser DN 125 zum Übergabeschacht Nr. 201180004 in der Friedrich-Hebbel-Straße fördern. Von dort läuft das Abwasser im Freigefälle zum Pumpwerk 01 (ehemaliges Kläranlagengelände). Das Pumpwerk 01 fördert direkt ins Hauptpumpwerk 03 (Gewerbegebiet Gutenbergstraße), von dem aus das Abwasser in das System der Landeshauptstadt Kiel weitergeleitet wird.

Die Pumpen im Pumpwerk 06 sind rund 40 Jahre alt und damit eigentlich seit langem jenseits ihrer wirtschaftlichen Nutzungsdauer (15 Jahre, s. LAWA-Leitlinien).

Gemäß den uns vorliegenden Unterlagen (Anlagenkennlinie der Fa. Werner Bahr vom 17.07.1979) beträgt die geodätische Förderhöhe rund 20 Meter.

Die Auslegungs-Gesamtförderhöhe betrug 25mWS, die Auslegungs-Fördermenge 28m³/h. Im Jahr 1979 wurde die Leistung der Pumpen durch Drehzahlerhöhung (von 1.160min⁻¹ auf 1.460min⁻¹) und Einbau stärkerer Motoren (vorher 11,5kW, nachher 30kW) auf 67m³/h bei der Gesamtförderhöhe von 37mWS erhöht (Angaben aus Anlagenkennlinie der Fa. Werner Bahr, s.o.).



2.2 Überprüfung des Status Quo

Gemäß unseren Berechnungen der Leitungsverluste liegt der Betriebspunkt nach Abgleich mit der KSB-Kennlinie für 1.450 min^{-1} „nur“ bei $55 \text{ m}^3/\text{h}$ und 37 mWS .

Hydraulische Berechnung von Rohrleitungen

Projekt:	PW Neuwührener Weg	Proj.-Nr.:	2013-029
Leitung von - bis:	PW 06 bis Schacht Nr. 201180005 in der Friedrich-Hebbel-Straße		
Eingangsdaten		Fluid-Dichte	
Medium:	Wasser	$\rho =$	999,702 kg/m ³
Temperatur des Mediums:	10 °C	Kinematische Viskosität	
Volumenstrom maximal:	55 m ³ /h	$\nu =$	1,30839 · 10 ⁻⁶ m ² /s
Volumenstrom minimal:	28 m ³ /h	Reynolds-Zahl	
Volumenstrom maximal:	15,28 L/s	$Re_{\max} =$	118.939 (Turbulente Strömung)
Volumenstrom minimal:	7,78 L/s	$Re_{\min} =$	60.551 (Turbulente Strömung)
Nenn Durchmesser:	125 mm	ζ - Faktor:	
Länge der Leitung:	1.050 m	$\zeta =$	0,13
Rauigkeitsbeiwert:	0,25 mm	$\zeta =$	0,1
Anzahl der 90°-Bögen:	2	$\zeta =$	0,08
Anzahl der 60°-Bögen:	0	$\zeta =$	0,055
Anzahl der 45°-Bögen:	0	$\zeta =$	0,045
Anzahl der 30°-Bögen:	0	$\zeta =$	0,03
Anzahl der 22,5°-Bögen:	0	$\zeta =$	0,35
Anzahl der 15°-Bögen:	0	$\zeta =$	0,8
Anz. d. Abzweigungen 45°:	0	$\zeta =$	0,25
Anz. d. Abzweigungen 90°:	0		
Anzahl der Ventile:	2		
Eintrittsverlustbeiwert:	1		
Austrittsverlustbeiwert:	1		
Ergebnisse			
Fließgeschwindigkeit:	$v_{\max} =$	1,245 m/s	$v_{\min} =$ 0,634 m/s
Rohrquerschnittsfläche:	$A =$	0,012 m ²	
Rohrreibungszahl:	$1/\lambda_{\max} =$	6,344017201	$1/\lambda_{\min} =$ 6,198160029
	$\lambda_{\max} =$	0,02484685	$\lambda_{\min} =$ 0,02603002
Rohrreibungsverluste:	$h_{v \max} =$	16,487 m	$h_{v \min} =$ 4,477 m
Krümmerverluste:	$h_{v \max} =$	0,021 m	$h_{v \min} =$ 0,005 m
Rohrabzweigungsverluste:	$h_{v \max} =$	0,000 m	$h_{v \min} =$ 0,000 m
Armaturenverluste:	$h_{v \max} =$	0,039 m	$h_{v \min} =$ 0,010 m
Eintrittsverluste:	$h_{v \max} =$	0,079 m	$h_{v \min} =$ 0,020 m
Austrittsverluste:	$h_{v \max} =$	0,079 m	$h_{v \min} =$ 0,020 m
Gesamtverluste:	$h_{v \max} =$	16,705 m	$h_{v \min} =$ 4,533 m
Gewählte Verlusthöhe:	$h_v =$	16,80 m	4,60 m
Geodätische Förderhöhe:	$H_{\text{geo}} =$	20,00 m	20,00 m
Erforderliche			
Gesamtförderhöhe:	$H_{\text{tot}} =$	37 m	25 m

Tabelle 2-1: Status Quo und Status vor Leistungserhöhung 1979/1980



Die in diesem Punkt erforderliche Pumpenleistung beträgt 16,3kW. Dieses Ergebnis korrespondiert gut mit dem Stromverbrauch in den letzten fünf Jahren.

Das bedeutet: Eine Pumpe kann gegenwärtig nicht 67m³/h, sondern maximal 55m³/h fördern. Im Parallelbetrieb steigt die Fördermenge nur unwesentlich auf 59m³/h (29,5m³/h pro Pumpe).

Die Nachrechnung zeigt auch, dass das Pumpwerk vor der Leistungserhöhung 1979/1980 (bei einer Fördermenge von 28m³/h) durchaus energieeffizient betrieben werden konnte.

3 Varianten

Allen Betrachtungen zugrunde gelegt wird die künftige Fördermenge im Einzelpumpenbetrieb von 70m³/h.

3.1 Grundsätzliche Anmerkungen

Wenn die Kapazität der Druckrohrleitung durch Vergrößerung des Leitungsquerschnitts erhöht wird, sinkt mit der Verlusthöhe die erforderliche Gesamtförderhöhe und infolgedessen der elektrische Leistungsbedarf der Pumpen. Das bedeutet, dass die vorhandenen Pumpen zumindest modifiziert werden müssen (durch Drehzahlabsenkung und kleinere Motoren), wenn sie nicht sogar komplett ausgetauscht werden sind.

Wird eine neue Druckrohrleitung mit größerem Durchmesser gebaut, ist zu prüfen, ob eine „günstigere“ Einleitungsstelle existiert, auf die bei dieser Gelegenheit umgeschwenkt werden kann.

3.2 Leistungssteigerung durch Drehzahlerhöhung

Aus den KSB-Dokumentationsunterlagen für die installierten Pumpen geht hervor, dass eine weitere Leistungssteigerung durch Drehzahlerhöhung auf 1.600min⁻¹ möglich wäre. Aus der zugehörigen KSB-Kennlinie ist zu entnehmen, dass dann, bei Betrieb einer Pumpe, eine Förderleistung von maximal 70m³/h erreicht werden kann. Da die Leitungsverluste im Quadrat zur Fließgeschwindigkeit steigen (1,584m/s statt 1,245m/s), stellt sich nach der Drehzahlerhöhung auf 1.600min⁻¹ eine Förderhöhe von 47mWS ein.

Allerdings sollten Fließgeschwindigkeiten über 1m/s in Druckrohrleitungen wegen der potentiell abrasiven Eigenschaften von Rohabwasser generell vermieden werden, um ein „Durchscheuern“ der Leitung, insbesondere im Bereich von Bögen, auszuschließen.

Gemäß KSB-Kennlinie ist für den Antrieb der Pumpen bei der Drehzahl von 1.600min⁻¹ eine Leistung von 25,74kW erforderlich. KSB empfiehlt unter diesen Umständen eine Reserve der Antriebsmaschinen von 15%, was eine Motorleistung von 29,6kW erforderlich macht. Die im Zuge der Leistungserhöhung 1979/1980 installierten Motoren verfügen über eine Leistung von 30kW und wären demnach also gerade noch ausreichend, so dass in dieser Variante nur die Riemenscheiben von Pumpen und Motoren und die Keilriemen ausgetauscht werden müssten.



Hydraulische Berechnung von Rohrleitungen

Projekt:	PW Neuwührener Weg	Proj.-Nr.:	2013-029
Leitung von - bis:	PW 06 bis Schacht Nr. 201180005 in der Friedrich-Hebbel-Straße		
Eingangsdaten		Fluid-Dichte	
Medium:	Wasser	$\rho =$	999,702 kg/m ³
Temperatur des Mediums:	10 °C	Kinematische Viskosität	
Volumenstrom maximal:	70 m³/h	$\nu =$	1,30839 · 10 ⁻⁶ m²/s
Volumenstrom minimal:	55 m³/h	Reynolds-Zahl	
Volumenstrom maximal:	19,44 L/s	$Re_{max} =$	151.377 (Turbulente Strömung)
Volumenstrom minimal:	15,28 L/s	$Re_{min} =$	118.939 (Turbulente Strömung)
Nennndurchmesser:	125 mm	ζ - Faktor: 1	
Länge der Leitung:	1.050 m	$\zeta =$	0,13
Rauigkeitsbeiwert:	0,25 mm	$\zeta =$	0,1
Anzahl der 90°-Bögen:	2	$\zeta =$	0,08
Anzahl der 60°-Bögen:	0	$\zeta =$	0,055
Anzahl der 45°-Bögen:	0	$\zeta =$	0,045
Anzahl der 30°-Bögen:	0	$\zeta =$	0,03
Anzahl der 22,5°-Bögen:	0	$\zeta =$	0,35
Anzahl der 15°-Bögen:	0	$\zeta =$	0,8
Anz. d. Abzweigungen 45°:	0	$\zeta =$	0,25
Anz. d. Abzweigungen 90°:	0		
Anzahl der Ventile:	2		
Eintrittsverlustbeiwert:	1		
Austrittsverlustbeiwert:	1		
Ergebnisse			
Fließgeschwindigkeit:	$v_{max} =$	1,584 m/s	$v_{min} =$ 1,245 m/s
Rohrquerschnittsfläche:	$A =$	0,012 m²	
Rohrreibungszahl:	$1/\lambda_{max} =$	6,381030689	$1/\lambda_{min} =$ 6,344017201
	$\lambda_{max} =$	0,02455943	$\lambda_{min} =$ 0,02484685
Rohrreibungsverluste:	$h_{v max} =$	26,398 m	$h_{v min} =$ 16,487 m
Krümmerverluste:	$h_{v max} =$	0,033 m	$h_{v min} =$ 0,021 m
Rohrabzweigverluste:	$h_{v max} =$	0,000 m	$h_{v min} =$ 0,000 m
Armaturenverluste:	$h_{v max} =$	0,064 m	$h_{v min} =$ 0,039 m
Eintrittsverluste:	$h_{v max} =$	0,128 m	$h_{v min} =$ 0,079 m
Austrittsverluste:	$h_{v max} =$	0,128 m	$h_{v min} =$ 0,079 m
Gesamtverluste:	$h_{v max} =$	26,751 m	$h_{v min} =$ 16,705 m
Gewählte Verlusthöhe:	$h_v =$	26,80 m	16,80 m
Geodätische Förderhöhe:	$H_{geo} =$	20,00 m	20,00 m
Erforderliche Gesamtförderhöhe:	$H_{tot} =$	47 m	37 m

Tabelle 3-1: Situation nach Drehzahlhöhung

Von einer energieeffizienten Förderung kann unter diesen Umständen allerdings nicht die Rede sein.

3.3 Auslegung Druckrohrleitung

Um Absetzungen und Inkrustationen in der Druckleitung zu vermeiden, muss eine Fließgeschwindigkeit erreicht werden, die eine „Selbstreinigung“ gewährleistet ($\geq 1 \text{ m/s}$ bei Steigleitungen,



≥0,7m/s bei horizontalen Leitungen). Andererseits sollte die Fließgeschwindigkeit 1m/s auch nicht wesentlich überschreiten, um Verschleiß und Förderhöhenverluste und damit die Förderenergiekosten möglichst gering zu halten.

Die maximale Fördermenge im Einzelpumpenbetrieb ist festgelegt auf 70m³/h. Wird für die neue Rohrleitung ein PE-Rohr SDR 17 mit einem Außendurchmesser von 180mm und einem Innendurchmesser von 158,6mm (Wandstärke 10,7mm) gewählt, erreicht die Fließgeschwindigkeit bei der maximalen Fördermenge 0,984m/s.

Die Rohrrauigkeit wird mit 0,01mm angenommen.

3.3.1 Neubau Druckrohrleitung / vorhandene Trasse

Der Bau einer neuen Druckrohrleitung mit größerem Innendurchmesser unter Beibehaltung der aktuellen Trassierung scheint unrealistisch. An diversen Stellen unterquert die vorhandene Leitung Privatgrundstücke, in anderen Bereichen hat sich in 40 Jahren ein Baumbestand entwickelt, der eine Genehmigung aus naturschutzrechtlicher Sicht, auch bei grabenloser Verlegung, problematisch erscheinen lässt.

Eine entsprechend angepasster Trassenverlauf müsste, anstatt den Dorfplatz zu unterqueren, der Dorfstraße weiter folgen bis zum Rönner Weg, durch Rönner Weg und Berliner Straße zum vorhandenen Schutzrohr unter der Bahnlinie und dann auf der Nordseite der B76 durch Gerhart-Hauptmann-Straße und Sonnenhöhe zum Übergabeschacht in der Friedrich-Hebbel-Straße führen.

Die Leitung in der angepassten Trasse ist mit einer Länge von rund 1.020 Metern sogar noch etwas kürzer als die vorhandene Druckrohrleitung (1.050m gemäß Anlagenkennlinie der Fa. Werner Bahr); an der geodätischen Förderhöhe (ca. 20m) ändert sich nichts.

Diese Leitung verläuft nahezu vollständig im öffentlichen Verkehrsraum (Straßen, Wege, Bürgersteige), könnte also unter Inkaufnahme damit verbundener Behinderungen auch in offener Bauweise hergestellt werden.



Hydraulische Berechnung von Rohrleitungen

Projekt:	PW Neuwührener Weg	Proj.-Nr.:	2013-029
Leitung von - bis:	PW 06 bis Schacht Nr. 201180005 in der Friedrich-Hebbel-Straße		
Eingangsdaten			
Medium:	Wasser		
Temperatur des Mediums:	10 °C		
Volumenstrom maximal:	70 m³/h		
Volumenstrom minimal:	42 m³/h		
Volumenstrom maximal:	19,44 L/s		
Volumenstrom minimal:	11,67 L/s		
Nenndurchmesser:	158,6 mm		
Länge der Leitung:	1.030 m		
Rauigkeitsbeiwert:	0,01 mm		
Anzahl der 90°-Bögen:	2		
Anzahl der 60°-Bögen:	0		
Anzahl der 45°-Bögen:	0		
Anzahl der 30°-Bögen:	0		
Anzahl der 22,5°-Bögen:	0		
Anzahl der 15°-Bögen:	0		
Anz. d. Abzweigungen 45°:	0		
Anz. d. Abzweigungen 90°:	1		
Anzahl der Ventile:	2		
Eintrittsverlustbeiwert:	1		
Austrittsverlustbeiwert:	1		
Ergebnisse			
Fließgeschwindigkeit:	$v_{max} =$	0,984 m/s	$v_{min} =$ 0,591 m/s
Rohrquerschnittsfläche:	$A =$	0,020 m²	
Rohrreibungszahl:	$1/\lambda_{max} =$	7,513589388	$1/\lambda_{min} =$ 7,145243881
	$\lambda_{max} =$	0,01771353	$\lambda_{min} =$ 0,01958691
Rohrreibungsverluste:	$h_{v max} =$	5,680 m	$h_{v min} =$ 2,261 m
Krümmerverluste:	$h_{v max} =$	0,013 m	$h_{v min} =$ 0,005 m
Rohrabzweigungsverluste:	$h_{v max} =$	0,039 m	$h_{v min} =$ 0,014 m
Armaturenverluste:	$h_{v max} =$	0,025 m	$h_{v min} =$ 0,009 m
Eintrittsverluste:	$h_{v max} =$	0,049 m	$h_{v min} =$ 0,018 m
Austrittsverluste:	$h_{v max} =$	0,049 m	$h_{v min} =$ 0,018 m
Gesamtverluste:	$h_{v max} =$	5,856 m	$h_{v min} =$ 2,324 m
Gewählte Verlusthöhe:	$h_v =$	5,90 m	2,40 m
Geodätische Förderhöhe:	$H_{geo} =$	20,00 m	20,00 m
Erforderliche			
Gesamtförderhöhe:	$H_{tot} =$	26 m	23 m

Tabelle 3-2: Situation nach Neubau der Druckrohrleitung in „alter“ Trasse

3.3.2 Alternative Trasse / Neubau Druckrohrleitung

Wirft man einen Blick auf den Schmutzwasser-Systemübersichtsplan (Nr. E.04.066.1 vom 28.10.2004), bietet sich als neuer Übergabepunkt bzw. Endpunkt der Druckrohrleitung von der Pumpstation 06 der Schacht Nr. 203195042 hinter der Sporthalle (am „Raisdorfer Holz“) an, in den auch die



Pumpstation „Raisdorfer Holz“ fördert. Von diesem Schacht führt eine Freigefälle-Steinzeugleitung DN 200 (durch ein Schutzrohr DN 600 als Unterquerung der Bahnlinie) zum Hauptpumpwerk 03 in der Gutenbergstraße.

Hydraulische Berechnung von Rohrleitungen

Projekt:	PW Neuwührener Weg	Proj.-Nr.:	2013-029
Leitung von - bis:	PW 06 bis Schacht Nr. 203195042 hinter der Tennishalle		

Eingangsdaten

Medium:	Wasser
Temperatur des Mediums:	10 °C
Volumenstrom maximal:	70 m³/h
Volumenstrom minimal:	42 m³/h
Volumenstrom maximal:	19,44 L/s
Volumenstrom minimal:	11,67 L/s
Nenn Durchmesser:	158,6 mm
Länge der Leitung:	1.000 m
Rauigkeitsbeiwert:	0,01 mm
Anzahl der 90°-Bögen:	2
Anzahl der 60°-Bögen:	0
Anzahl der 45°-Bögen:	0
Anzahl der 30°-Bögen:	0
Anzahl der 22,5°-Bögen:	0
Anzahl der 15°-Bögen:	0
Anz. d. Abzweigungen 45°:	0
Anz. d. Abzweigungen 90°:	1
Anzahl der Ventile:	2
Eintrittsverlustbeiwert:	1
Austrittsverlustbeiwert:	1

Fluid-Dichte

$$\rho = 999,702 \text{ kg/m}^3$$

Kinematische Viskosität

$$\nu = 1,30839 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Reynolds-Zahl

$$Re_{\max} = 119.307 \text{ (Turbulente Strömung)}$$

$$Re_{\min} = 71.584 \text{ (Turbulente Strömung)}$$

ζ - Faktor: 1

$$\zeta = 0,13$$

$$\zeta = 0,1$$

$$\zeta = 0,08$$

$$\zeta = 0,055$$

$$\zeta = 0,045$$

$$\zeta = 0,03$$

$$\zeta = 0,35$$

$$\zeta = 0,8$$

$$\zeta = 0,25$$

Ergebnisse

Fließgeschwindigkeit:	$v_{\max} =$	0,984 m/s	$v_{\min} =$	0,591 m/s
Rohrquerschnittsfläche:	$A =$	0,020 m²		
Rohrreibungszahl:	$1/\lambda_{\max} =$	7,513589388	$1/\lambda_{\min} =$	7,145243881
	$\lambda_{\max} =$	0,01771353	$\lambda_{\min} =$	0,01958691
Rohrreibungsverluste:	$h_{v \max} =$	5,514 m	$h_{v \min} =$	2,195 m
Krümmenverluste:	$h_{v \max} =$	0,013 m	$h_{v \min} =$	0,005 m
Rohrabzweigungsverluste:	$h_{v \max} =$	0,039 m	$h_{v \min} =$	0,014 m
Armaturenverluste:	$h_{v \max} =$	0,025 m	$h_{v \min} =$	0,009 m
Eintrittsverluste:	$h_{v \max} =$	0,049 m	$h_{v \min} =$	0,018 m
Austrittsverluste:	$h_{v \max} =$	0,049 m	$h_{v \min} =$	0,018 m
Gesamtverluste:	$h_{v \max} =$	5,690 m	$h_{v \min} =$	2,258 m
Gewählte Verlusthöhe:	$h_v =$	5,70 m		2,30 m
Geodätische Förderhöhe:	$H_{\text{geo}} =$	16,00 m		16,00 m
Erforderliche Gesamtförderhöhe:	$H_{\text{tot}} =$	22 m		19 m

Tabelle 3-3: Situation nach Neubau der Druckrohrleitung mit „neuem“ Einleitungspunkt

Aus der hydraulischen Zustandsklassifizierung (aus dem Erläuterungsbericht „Fortführung des Projektabwicklungsvertrages / Kanalkataster der Gemeinde Raisdorf“ vom 05.01.2005; siehe Anlage 1, Seite



9 u. 10) ist ersichtlich, dass die Freigefälleleitung zur Überleitung des Abwassers aus der Pumpstation 06 in die Pumpstation 03 ausreicht (Leistung bei Vollfüllung: $118\text{m}^3/\text{h}$, Belastung aus Einzugsgebiet $3,6\text{m}^3/\text{h}$).

Die Trasse führt von der Pumpstation 06 im ersten Abschnitt (ca. 530m) durch Ackerflächen bzw. an Ackerflächen entlang. Danach kreuzt sie den Rönner Weg und verläuft ca. 150m entlang der Straße „Raisdorfer Holz“. Anschließend biegt sie Richtung Nord-Nord-West ab bis zum Bahngelände und läuft Richtung Westen an diesem entlang bis zum Einleitungsschacht.

Die Gesamtlänge dieser Trasse beträgt rund 1.000 Meter, die geodätische Förderhöhe 16 Meter. An einem Hochpunkt an der Straße „Raisdorfer Holz“ muss ein Be- und Entlüftungsventil installiert werden.

Bei der vorstehend beschriebenen Trasse handelt es sich selbstverständlich nur um einen Vorschlag. Es sind zahlreiche Variationen denkbar; dabei wird der größte Teil jedes Mal durch unbebautes Gebiet führen. Genaue Festlegungen sind Gegenstand einer Entwurfs- und Genehmigungsplanung.

Die o.a. Verlegung des Einleitungspunktes hat außer den Erleichterungen bei der baulichen Herstellung der neuen Druckrohrleitung vor allem den Vorteil, dass das erneute Heben des Abwassers in der Pumpstation 01 eingespart wird. Gemäß den uns vorliegenden Unterlagen hat das Pumpwerk 01 eine Förderleistung von 50L/s ($180\text{m}^3/\text{h}$) bei einer Förderhöhe von 43mWS. Die Länge der Druckrohrleitung DN 250 beträgt 1.450m. Aus diesen Angaben lässt sich bei dem angenommen Gesamtwirkungsgrad von 40,5% ein elektrischer Leistungsbedarf von rund 51kW errechnen. Aus dem Pumpwerk 06 fließen $77.000\text{m}^3/\text{a}$ zu (Durchschnitt der letzten drei Jahre). Um das Abwasser im Pumpwerk 01 erneut zu heben, sind unter den o.a. Voraussetzungen rund 22.000kWh pro Jahr erforderlich, die bei der Verlegung des Einleitpunktes eingespart werden können.

4 Variantenvergleich

Wie bereits erwähnt, erlaubt die Vergrößerung des Druckleitungsquerschnitts Energieeinsparungen infolge der Reduzierung der erforderlichen Pumpen-Förderhöhe. Angesichts des Alters der installierten Pumpen ist eine Anpassung durch Drehzahlabsenkung und kleinere Motoren nicht sinnvoll. Darum wird im Folgenden mit dem **Austausch** der Pumpen gerechnet. Genauso wenig sinnvoll ist der Neubau der Druckrohrleitung ohne Umschwenken zu der o.a. neuen Einleitungsstelle.

Darum sind nur zwei Varianten miteinander zu vergleichen:

1. Drehzahlerhöhung der vorhandenen Pumpen und
2. Austausch der vorhandenen Pumpen und Neubau der Druckrohrleitung mit Wechsel des Einleitungspunktes.

Bei Variante 1 fallen nur sehr geringe Investitionskosten an. Die Förderaufgabe kann durch den bloßen Austausch von Riemenscheiben und Keilriemen erfüllt werden. Nicht abzuschätzen ist, wie lange



die Pumpen und Motoren noch ohne gravierende Reparaturen funktionieren werden, insbesondere unter der Voraussetzung, dass sie nach der Drehzahlerhöhung am obersten Limit arbeiten müssen.

Bei Variante 2 fallen erhebliche Investitionskosten an:

- für die neuen Pumpen,
- für die Anpassung der Verrohrung und der elektrotechnischen Ausrüstung in der Pumpstation und
- für den Neubau der Druckrohleitung.

5 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Als Verfahren für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird die dynamische Kostenvergleichsrechnung gewählt, basierend auf den „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ des LAWA¹-Unterausschusses „Wirtschaftlichkeitsfragen in der Wasserwirtschaft / KVR-Leitlinien“.

5.1 Grundlagen

Ziel der Kostenvergleichsrechnung ist die kostenmäßige Bewertung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen im Rahmen von **Investitionsentscheidungen**. Sie liefert damit allein eine Aussage über die **kostenmäßige Vorteilhaftigkeit** einer Alternative beim Vergleich unterschiedlicher Möglichkeiten zur Erbringung einer bestimmten Leistung. Es ist unzulässig, die daraus gewonnenen Daten unmittelbar für Finanzplanungen, Vermögensbewertungen und Gebühren- oder Beitragsrechnungen zu verwenden.

Die Kostenvergleichsrechnung unterliegt drei wesentlichen einschränkenden Bedingungen:

- Es existiert eine **normative Zielvorgabe**, d.h., eine bestimmte vorgegebene Leistung ist zwingend zu erbringen.
- Für die zur Debatte stehenden Alternativen besteht **Nutzengleichheit**; Ausnahme: die kostengünstigere Alternative weist zudem die größten Nutzenüberschüsse gegenüber den anderen Alternativen aus.
- **In Geldeinheiten nicht bewertbare negative Konsequenzen** (intangible Sozialkosten) dürfen keine Bedeutung haben bzw. müssen bei allen betrachteten Alternativen in gleicher Größenordnung auftreten, da sie in dieser Art von Vergleichsrechnung nicht berücksichtigt werden können.

¹ Länderarbeitsgemeinschaft Wasser



5.2 Methodik

Zunächst einmal muss geprüft werden, ob eine Aussage über die relative Wirtschaftlichkeit überhaupt eine ausreichende Entscheidungshilfe bei der Alternativenwahl liefern kann. Dies wird in der Regel dann der Fall sein, wenn bestimmte Leistungen aufgrund normativer Zielvorgaben zwingend zu erbringen sind. Ferner muss untersucht werden, ob die zu vergleichenden Alternativen hinsichtlich ihrer Nutzen und Sozialkosten äquivalent sind. Diese Voraussetzung wird häufig zu verneinen sein. Weisen die Alternativen eine unterschiedliche Leistungsbreite auf, kann der Kostenvergleich nur in dem Fall eine befriedigende Entscheidungshilfe liefern, bei dem die Alternative mit den geringsten Kosten gleichzeitig den höchsten Nutzenüberschuss gegenüber den Vergleichsalternativen aufweist.

5.2.1 Kostenermittlung

Für jede in die Untersuchung einzubeziehende Alternative sind alle im konkreten Einzelfall entscheidungsrelevanten Budgets und Kostenarten (Investitionskosten, laufende Kosten, Reinvestitionskosten) zu erfassen und in ihrer Größe zu ermitteln.

Als Ergebnis erhält man für jede Alternative die zugehörige Kostenreihe, die angibt, welche Kosten in den einzelnen Investitions- und Betriebsjahren anfallen.

5.2.2 Finanzmathematische Aufbereitung

Da die Kostenstruktur der Alternativen recht unterschiedlich sein kann (hohe Investitionskosten bei niedrigen laufenden Kosten $\Leftrightarrow$ niedrige Investitionskosten bei hohen laufenden Kosten) und damit die Kosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten können, müssen sie zum Zweck des Wertvergleichs zeitlich gewichtet werden. Das geschieht durch die finanzmathematische Aufbereitung.

Grundbegriffe

Die jeweils innerhalb eines Jahres anfallenden Kosten werden aufsummiert und an den Jahresenden verrechnet, so dass eine **jährliche Kostenreihe** entsteht, die vom Beginn der Investitionsphase bis zum Ende der Betriebsphase (Planungshorizont) läuft. Sie wird als **Untersuchungszeitraum** (Kalkulationsperiode) bezeichnet.

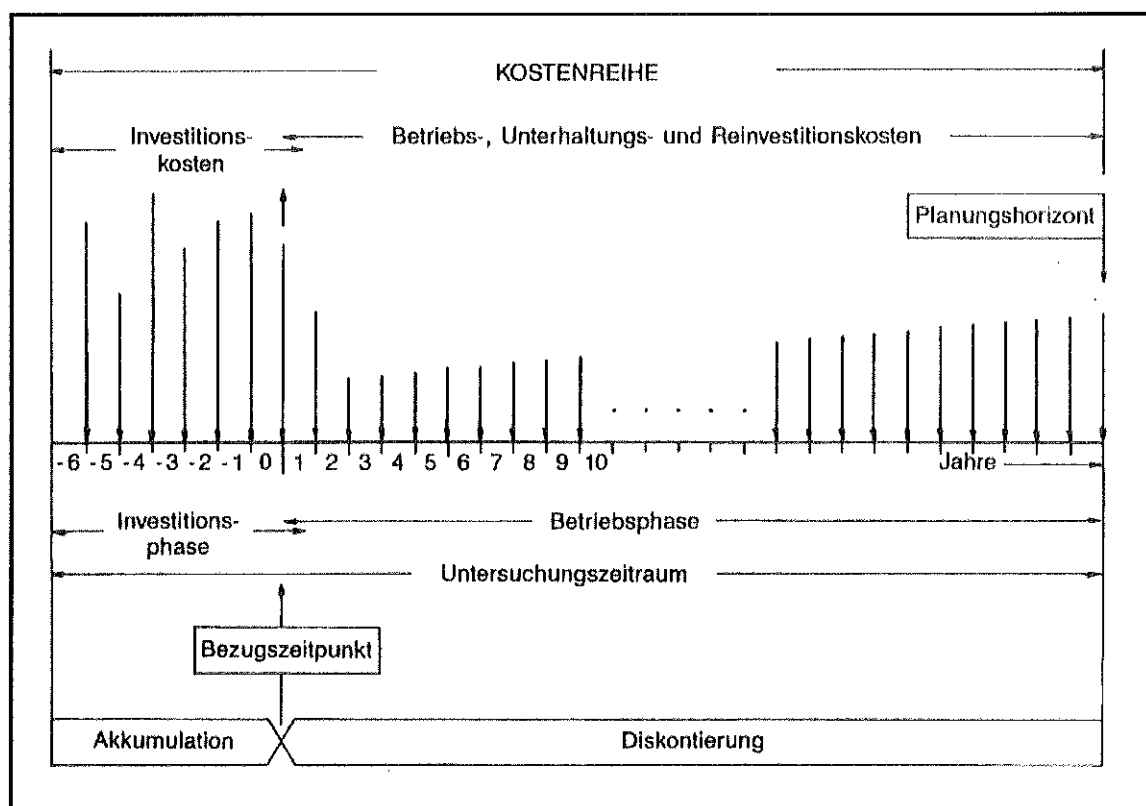


Abbildung 5-1: Veranschaulichung einiger Grundbegriffe zur zeitlichen Gewichtung von Kostengrößen

Da zu verschiedenen Zeitpunkten anfallende Kosten unterschiedliche Wertschätzungen besitzen, dürfen die Zahlungen einer Kostenreihe nicht ohne weiteres aufaddiert werden ($\Rightarrow$ **statische Vorgehensweise**). Vielmehr müssen sie zum Zweck des Vergleichs auf einen gemeinsamen Zeitpunkt (Bezugszeitpunkt) wertmäßig umgerechnet werden ($\Rightarrow$ **dynamische Vorgehensweise**). Den Wert einer nominalen Kostengröße bezogen auf einen Zeitpunkt ($\Rightarrow$ Bezugszeitpunkt) nennt man **Barwert**, den entsprechenden Wert einer Kostenreihe, die ein Projekt charakterisiert, den **Projektkostenbarwert**. Zeitlich vor dem Bezugszeitpunkt liegende Zahlungen sind mittels verschiedener Umrechnungsfaktoren **aufzuzinsen** (zu akkumulieren), später anfallende **abzuzinsen** (zu diskontieren).

In die finanzmathematischen Umrechnungsfaktoren gehen zwei Grundgrößen ein: Zum einen das Gewicht, in dem sich die Minder- bzw. Höhererschätzung zukünftiger bzw. vergangener Kostenwirkungen zum Bezugszeitpunkt niederschlägt, was durch den **Zinssatz** ausgedrückt wird. Zum anderen ist für das Ausmaß der Abweichung von Nominalkosten und zugehörigem Barwert der Zeitraum zwischen tatsächlichem Kostenanfall und Bezugszeitpunkt maßgeblich, über den akkumuliert bzw. diskontiert werden muss (**Zinszeitraum**). Damit verbunden ist die Frage nach der Länge des **Untersuchungszeitraums**.



Untersuchungszeitraum

Der Untersuchungszeitraum wird durch die wirtschaftliche Lebensdauer des Projekts bzw. der Projektteile begrenzt. Deren Ende ist erreicht, wenn die nach diesem Zeitpunkt anfallenden Kosten die dann noch erzielbaren Nutzen zu übersteigen beginnen.

Da sich ein Projekt aus verschiedenen Teilen mit unterschiedlich langer wirtschaftlicher Lebensdauer zusammensetzt, sind innerhalb des Untersuchungszeitraums einzelne Anlagenteile zu ersetzen und folglich die daraus resultierenden **Reinvestitionskosten** in den Kostenvergleich einzustellen. Zur kalkulatorischen Festlegung des Zeitpunktes von Ersatzinvestitionen wird auf die in den LAWA-Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen enthaltenen Angaben zur durchschnittlichen Lebensdauer wasserbaulicher Anlagenteile Bezug genommen.

Nach den o.a. Angaben beträgt z.B. der Standard-Untersuchungszeitraum für Abwasserbehandlungsanlagen 25 Jahre (ohne Investitionsphase).

Zinssatz

Der planungsbezogene gesamtwirtschaftliche Zinssatz ergibt sich aus den Produktionsmöglichkeiten der Zukunft in Verbindung mit den gesellschaftlichen Wertvorstellungen über die natürlichen Ressourcen und die Lebensbedingungen künftiger Generationen. Da er eine zukunftsbezogene Größe ist, können statistische Zahlenangaben zwar hilfreich, aber niemals für sich allein ausreichend sein. Seine Ausrichtung an den aktuellen Gegebenheiten des Kapitalmarktes verbietet sich bei der Langlebigkeit wasserwirtschaftlicher Projekte von selbst.

Für zukunftsorientierte Projektbewertungen müsste im Fall einer **eigenen** Ableitung eines realen Kalkulationszinssatzes eine Annahme für die im Untersuchungszeitraum zu erwartende Inflationsrate getroffen werden, was eine **reine Spekulation** darstellen würde. Stattdessen wird in den Leitlinien der LAWA empfohlen, den Kostenvergleichsrechnungen einen langfristigen **Zinssatz von real 3% p.a. als Standardwert** zugrunde zu legen. Für Empfindlichkeitsprüfungen (Untersuchung von Zinssatzänderungen auf die Rechenergebnisse) wird eine Bandbreite von 2% bis höchstens 5% p.a. empfohlen.

Zeitliche Gewichtung von Kostengrößen

Um Kostengrößen wertrichtig aufsummieren und damit die Kostenreihen zu vergleichender Alternativen gegenüberstellen zu können, müssen - wie bereits erwähnt - die über den Untersuchungszeitraum verteilten nominalen Kosten jeder Alternative auf den Bezugszeitpunkt umgerechnet werden. Die so erhaltenen (Projektkosten-) Barwerte sind direkt vergleichbar. In Bezug auf die finanzmathematischen Formeln wird unterschieden zwischen

- Einzelkosten
- jährlich wiederkehrenden gleichen Kosten (gleichförmige Kostenreihen)
- progressiv steigenden Kostenreihen



Zur Errechnung von Barwerten sind Kosten, die vor dem Bezugszeitpunkt anfallen, zu akkumulieren (aufzuzinsen).

Eine Kostengröße am Ende des (-n)-ten Jahres **vor dem Bezugszeitpunkt** wird derart aufgezinzt, dass ihr Nominalwert mit dem **AkkumulationsFAKtor** für eine Einzelzahlung

$$\text{AFAKE}(i;n) = (1 + i)^n$$

multipliziert wird, wobei i den Zinssatz (absolut, i.d.R. 3% = 0,03) und n die Zahl der Jahre zwischen Kostenanfall und Bezugszeitpunkt (Zinszeitraum) bezeichnen.

Zur Errechnung von Barwerten sind Kosten, die nach dem Bezugszeitpunkt anfallen, zu diskontieren (abzuzinsen).

Eine Kostengröße am Ende des n-ten Jahres **nach dem Bezugszeitpunkt** wird derart abgezinst, dass ihr Nominalwert mit dem **DiskontierungsFAKtor** für eine Einzelzahlung

$$\text{DFAKE}(i;n) = \frac{1}{(1+i)^n}$$

multipliziert wird, wobei i den Zinssatz (absolut, i.d.R. 3% = 0,03) und n die Zahl der Jahre zwischen Kostenanfall und Bezugszeitpunkt (Zinszeitraum) bezeichnen.

Um Investitionskosten in jährliche Kapitalkosten umrechnen zu können, sind zunächst ihre Barwerte zu ermitteln. Anschließend ist die Summe der Investitionskostenbarwerte mit dem **KapitalwiedergewinnungsFAKtor** zu multiplizieren

$$\text{KFAKR}(i;n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Der Barwert für vor dem Bezugszeitpunkt über n Jahre (Jahre 0 bis -[n-1]) jährlich wiederkehrende gleiche Kostengrößen wird durch Multiplikation mit dem **AkkumulationsFAKtor** für gleichförmige jährliche Kosten-Reihen

$$\text{AFAKR}(i;n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

ermittelt.

Der Barwert für nach dem Bezugszeitpunkt über n Jahre (Jahre 1 bis n) jährlich wiederkehrende gleiche Kostengrößen wird durch Multiplikation mit dem **DiskontierungsFAKtor** für gleichförmige jährliche Kosten-Reihen

$$\text{DFAKR}(i;n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

ermittelt.



Wird die Entwicklung einer Kostenreihe durch eine jährlich konstante Steigerungsrate r charakterisiert, spricht man von einer progressiv steigenden Reihe. Diese Kostenprogression lässt sich auf einfache Weise in den Umrechnungsfaktor zur Barwertberechnung integrieren. Der Barwert einer jährlich um r % steigenden Kostenreihe ergibt sich durch Multiplikation der Ursprungskostengröße (mit dem Preisstand zum Bezugszeitpunkt) mit dem DiskontierungsFAKtor für ReihenProgression

$$DFAKRP(r;i;n) = (1+r) \cdot \frac{(1+i)^n - (1+r)^n}{(i-r) \cdot (1+i)^n}$$

Führt man, wie im vorliegenden Fall, die Kostenvergleichsrechnung EDV-gestützt durch, reichen die ersten drei Formeln vollständig aus, da die für die Umrechnung von gleichförmigen und progressiv steigenden Reihen entwickelten Umrechnungsfaktoren dann keinen Geschwindigkeitsvorteil mehr erbringen.

5.3 Durchführung

Untersucht werden sollen hier die zwei Varianten der Abwasserüberleitung vom Pumpwerk 06 (Neuwührener Weg). Die erste Variante - im Folgenden als „Alternative 1“ bezeichnet - sieht die Drehzahlerhöhung der vorhandenen Pumpen vor.

Die zweite Variante - im Folgenden „Alternative 2“ genannt - sieht den Neubau der Druckrohrleitung und die Installation neuer Pumpen vor.

5.3.1 Eignungsprüfung

Hinsichtlich der zwingend zu erbringenden Leistung (Abwasserüberleitung) sind beide Varianten gleichwertig. Allerdings existieren monetär nicht bewertbare Vor- bzw. Nachteile:

- Es wird davon ausgegangen, dass die alten Pumpen (so wie die neuen) bis zum Zeitpunkt des ersten Austauschs nach 15 Jahren ohne gravierende Reparaturen funktionieren.
- Es wird davon ausgegangen, dass die alte Druckrohrleitung (so wie die neue) die nächsten 45 Jahre ohne gravierende Reparaturen funktioniert².
- Der deutlich geringere Bedarf an elektrischer Energie bei Alternative 2 hat einen monetär nicht bewertbaren Vorteil zur Folge, nämlich der Reduzierung von CO₂-Emissionen.

Die Vernachlässigung dieser Vor- und Nachteile schönt die Ergebnisse für die Alternative 1 und geht zu Lasten der Alternative 2. Darum kann die Kostenvergleichsrechnung im vorliegenden Fall nur dann

² Niemand vermag zu beurteilen, ob die alten Anlagenteile tatsächlich noch so lange genutzt werden können. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass daran im Beurteilungszeitraum Schäden auftreten, die wirtschaftliche Reparaturen nicht mehr zulassen. Dies ist eindeutig ein monetär nicht bewertbarer Nachteil der Alternative 1.



als Grundlage für eine Investitionsentscheidung dienen, wenn sich die Alternative 2 trotz der vorstehend erläuterten „Benachteiligungen“ als die wirtschaftlichere erweist.

5.3.2 Kostenermittlung

In der folgenden Tabelle sind die für beide Varianten gleich gewählten Rechnungsgrundlagen dargestellt:

Jahr der ersten Investition:	2013	
Bezugszeitpunkt (i.d.R. Jahr der Inbetriebnahme):	2014	
Beginn der Betriebsphase nach	1	Jahren
Untersuchungszeitraum (ohne Investitionsphase):	45	Jahre
Untersuchungszeitraum (mit Investitionsphase):	46	Jahre
Einheit der Bezugsmenge:	m ³ /a	
Realzinssatz:	3%	

Tabelle 5-1: Angaben zu den Berechnungsgrundlagen

Als Untersuchungszeitraum wurde entsprechend der wirtschaftlichen Nutzungsdauer einer (neuen) Druckrohrleitung eine Spanne von 45 Jahren gewählt. In dieser Zeit müssen die Pumpen zweimal ausgewechselt werden, da ihre wirtschaftliche Nutzungsdauer gemäß LAWA-Leitlinien „nur“ 15 Jahre beträgt.

Die Angaben zu den Kosten basieren auf einer vorläufigen Kostenschätzung. Für die Instandhaltung werden keine Kosten angesetzt; es wird davon ausgegangen, dass die Instandhaltungskosten für beide Alternativen gleich groß sind, also keine Auswirkung auf den Vergleich haben.

Bei den variablen Kosten werden nur die Stromkosten betrachtet. Für die Berechnung angesetzt wird ein Strompreis von 0,24€/kWh.

Im Durchschnitt der letzten drei Jahre wurden rund 77.000m³ Abwasser gefördert (errechnet aus den Zählerständen der Betriebsstundenzähler und der von IPP ermittelten Fördermenge von 55m³ pro Stunde und Pumpe).

Alternative 1: Die Investitionskosten sind vernachlässigbar. Der Stromverbrauch im Pumpwerk 06 steigt nach der Drehzahlerhöhung um 58% von 22.679kWh/a (Durchschnitt der letzten fünf Jahre) auf 35.813kWh/a (analog zur Leistungsbedarfssteigerung der Pumpen von 16,30kW aktuell auf 25,74kW künftig). Für die erneute Hebung des Abwassers im Pumpwerk 01 werden 22.000kWh/a angesetzt (anhand der Pumpendaten – Förderleistung 50L/s, Förderhöhe 43mWS – errechneter Leistungsbedarf: 51kW).



Alternative 2: Die Investitionskosten sind erheblich. Der Strombedarf der neuen Pumpen wird anhand des Auslegungsprogramms eines namhaften Pumpenherstellers ermittelt.

Kostenermittlung Alternative 1		Kostenermittlung Alternative 2	
Investitionskosten		Investitionskosten	
Riemenscheiben	2.600,00 €	Pumpen	10.600,00 €
Keilriemen	360,00 €	Verrohrung im Pumpwerk 06	4.500,00 €
Summe IK_{M-Technik}	2.960,00 €	Summe IK_{M-Technik}	15.100,00 €
IK _{Bau}	0,00 €	Druckrohrleitung	125.000,00 €
IK _{E-Technik}	0,00 €	Be- und Entlüftungsschacht	1.800,00 €
Gesamtsumme IK	2.960,00 €	Summe IK_{Bau}	126.800,00 €
Instandhaltungskosten		Instandhaltungskosten	
IHK _{M-Technik} (2% von IK _{M-Technik})	0,00 €	IHK _{M-Technik} (2% von IK _{M-Technik})	0,00 €
IHK _{Bau} (0,5% von IK _{Bau})	0,00 €	IHK _{Bau} (0,5% von IK _{Bau})	0,00 €
IHK _{E-Technik} (1,5% von IK _{E-Technik})	0,00 €	IHK _{E-Technik} (1,5% von IK _{E-Technik})	0,00 €
Summe	0,00 €	Summe	0,00 €
variable Kosten		variable Kosten	
Strompreis	0,24 €/kWh	Strompreis	0,24 €/kWh
zu fördernde Abwassermenge	77.000 m³/a	zu fördernde Abwassermenge	77.000 m³/a
künftiger Stromverbrauch PW 06	35.813 kWh/a	künftiger Stromverbrauch PW 06	14.998 kWh/a
Stromverbrauch PW 01	21.389 kWh/a		
spezifischer Energieverbrauch	0,74 kWh/m³	spezifischer Energieverbrauch	0,19 kWh/m³
spezifische Energiekosten	0,18 €/m³	spezifische Energiekosten	0,05 €/m³

Tabelle 5-2: Kostenermittlung

Wie bereits erwähnt, sind bei beiden Varianten die Pumpen im Beurteilungszeitraum zweimal auszu-tauschen (nach 15 und nach 30 Jahren). Zur Vereinfachung wird von gleich hohen Reinvestitionskosten ausgegangen und auf den Ansatz dieser Kosten komplett verzichtet.



5.3.3 Finanzmathematische Aufbereitung

<u>Projektkostenbarwertermittlung für Alternative 1</u>			
Real-Zinssatz:	3%		
Bezugsjahr:	2014		
Betrachtung bis:	2059		
Untersuchungszeitraum:	45 Jahre		
Projektkostenbarwert PKBW ₁ :			371.418 €
<u>Ermittlung der dynamischen Jahreskosten für Alternative 1</u>			
		Umrechnungsfaktor	Jahreskosten
Jahreskosten JK ₁ = 371.418 € x KFAKR (3 ; 45) =			15.148 €
<u>Ermittlung der spezifischen Kosten für Alternative 1</u>			
Abwassermenge (Mittelwert):	77.000	m ³ /a	
spezifische Kosten	SK ₁ :		0,1967 €

Tabelle 5-3: Projektkostenbarwert Alternative 1



<u>Projektkostenbarwertermittlung für Alternative 2</u>			
Real-Zinssatz:	3%		
Bezugsjahr:	2014		
Betrachtung bis:	2059		
Untersuchungszeitraum:	45 Jahre		
Projektkostenbarwert PKBW ₂ :			247.711 €

<u>Ermittlung der dynamischen Jahreskosten für Alternative 2</u>			
	Umrechnungsfaktor	Jahreskosten	
Jahreskosten JK ₂ =	247.711 € x KFAKR (3 ; 45) =		10.103 €

<u>Ermittlung der spezifischen Kosten für Alternative 2</u>			
Abwassermenge (Mittelwert):	77.000	m ³ /a	
spezifische Kosten	SK ₂ :		0,1312 €

Tabelle 5-4: Projektkostenbarwert Alternative 2

5.3.4 Kostengegenüberstellung

Die spezifischen Abwasserförderkosten ergeben sich unter Bezugnahme auf eine Jahresschmutzwassermenge von 77.000m³.

<u>Alternativenvergleich</u>			
PKBW ₁ - PKBW ₂ =	371.418 € -	247.711 € =	123.706 €
JK ₁ - JK ₂ =	15.148 € -	10.103 € =	5.045 €
SK ₁ - SK ₂ =	0,197 € -	0,131 € =	0,066 €

Tabelle 5-5: Vergleich der Alternativen

Das Ergebnis zeigt eindeutig, dass die Alternative 2 wirtschaftlicher ist. Das bedeutet gleichzeitig, dass die dynamische Kostenvergleichsrechnung im vorliegenden Fall – trotz der o.a. monetär nicht bewertbaren Vor- und Nachteile – als Grundlage für die Investitionsentscheidung dienen kann.



Wie bereits erwähnt, ist es unzulässig, die aus der Kostenvergleichsrechnung gewonnenen Daten unmittelbar für Finanzplanungen, Vermögensbewertungen und Gebühren- oder Beitragsrechnungen zu verwenden. So bedeutet z.B. die errechnete Differenz der Jahreskosten nicht, dass bei Realisierung von Alternative 2 jedes Jahr 5.045 € gespart werden können.

Die Differenz der Projektkostenbarwerte wird erstmals positiv für das Jahr 2030, d.h., 15 Jahre nach Realisierung der Alternative 2 übersteigt die laufende Summe der Stromkosten in Alternative 1 erstmalig die laufende Summe von Investitionskosten plus Stromkosten in Alternative 2.

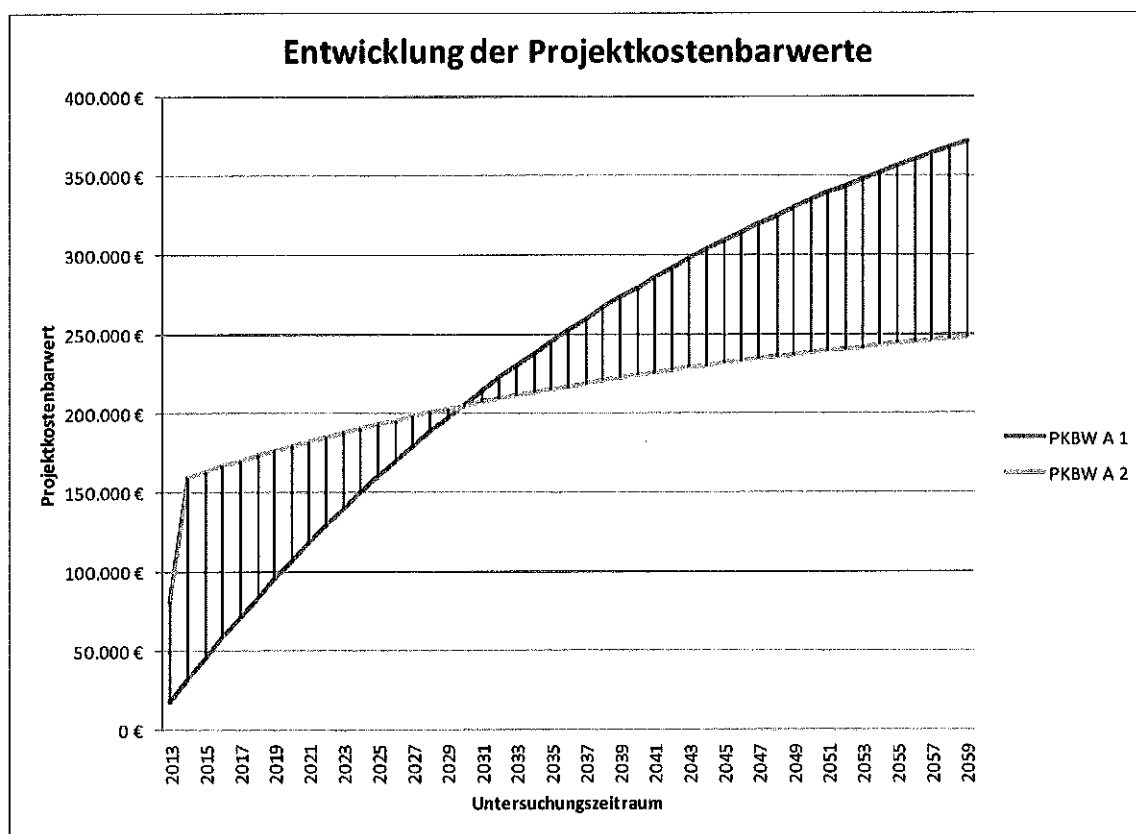


Abbildung 5-2: Entwicklung der Projektkostenbarwerte im Untersuchungszeitraum

5.3.5 Sensitivitätsanalyse

Hier sollen die Auswirkungen auf die Rechenergebnisse für Realzinssätze von 2% bis 5% sowie für eine Strompreissteigerungsrate von 1% pro Jahr untersucht werden.



Empfindlichkeitsprüfung				
Variation des Zinssatzes von 2% bis 5%				
	2%	3%	4%	5%
PKBW ₁	440.229 €	371.418 €	318.879 €	278.171 €
PKBW ₂	264.820 €	247.711 €	234.823 €	225.005 €
Differenz	175.409 €	123.706 €	84.055 €	53.166 €
JK ₁	14.928 €	15.148 €	15.390 €	15.650 €
JK ₂	8.980 €	10.103 €	11.333 €	12.659 €
Differenz	5.948 €	5.045 €	4.057 €	2.991 €
SK ₁	0,194 €	0,197 €	0,200 €	0,203 €
SK ₂	0,117 €	0,131 €	0,147 €	0,164 €
Differenz	0,077 €	0,066 €	0,053 €	0,039 €

Tabelle 5-6: Auswirkungen bei Variation des Zinssatzes

Die Variation des Zinssatzes wirkt sich bei dieser Kostenvergleichsrechnung nicht wesentlich auf die Bewertung aus. Es ist jedoch anzumerken, dass in der Kostenvergleichsrechnung niedrigere Zinssätze investitionskostenintensive Alternativen begünstigen, dagegen höhere Werte solche Projekte, bei denen die laufenden Kosten stärker zu Buche schlagen.

Alternativenvergleich			
Strompreissteigerungsrate 1% p.a.			
PKBW ₁ - PKBW ₂	446.213 € - 267.115 €	=	179.099 €
JK ₁ - JK ₂	18.199 € - 10.894 €	=	7.305 €
SK ₁ - SK ₂	0,197 € - 0,131 €	=	0,066 €

Tabelle 5-7: Auswirkungen einer Strompreissteigerungsrate von 1% p.a.

Erhebliche Auswirkungen haben Strompreissteigerungen. Seriösen Prognosen zufolge kann durchaus mit einer Steigerungsrate von einem Prozent pro Jahr gerechnet werden.

Bei diesem Szenario wird die Differenz der Projektkostenbarwerte bereits im Jahr 2029 positiv.

5.4 Gesamtbeurteilung

Der Kostenvergleich hat gezeigt, dass die Realisierung der Variante 2 günstiger als die der Variante 1 ist. Diese Aussage kann auch für die Variationen des Realzinssatzes in der Bandbreite von 2% bis 5% aufrechterhalten werden. Noch günstiger fällt der Vergleich bei der durchaus realistischen Strompreissteigerungsrate von einem Prozent pro Jahr aus.

Insbesondere angesichts des Alters der Pumpen im Pumpwerk „Neuwührener Weg“ und des Alters der Druckrohrleitung sind der Austausch der Aggregate und der Neubau der Leitung dringend zu empfehlen.



6 Zusammenfassung

Die Stadt Schwentinental hat die Ingenieurgesellschaft Possel u. Partner GmbH & Co. KG damit beauftragt, eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchzuführen, die als Grundlage für Investitionsentscheidungen im Zusammenhang mit dem Pumpwerk „Neuwührener Weg“ dienen kann.

Um die Förderaufgabe in Bezug auf Energieeffizienz zu optimieren, war die Wirtschaftlichkeit des Neubaus der Druckrohrleitung mit vergrößertem Querschnitt zu untersuchen. Gleichzeitig war zu prüfen, ob ein „günstigerer“ Einleitungspunkt gefunden werden kann und ob auch der Austausch der 40 Jahre alten Pumpen gegen moderne, effizientere Aggregate wirtschaftlich darstellbar ist.

Zur Klärung dieser Fragen wurde eine dynamische Kostenvergleichsrechnung basierend auf den einschlägigen LAWA-Leitlinien durchgeführt.

Miteinander verglichen wurden zwei Varianten:

1. Drehzahlerhöhung der vorhandenen Pumpen und
2. Austausch der vorhandenen Pumpen und Neubau der Druckrohrleitung mit Wechsel des Einleitungspunktes.

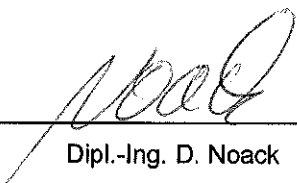
Die Kostenvergleichsrechnung hat gezeigt, dass die Realisierung der Variante 2 wirtschaftlicher als die Realisierung der Variante 1 ist. Auch hinsichtlich der monetär nicht bewertbaren Vor- und Nachteile ist Variante 2 deutlich günstiger.

Entscheidet sich die Stadt Schwentinental für Variante 2, ist in der dann zu beauftragenden Planung auch der Umschluss der Druckrohrleitung von Pumpwerk 11 an das System 6 in der Bahnhofstraße zu prüfen. Dies würde zu einer Entlastung des Pumpwerks 04 um maximal 3L/s ($\approx 11\text{m}^3/\text{h}$) führen.

7 Unterschriften

IPP Ingenieurgesellschaft Possel u. Partner GmbH & Co. KG

Kiel, den 03.04.2013


Dipl.-Ing. D. Noack
(Projektleiter)


H.-H. Blüdnorn-van Bruinehsen
(Sachbearbeiter)