

# Studiengang Systemtechnik

## Vertiefungsrichtung Design and Materials

# Diplom 2008

*Christoph Franzen*

*Messvorrichtung für den  
Leckagestrom einer Pumpe*

|         |                |
|---------|----------------|
| Dozent  | Michel Dubas   |
| Experte | Alain Sauthier |

# Messvorrichtung für den Leckagestrom einer Pumpe

---

|                  |  |
|------------------|--|
| Autor            | Christoph Franzen                                    |
| Dozent           | Michel Dubas   |
| Experte          | Alain Sauthier – HYDRO Exploitation SA               |
| Auftraggeber     | Grande Dixence SA Sion<br>HYDRO Exploitation SA Sion |
| Ansprechpersonen | Alain Sauthier, Pierre-André Délez                   |
| Ort, Datum       | Sitten, 21.11.2008                                   |

Confidentiel / Vertraulich

☐ oui / ja ☒ non / nein

|  |  |   |
|--|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> FSI<br><input type="checkbox"/> FTV  | Année académique / Studienjahr<br><b>2007/2008</b>   | No PS / Nr. PS<br><b>dm/2008/8</b>  |
| Mandant / Auftraggeber<br><input type="checkbox"/> HES—SO Valais<br><input checked="" type="checkbox"/> Industrie<br><b>Grande Dixence SA</b><br><b>HYDRO Exploitation SA</b><br><input type="checkbox"/> Ecole hôte | Etudiant / Student<br><b>Christoph Franzen</b>   | Lieu d'exécution / Ausführungsort<br><input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais<br><input type="checkbox"/> Industrie<br><input type="checkbox"/> Ecole hôte |
| Professeur / Dozent<br><b>Michel Dubas</b>   | Expert / Experte (données complètes)<br><b>Alain Sauthier - HYDRO Exploitation SA, 1950 Sion</b> |   |

Titre / Titel

**Messvorrichtung für den Leakagestrom einer Pumpe**

Description et Objectifs / Beschreibung und Ziele

Die Pumpen des Kraftwerkes Z'Mutt besitzen Labyrinthdichtungen mit Wolframkarbid-Beschichtung, weil die Sand-abrasion beträchtlich ist. Die Unterhaltskosten bzw. die Kosten wegen Lagerschäden bei zu grossen Leakage-strömen legen den Einsatz von Hilfsmitteln nahe, um den Entscheid über den Ersatz dieser Teile zu unterstützen (wissensbasierte Instandhaltung). Zu diesem Zweck bildet die Messung der Leakageströme eine hervorragende Kenngrösse.

Heute wird diese Messung von Hand durchgeführt, indem die Füllzeit eines Behälters gemessen wird. Diese Vorgehensweise ist unbefriedigend. Deshalb soll sie durch eine automatische oder halbautomatische Messvorrichtung ersetzt werden. In der Semesterarbeit sind die erfolgversprechendsten und auf dem Markt erhältlichen Durchflussmessmethoden gesucht worden und miteinander verglichen worden; nach dieser Studie stehen vier Methoden im Vordergrund, darunter speziell die magnetisch-induktive.

Ziele der Diplomarbeit sind nun:

- Wahl der bestgeeigneten Messmethode in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber
- Auslegung und Konstruktion der notwendigen ergänzenden Bauteile (Rohre, Aufhängungen, Abstützungen, Ventile, ...), um das Messgerät im zur Verfügung stehenden Raum einbauen und den Leakagestrom der Pumpgruppen 1 und 2 in Z'Mutt messen zu können
- Temporärer oder permanenter Anschluss des Messgerätes an das Datenübertragungs- bzw. an das Überwachungssystem des Kraftwerkes, sodass die Messwerte im Steuerraum abgelesen und gespeichert werden können und ggf. Alarm auslösen.

Signature ou visa / Unterschrift oder Visum

Resp. de la filière

Leiter des Studieng.: .....

Etudiant/Student: .....

Délais / Termine

Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags:  
01.09.2008Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts:  
21.11.2008, 12:00Exposition publique / Ausstellung Diplomarbeiten:  
28.11.2008Défense orale / Mündliche Verfechtung:  
semaine/Woche 49

## Appareil de mesure du débit de fuite d'une pompe

### *Messvorrichtung für den Leckagestrom einer Pumpe*

#### Objectif

L'objectif de ce travail était d'abord de choisir la méthode la mieux adaptée à la mesure du débit de fuite. Ensuite vinrent la conception et la construction des composants supplémentaires nécessaires pour pouvoir installer l'appareil de mesure dans l'espace disponible. Puis il a fallu réfléchir à la façon de réaliser la suspension et les appuis de l'appareil de mesure, ainsi qu'au réglage et à la commande de l'appareil. De plus, la faisabilité de la programmation du logiciel d'enregistrement et de visualisation des données de mesure a dû être étudiée.

#### Résultats

Les versions 11 à 13 ont été conçues et présentées en tant que propositions de solution définitives. Le calcul précis des pertes de pression dans le pire des cas susceptibles de survenir a été effectué. Les avantages et les inconvénients de chaque version ont été exposés et les coûts des investissements nécessaires ont été calculés. En outre, pour chaque version, les différents travaux supplémentaires nécessaires ont été précisés. Pour les versions 11 à 13 ont été conçus des systèmes d'alimentation et de trop-plein différents pour chaque variante.

#### Mots-clés

Mesure du débit, débit de fuite, station de pompage, pertes de pression, automatisation

#### Ziel

*Ziel dieser Aufgabe war zuerst die Wahl der bestgeeigneten Methode zur Messung des Leckagestromes. Dann kam die Auslegung und Konstruktion der notwendigen ergänzenden Bauteile, um das Messgerät im zur Verfügung stehenden Raum einbauen zu können. Dazu kamen die Abklärungsaufgaben bezüglich der Aufhängungs- und Abstützungsarbeiten sowie der Regelung und Steuerung des Messvorrichtung. Ferner musste die Machbarkeit der Programmierung der Software zur Speicherung und Visualisierung der Messdaten untersucht werden.*

#### Resultate

*Als endgültige Lösungsvorschläge wurden die Versionen 11 – 13 konzipiert und vorgestellt. Die akkurate Berechnung der Druckverluste für den schlimmsten auftretenden Fall wurde durchgeführt. Die Vor- und Nachteile jeder Version wurden aufgezeigt und die erforderlichen Investitionskosten berechnet. Ausserdem wurden die für jede Version variierenden zusätzlich notwendigen Arbeiten erläutert. Für die Versionen 11 – 13 wurden die für jede Variante unterschiedlichen Zu- und Überläufe konzipiert.*

#### Schlüsselwörter

*Durchflussmessung, Leckagestrom, Pumpwerk, Druckverluste, Automation*

## Inhaltsverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Einleitung / Zielsetzung .....            | 8  |
| 2   | Wahl der bestgeeigneten Messmethode ..... | 10 |
| 3   | Pflichtenheft und Methodik .....          | 12 |
| 4   | Entwicklungsphasen.....                   | 14 |
| 4.1 | Rohrwerkstoff / Schweissverfahren .....   | 14 |
| 4.2 | Konstruktionseinschränkungen .....        | 18 |
| 4.3 | Lösungsweg .....                          | 23 |
| 4.4 | Endgültige Lösung.....                    | 39 |
| 4.5 | Druckverluste .....                       | 59 |
| 5   | Schlussfolgerung / Quintessenz .....      | 63 |
|     | Quellen .....                             | 66 |
|     | Liste der Anhänge .....                   | 71 |



## Abkürzungen / Bezeichnungen

|           |  |  |
|-----------|--|--|
| $A$       | $[m^2]$  | <i>Querschnittsfläche</i>  |
| $C$       | $[m/s]$  | <i>Strömungsgeschwindigkeit</i>  |
| $\bar{C}$ | $[m/s] = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$                                    | <i>mittlere Strömungsgeschwindigkeit</i>   |
| $D$       | $[m]$  | <i>Durchmesser</i>   |
| $DN$      | $[mm]$   | <i>Nenndurchmesser eines Rohres<br/>(<math>\approx</math> Innendurchmesser eines Stahl-<br/>oder Gussrohres, = Aussendurch-<br/>messer eines Kunststoffrohres)</i> |
| $e$       | $[m]$  | <i>Rohrwanddicke</i>   |
| $EPDM$    |  | <i>Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk<br/>(weiches Dichtungsmaterial)</i>   |
| $g$       | $[m/s^2] = 9.81 \frac{m}{s^2}$   | <i>Erdbeschleunigung</i>   |
| $H$       | $[mWS]$  | <i>Nettogefälle</i>  |
| $K$       | $[m]$  | <i>äquivalente Sandrauigkeit</i>   |
| $L$       | $[m]$  | <i>(Rohr-) Länge</i>   |
| $p$       | $[N/m^2]$  | <i>statischer Druck</i>  |
| $P$       | $[W]$  | <i>mechanische Leistung</i>  |
| $P_{el}$  | $[W]$  | <i>elektrische Leistung</i>  |
| $P_h$     | $[W]$  | <i>hydraulische Leistung</i>   |
| $PE$      |  | <i>Polyethylen</i>   |
| $PN$      | $[bar]$  | <i>Nenndruck eines Rohres</i>  |
| $PP$      |  | <i>Polypropylen</i>  |
| $PVC$     |  | <i>Polyvinylchlorid</i>  |
| $PVC - C$ |  | <i>Polyvinylchlorid nachchloriert</i>  |
| $PVC - U$ |  | <i>Polyvinylchlorid weichmacherfrei</i>  |
| $Q$       | $[m^3/s]$  | <i>Volumenstrom, Durchfluss</i>  |
| $Re$      | $[-] = \frac{\rho \cdot \bar{C} \cdot D}{\mu} = \frac{\bar{C} \cdot D}{\nu}$ | <i>Reynolds-Zahl</i>   |

|              |             |                                  |                                      |
|--------------|-------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| $S$          | $[-]$       | $= \frac{DN - e}{2 \cdot e}$     | <i>Rohrserie für Kunststoffrohre</i> |
| $SDR$        | $[-]$       | $= \frac{DN}{e} = 2 \cdot S + 1$ | <i>Standard Dimension Ratio</i>      |
| $TG$         |             |                                  | <i>Temperguss</i>                    |
| $U$          | $[m]$       |                                  | <i>benetzter Umfang</i>              |
| $V$          | $[m^3]$     |                                  | <i>Volumen</i>                       |
| $\Delta p_v$ | $[Pa; bar]$ |                                  | <i>Druckabfall</i>                   |
| $\Delta t$   | $[s]$       |                                  | <i>Zeitintervall</i>                 |
| $\zeta$      | $[-]$       |                                  | <i>Widerstandszahl</i>               |
| $\eta$       | $[-]$       |                                  | <i>Wirkungsgrad</i>                  |
| $\lambda$    | $[-]$       |                                  | <i>Rohrreibungszahl</i>              |
| $\mu$        | $[Ns/m^2]$  |                                  | <i>dynamische Viskosität</i>         |
| $\nu$        | $[m^2/s]$   | $= \frac{\mu}{\rho}$             | <i>kinematische Viskosität</i>       |
| $\rho$       | $[kg/m^3]$  |                                  | <i>Dichte des Wassers</i>            |

## 1 Einleitung / Zielsetzung

Die vorliegende Diplomarbeit schliesst nahtlos an die Semesterarbeit [1.12] an. Das Ziel dieser Semesterarbeit, die von der Firma HYDRO Exploitation SA Sion in Auftrag gegeben wurde, bestand in der Wahl der bestgeeigneten Durchflussmessmethode, um die Messgenauigkeit und die Zuverlässigkeit der Durchflussmessung des sedimentbehafteten und drucklosen Spaltwassers der Pumpen im Kraftwerk z' Mutt zu erhöhen und so rechtzeitig den Entscheid über den Ersatz der Labyrinthdichtungen zu fällen. Das Resultat der Arbeit war die Aufzeigung der drei erfolgversprechendsten und vorteilhaftesten Durchflussmessmethoden. Namentlich sind dies die Messeinrichtung mit magnetisch-induktivem Durchflussmesser MID für gefüllte Rohrleitungen, die Messeinrichtung mit einem Überfallwehr oder mit einer Venturi-Messrinne (Ultraschallniveaumessung) und die Messung des Wasserniveaus in einem Füllbehälter (Prinzip Volumen / Zeit). Es wird an dieser Stelle nicht näher auf diese Messverfahren eingegangen und auf Kapitel 6 [1.12] verwiesen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit, die von den Firmen Grande Dixence SA und HYDRO Exploitation SA (beide in Sitten ansässig) eingereicht und in Auftrag gegeben wurde, besteht darin, in Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen der Auftraggeber die bestgeeignete Durchflussmessmethode aus den drei vorgeschlagenen auszuwählen. Ist die Wahl gefällt, muss die Auslegung und Konstruktion der notwendigen ergänzenden Bauteile (Rohre, Aufhängungen, Abstützungen, Ventile, Armaturen, ...) erfolgen, um das Messgerät im zur Verfügung stehenden Raum einbauen und den Leckagestrom der Pumpgruppen 1 und 2 messen zu können. Der Entscheid zur Messung des Leckagestromes der Pumpgruppen 1 und 2 wurde bewusst gefällt, da die Platzverhältnisse und der Zugang zu den aktuellen Messeinrichtungen (siehe Kap. 3.2) stark eingeschränkt sind. Wird die neue Messvorrichtung für diese beiden Pumpgruppen konzipiert, wird es anschliessend kein Problem sein, diese für die zwei zusätzlichen Pumpgruppen 3 und 4 zu adaptieren. Bei den Pumpgruppen 3 und 4 fällt der vorhandene Platz viel grosszügiger aus (siehe Kap. 4.2 Abbildungen 6 – 10). Einzig müssen die Zu- und Überläufe der jeweiligen Gruppen an die bestehenden Rohrleitungen angepasst werden.

Zunächst soll eine von Hand bediente, nur ein paar Mal im Jahr benutzte Vorrichtung konzipiert werden. Ein temporärer oder permanenter Anschluss des Messgerätes und der zusätzlich benötigten automatischen Armaturen an das Datenübertragungs- bzw. das Überwachungssystem des Kraftwerkes soll möglich sein, so dass die Messwerte im Steuerraum abgelesen und gespeichert werden und ggf. Alarm auslösen können; dies wird in einer späteren Phase untersucht.

Im Folgenden wird zuerst die bestgeeignete Messmethode gewählt. Anschliessend wird das entsprechende Pflichtenheft erstellt und die Methodik präziser beschrieben. Danach werden die Entwicklungsphasen mit ihren verschiedenen Lösungsvorschlägen erläutert. Dabei werden auch die Ausschlussgründe der Lösungsvorschläge erörtert, die Konstruktionseinschränkungen aufgezeigt und erklärt und die Beweggründe zur Rohrwerkstoffwahl dargelegt. Folgend werden die endgültige Lösung mit



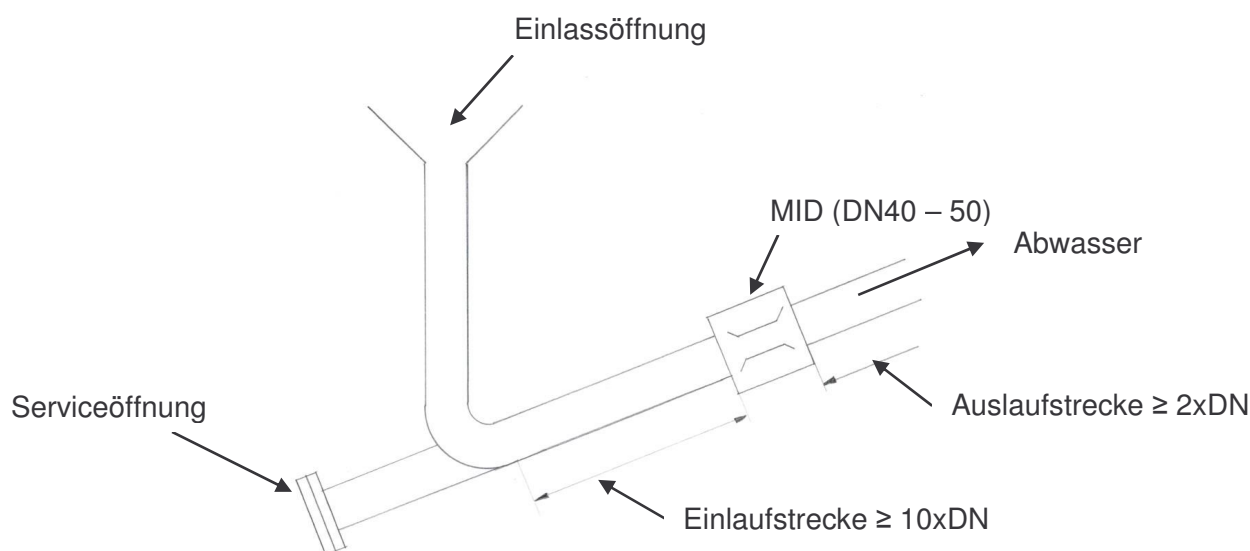
ihren Armaturen vorgestellt und die dazugehörigen Druckverlustberechnungen geschildert.

Auf Grund der Tatsache, dass das Pflichtenheft während der Diplomarbeit kontinuierlich geändert und erweitert wurde (von einer manuellen zu einer vollautomatischen Messvorrichtung; zusätzliche Absperrklappen, um die Reparaturarbeiten zu vereinfachen), werden im Kap. 4.4 drei endgültige Lösungsvorschläge (Versionen 11 - 13) gezeigt. Die Versionen 11 & 12 verfügen über einen einzigen magnetisch-induktiven Durchflussmesser, der das auf der Antriebsseite (AS) oder der Nichtantriebsseite (NS) einer Pumpe abwechselnd periodisch messen kann; die Version 13 verfügt über zwei magnetisch-induktive Durchflussmesser, die das AS- und NS-Spaltwasser einer Pumpe separat und kontinuierlich messen können.

## 2 Wahl der bestgeeigneten Messmethode

Die Verantwortlichen der Auftraggeber konnten sich während der Sommermonate intensiv mit den drei vorgeschlagenen Durchflussmessmethoden befassen und die entsprechenden Vor- und Nachteile gründlich abwägen. Schlussendlich wurde die Messeinrichtung mit magnetisch-induktiver Durchflussmessung MID für gefüllte Rohrleitungen von beiden Parteien (Auftraggeber und Auftragnehmer) vorgeschlagen und ausgewählt. Diese Messmethode wird an dieser Stelle nochmals kurz erläutert.

Die fehlerfreie Arbeitsweise des MID wird mit einer dükerähnlichen Einbauweise oder Steigleitung gewährleistet, wodurch eine gefüllte Rohrleitung garantiert wird (Abbildung 1). Ist das Wasserniveau am Einlass der Messstation höher als am Auslass, so ist das zu messende Spaltwasser selbstfliessend, sofern die Druckverluste in den Rohrleitungen nicht zu hoch ausfallen. Das bedeutet, dass das Spaltwasser ohne Fremdeinwirkung durch die Messstation fliesst.



**Abb. 1: Festinstallierte MID-Durchflussmessstation**

Diese festinstallierte Durchflussmessstation wird anstelle der bisherigen Mess- bzw. Überlaufbecken installiert und verfügt über eine Serviceöffnung, um die Sedimente, welche im Spaltwasser vorhanden sind, in regelmässigen Zeitabständen aus den Rohrleitungen zu entfernen. Der als Trichter wirkende Einlassbecher ist auf die Atmosphäre geöffnet, um einen Rückstau des Spaltwassers zu vermeiden. Würde das Spaltwasser aus irgendeinem Grund nicht mehr abfliessen können und eine Stauung nach sich ziehen, würde das Spaltwasserniveau steigen und in den Hydraulikkreislauf der Pumpe gelangen. Dies würde verheerende Schäden an den Pumpen, kostenintensive Reparaturen und das Abschalten der Pumpen bewirken.

Die Rohrkonstruktion wird aus handelsüblichen PE-Rohren gefertigt, um das Gewicht der Messeinrichtung möglichst tief zu halten und günstige Kosten zu erreichen. Die für die Beruhigung des Fluids benötigten Ein- und Auslaufstrecken fallen kurz aus, da

der Nenndurchmesser DN des MID je nach Hersteller zwischen 40 und 50 mm variiert. Somit fallen die Ausmasse der Messstation eher klein und dadurch platzsparend aus. Der Nenndurchmesser der Rohrkonstruktion muss mit demjenigen des MID nicht übereinstimmen (Vorbeugen zu hoher Druckverluste). Mittels entsprechender Anpassungsstücke (Konfusor und Diffusor) kann von einem grösseren DN (Rohrleitung) auf einen kleineren DN (MID) reduziert werden, natürlich unter Berücksichtigung der vom Hersteller angegebenen Ein- und Auslaufstrecken. Die dadurch erreichte Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit verbessert die Messgenauigkeit. Das benötigte elektrische Messsignal zur Überwachung des Durchflusses wird vom Gerät geliefert und kann übertragen werden (4 – 20 mA).

| Vorteile MID (gefüllte Rohrleitung)  | Nachteile MID (gefüllte Rohrleitung)  |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Messgenauigkeit</li> <li>- kompakte Bauweise (kurze Ein- und Auslaufstrecken)</li> <li>- kontinuierliche Messung</li> <li>- billige Messkonstruktion</li> <li>- berührungslose Messung ohne Einengung oder Hindernis im Rohrquerschnitt (kein Festsetzen der Messsensoren)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preise von SFr. 2'236.- bis 7'515.65</li> <li>- Wartungsunterhalt</li> <li>- 4 benötigte Durchflussmesser → relativ hohe Investitionskosten</li> </ul> |

**Tab. 1: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile des MID**

### 3 Pflichtenheft und Methodik

Das Pflichtenheft für die bestgeeignete Durchflussmessvorrichtung umfasst folgende Punkte:

- Messvorrichtung soll für die Pumpgruppen 1 und 2 konzipiert werden
- Messvorrichtung soll für das Spaltwasser auf der Antriebsseite AS und Nicht-antriebsseite NS der einzelnen Pumpgruppen eingesetzt werden → eine Messstation für eine Pumpgruppe, d.h. ein MID pro Pumpgruppe (Gebrauch von Absperrventilen und Bypass-Leitungen)
- Messvorrichtung darf eine gewisse Grösse nicht überschreiten und muss in ihre Einzelteile (ausser der geschweissten PE-Rohre) zerlegbar sein, da der Zugang zur Montagestelle durch diverse bereits bestehende Rohrleitungen und durch den engen Zugangsstollen beeinträchtigt wird
- Vorhandenes Platzangebot soll möglichst effizient ausgenutzt werden
- Vorhandene Rohrleitungen sollen in die neue Messvorrichtung integriert werden
- Rohrkonstruktion soll abrasionsbeständig und leicht sein
- Minimaler Wartungsaufwand
- Sicherheitsvorkehrung gegen Überflutung und gegen Rückstau des Spaltwassers (Eindringen in den Hydraulikölkreislauf)
- Alle benötigten Armaturen und Geräte müssen nachträglich umrüstbar sein, um die Messung zu automatisieren
- Zu messender Durchfluss  $Q = 0.2 - 5.0 \text{ l/s}$  ( $0.72 - 18 \text{ m}^3/\text{h}$ )
- Messgenauigkeit soll mindestens  $\pm 2 - 3\%$  betragen
- Messeinrichtung soll ein elektrisches Ausgangssignal generieren (Automation)
- Steuerung / Telematik der Geräte (Automation) muss möglich sein
- Alle Arbeiten befassen sich mit den Pumpgruppen 1 und 2

Um das Hauptziel, die Messvorrichtung für die Durchflussmessung des sedimentbelasteten und drucklosen Spaltwassers, zu realisieren, müssen als erster Arbeitsschritt die vorhandenen Rohrleitungen und das vorhandene Platzangebot begutachtet werden. Dies zieht einen Besuch des Kraftwerkes z' Mutt nach sich. Dieser Besuch eignet sich hervorragend dazu, den bestehenden Messraum und die bereits vorhandenen Rohrleitungen auszumessen und zu protokollieren. Mit diesen Daten können anschliessend der Messraum und die dazugehörigen Rohrleitungen auf einem 3D-CAD-Programm [5.1] gezeichnet werden, um die Lösungsvorschläge visuell in den Messraum zu integrieren und ggf. Änderungen und Anpassungen zu bewerkstelligen. Anschliessend müssen die auf dem Markt vorhandenen und renommiertesten Rohrlieferanten sowie ihre Angebotsvielfalt von PE-Formstücken, PE-Fittings und Duktulgussrohrelementen miteinander verglichen werden, um sich für den oder die Lieferanten zu entscheiden, die für das vorliegende Problem die besten Voraussetzungen besitzen und die erforderlichen Fittings, Rohre, Armaturen und Formstücke liefern können. Ebenfalls muss entschieden werden, bei welchem Lieferanten der magnetisch-induktive Durchflussmesser und bei welchem mögliche Armaturen, wie z.B. Absperrventile oder Kugelhähne bezogen werden. Natürlich wäre es ein ent-

scheidender Vorteil, das benötigte Material von einem einzigen Lieferanten zu beziehen, um administrativen Mehraufwand (und die dadurch entstehenden Mehrkosten) zu vermeiden. Wie es sich zeigen wird, ist dies allerdings nicht möglich, da nicht alle Anbieter alle benötigten Teile in ihrem Angebot haben.

Nach den diversen Entscheidungen und Entschlüssen über das Rohrmaterial sowie über den Lieferanten des MID und der Armaturen können in einem weiteren Arbeitsschritt mögliche Messvorrichtungen mit dem Zeichnungsprogramm [5.1] realisiert werden. Wie bereits erwähnt, werden diese anschliessend in den visuellen Messraum integriert, um ggf. Anpassungen vornehmen zu können. Zur Überprüfung der Funktions- und Arbeitsweise (selbstfliessendes Spaltwasser ohne Fremdeinwirkung) werden die Druckverluste des jeweiligen Lösungsvorschlages berechnet. Wird der endgültige Lösungsvorschlag erreicht, können die Anpassungsarbeiten der bereits bestehenden Zuläufe und der zur Sicherheit gegen eine Überflutung des Messraumes benötigten Überläufe (Bypass-Leitung) in Angriff genommen werden.

In einem abschliessenden Arbeitsschritt wird die Problematik mit der Signalübertragung der Durchflussmessung und der Steuerung der Armaturen, welche vom Steuerraum getätigt werden muss, mit den Verantwortlichen des Informatikdienstes der Firma HYDRO Exploitation SA besprochen.

## 4 Entwicklungsphasen

### 4.1 Rohrwerkstoff / Schweissverfahren

#### *Rohrwerkstoff*

Bevor das Konstruieren der Messvorrichtung in Angriff genommen werden kann, muss Klarheit über den verwendeten Rohrwerkstoff herrschen. Im industriellen Rohrleitungsbau werden je nach Verwendungs- und Einsatzzweck verschiedene Werkstoffe verwendet. Für die Realisierung der Messvorrichtung stehen zwei Rohrwerkstoffe zur Verfügung. Zum einen der auf Eisen (Fe) basierenden Temper- oder Duktillguss und zum anderen der Massenkunststoff Polyethylen (PE), der der Familie der teilkristallinen Thermoplaste angehört. Diese zwei grundverschiedenen Werkstoffe werden neben dem Polyvinylchlorid (PVC) und seinen chemisch veränderten Strukturen (PVC-U, PVC-C) und dem Polypropylen (PP) am häufigsten für den industriellen Rohrleitungsbau verwendet. In den letzten Jahren wurde der Temperguss (TG) vom Polyethylen (PE) als Rohrwerkstoff immer mehr abgelöst. Die grösste Verbreitung im Rohrleitungsbau hat PE für den Bau von erdverlegten Gas- und Wasserleitungen. Das tiefere Gewicht bei gleichen Abmessungen, die gute Abrasionsbeständigkeit, die Korrosionsbeständigkeit, die einfache Herstellung der Rohre (Extrusion), die Rohmaterialpreise und die ausgezeichnete Flexibilität sind die Gründe für diese Entwicklung.

Die Werkstoffauswahl beruht auf diesen positiven Eigenschaften und die Entscheidung fiel zu Gunsten des Materials Polyethylen (PE) aus. Die Verwirklichung der Messvorrichtung wird folglich mit PE-Rohren realisiert, um das Gewicht und die Materialkosten niedrig zu halten. Es existieren mehrere Anbieter dieser Produkte, welche sich auf dem Markt über die Jahre hinweg etabliert haben. Dies sind unter anderem die Firmen Georg Fischer +GF+ [2.2], Geberit [2.4] und plastag [2.5]. Werden die Produktangebote dieser Anbieter eingesehen und miteinander verglichen, fällt auf, dass die Firma +GF+ das breiteste Angebot an Formstücken, Fittings und Rohren in allen erdenklichen Variationen, Formen und Durchmessern in ihrem Sortiment aufweist. Um die Messvorrichtung zu realisieren und in den knapp bemessenen Platz zu integrieren, benötigt es eine grosse Anzahl an Formstücken, Bögen und Rohrleitungselementen, die nicht alle identische Durchmesser aufweisen dürfen. Daher ist die Firma +GF+ mit ihrem breiten Produktangebot prädestiniert, um als Lieferant der benötigten Teile zu fungieren. Alle Abmessungen der Rohrleitungen, Formstücke und Bögen in den folgenden Zeichnungen stammen aus [2.2.1] – [2.2.3].

#### *Allgemeines zum Werkstoff Polyethylen*

Die genaue Bezeichnung des Werkstoffes, welcher von +GF+ angeboten wird, ist PE100. Es wird dabei auch von einem PE-Typ der dritten Generation gesprochen. Die Typen werden bezüglich ihrer Zeitstandfestigkeit in PE80 (zweite Generation) und PE100 klassifiziert.



Die modernen PE100-Typen haben eine bimodale Molmassenverteilung (zwei unterschiedliche Arten von Molekülketten [kurze und lange]). Diese thermoplastischen Kunststoffe besitzen einen hohen Widerstand gegen schnelle und langsame Rissfortpflanzung, eine hohe Zugfestigkeit, eine gute Verarbeitbarkeit, sehr hohe Schlagzähigkeit (auch bei tiefen Temperaturen) und sind unempfindlich gegenüber Oberflächenschäden mit anschliessender Schlagbeanspruchung. PE ist beständig gegen Säuren, Laugen, Lösungsmittel, Alkohol und Wasser. Fette und Öle quellen den Werkstoff nur wenig an. Ebenfalls weist PE eine exzellente Beständigkeit gegen abrasive Beanspruchung auf. Aus diesem Grund werden PE-Rohrleitungen in zahlreichen Anwendungen zur Beförderung von Feststoffen und feststoffhaltigen Medien gebraucht. Der Temperaturbereich, in dem PE-Rohre verwendet werden kann, erstreckt sich von  $-50^{\circ}\text{C}$  bis  $+60^{\circ}\text{C}$ . Der Werkstoff brennt nach Wegnahme der Flamme eigenständig und ohne zu russen weiter. Ebenso zeigt sich PE als ausgezeichnete Isolator (vgl. [2.2.8]).

| Eigenschaft            | Einheit  | Wert        |
|------------------------|--|-------------|
| Dichte $\rho$          | $\left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right]$              | 0.95        |
| Streckspannung         | $\left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right]$              | 25          |
| E-Modul                | $\left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right]$              | 900         |
| Wärmeausdehnungskoeff. | $\left[\frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right]$ | 0.15 – 0.20 |
| Wärmeleitfähigkeit     | $\left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right]$  | 0.38        |
| Wasseraufnahme         | $[\%]$   | 0.01 – 0.04 |
| Kristallitschmelzpunkt | $[^{\circ}\text{C}]$                                     | 130         |

**Tab. 2: Eigenschaften von PE (Richtwerte) [2.2.8]**

### **Schweisverfahren**

Im Kunststoffrohrleitungsbau kommen überwiegend die folgenden drei Verbindungstechniken

- Schweisverbindung
- Mechanische Verbindung
- Klebeverbindung

zum Einsatz, wobei innerhalb der Schweisverbindung noch zwischen drei Schweisverfahren unterschieden wird. Dies sind namentlich

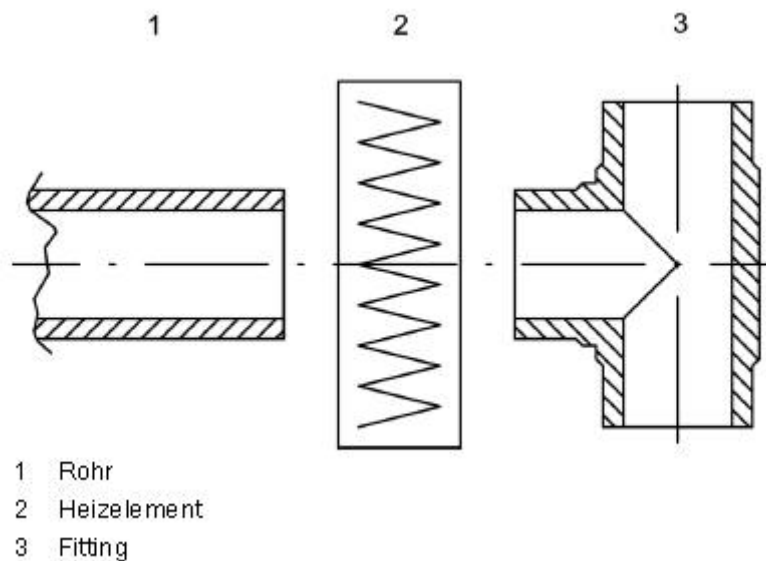
- das Heizelement-Stumpfschweissen
- das Heizelement-Muffenschweissen und
- das Heizwendelschweissen (Elektroschweissen).

Eine Schweissung von Kunststoffen ist eine stoffschlüssige, unlösbare Verbindung von zwei gleichartigen Werkstoffen, bei denen ohne Verwendung von Zusatzmaterialien Kunststoffe zusammengefügt werden können. Die werkstoffgerechte, geeignete, rationelle, wirtschaftliche und effiziente Verbindungsmethode für die zu realisierende Messvorrichtung, welche aus PE-Rohren besteht, ist das Schweissen. Für die Auswahl des entsprechenden Schweissverfahrens sind einerseits das Anwendungsgebiet (Haustechnik, Versorgung, Industrie) und andererseits der ausgewählte Werkstoff zu berücksichtigen. Das Heizelement-Muffenschweissen und das Heizwendelschweissen, auch Elektroschweissen genannt, werden vorzugsweise im warm- und kaltgehenden Trinkwasserrohrleitungsbau verwendet. Daher wird das Heizelement-Stumpfschweissen vorgeschlagen, um die Rohrkonstruktion der Messvorrichtung zu verwirklichen. Auf die zwei ausgesonderten Schweissverfahren wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Bei Bedarf können in [1.10], [1.11], [2.2.12], [2.2.13] und [2.2.14] weitere Informationen eingesehen werden.

Der Prozessablauf einer Schweissverbindung sieht folgendermassen aus: Beim Anwärmen der zu fügenden Teile werden die vom festen Kunststoff eng anliegenden Molekülketten aufgeschmolzen und verzweigt. Die Werkstofftemperatur erfährt einen Anstieg. Nach Ablauf der Aufwärmzeit werden beide Stücke unverzüglich zusammengefügt. Dadurch baut sich in der Schweisszone der Fügedruck auf. Aufgrund dieses entstehenden Fügedruckes beginnen sich die aufgeschmolzenen Molekülketten zu verbinden. Während der Abkühlphase entsteht somit eine feste, unlösbare und stoffschlüssige Verbindung zwischen den beiden Kunststoffteilen, die nach dem gänzlichen Abkühlen ihre vollständige Festigkeit erhält. Jede Schweissverbindung ist von drei wichtigen Faktoren abhängig: der Zeit, der Temperatur und dem Fügedruck. Werden diese drei Faktoren nicht berücksichtigt und die Verarbeitungshinweise missachtet oder nicht eingehalten, können fehlerhafte Schweissverbindungen auftreten, die Mehrkosten und Mehraufwand bedeuten können.

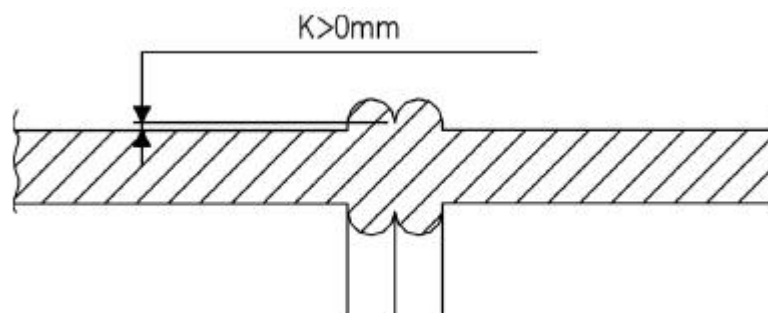
### *Heizelement-Stumpfschweissen*

Beim Heizelement-Stumpfschweissen (Abb. 2) werden die zusammenzufügenden Werkstücke (Fittings, Formstücke, Rohre, Armaturen) im Schweissbereich auf die gewünschte Schweisstemperatur von  $210 \pm 10^\circ\text{C}$  aufgeheizt und unter Druck ohne Verwendung von Zusatzwerkstoffen verschweisst. Dabei resultiert eine homogene Verbindung. Die Schweissqualität, die im Druckrohrleitungsbau erforderlich ist, ist sehr stark von der Einhaltung aller Schweissparameter (Planparallelität der Rohr- und Formteilenden, Versatz der beiden zu fügenden Enden, Wanddickenunterschiede, Angleich- und Fügedruck, Anwärm- und Fügezeit und Heizelementtemperatur) abhängig. Heizelement-Stumpfschweissungen im Druckrohrleitungsbau (Wasser- und Gasversorgung) müssen mit einer Schweissmaschine (siehe [1.11]) durchgeführt werden, um die Schweissparameter einhalten zu können. Im Abwasserbereich, in welchen auch die zu realisierende Messvorrichtung fällt, kann eine derartige Schweissung durchaus manuell ausgeführt werden. Die Anforderungen an die Qualität der Schweissung sind in diesem Anwendungsgebiet wesentlich geringer als im Druckrohrleitungsbau.



**Abb. 2: Prinzip des Heizelement-Stumpfschweiss-Verfahrens [2.2.13]**

Nach dem Fügen muss eine Schweissnahtkontrolle durchgeführt werden. Diese Kontrolle umfasst eine optische Prüfung der durch die Schweissung entstandenen Wulst. Diese muss radial eine Mindesthöhe  $K > 0$  (Abbildung 3) sowohl auf dem äusseren wie auch auf dem inneren Umfang der Rohrleitung aufweisen. Diese in das Rohr hineinragende Wulst ist strömungstechnisch nicht optimal, da es zu Druckverlusten kommen kann. Ferner können sich Sedimente an diesen Wülsten ablagern. Abhilfe für dieses Problem bringt die manuelle Nachbearbeitung dieser Schweisswülste. Diese können mit Hilfe eines geeigneten Werkzeugs, wie z.B. einer Feile, auf ein Minimum abgetragen werden. Natürlich unter Berücksichtigung des K-Wertes.



**Abb. 3: Wulstausbildung nach der Schweissung [2.2.13]**

## **4.2 Konstruktionseinschränkungen (Raumhöhe, bestehende Rohrleitungen, zur Verfügung stehender Platz)**

Eines der grössten Probleme der Realisierung der Messvorrichtung sind die Konstruktionseinschränkungen, welche durch das vorhandene Platzangebot, die bereits bestehenden Rohrleitungen und die Ausmasse des Zugangsstollens auftreten. In diesem Abschnitt werden diese Einschränkungen kurz erläutert.

Aufgrund der Tatsache, dass der Zugangsstollen in seinen Ausmassen (siehe Abbildungen 4 und 5) sehr klein ausfällt und zusätzlich bestehende Rohrleitungen den Zugang zur Montagestelle der Messvorrichtung erschweren (siehe Abbildung 6), muss die Messvorrichtung in ihre Einzelteile zerlegbar sein (ausser den verschweissten PE-Rohren). Dadurch wird verhindert, dass die komplett zusammengebaute Messvorrichtung durch diesen engen Gang gezwängt werden muss und bei allfälligen Reparaturarbeiten die vollständige Apparatur ausgewechselt werden muss.



**Abb. 4: Zugangsstollen zu den Durchflussmessstellen der Pumpgruppen 1 und 2**





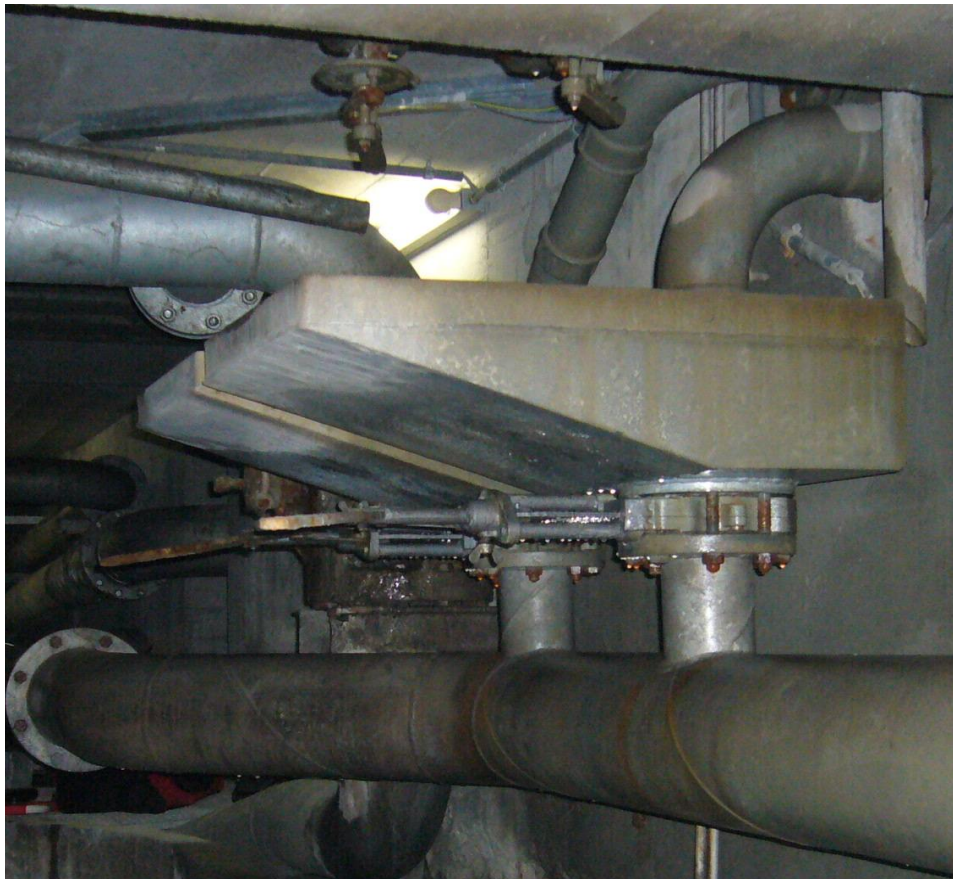
**Abb. 5: Zugangsstollen zu den Messstellen der Pumpgruppen 1 und 2**



**Abb. 6: Bestehende Rohrleitungen bei der Messstelle der Pumpgruppe 1**

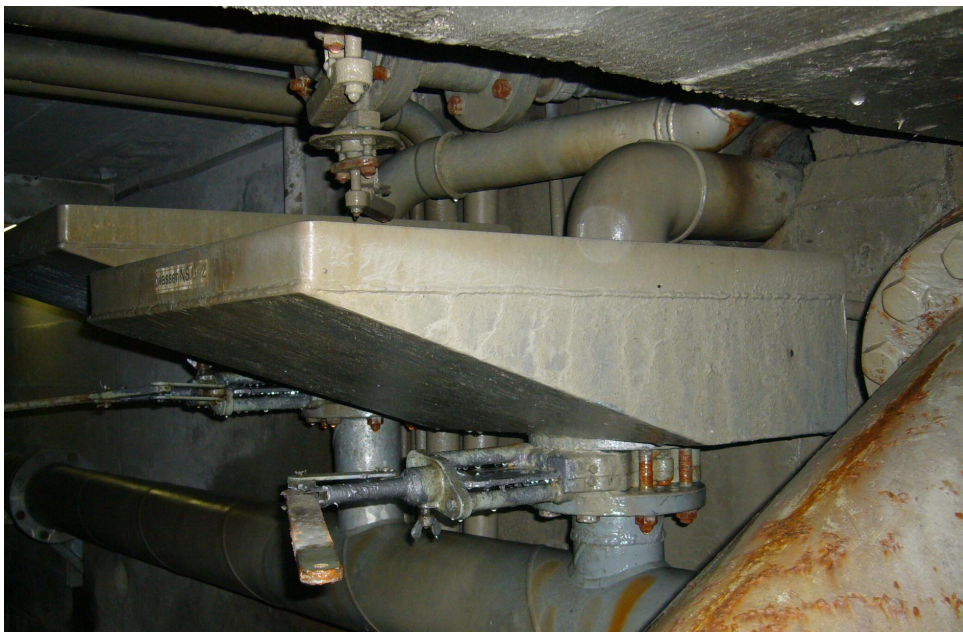


Die Realisierung der Messvorrichtung für die Pumpgruppe 2 ist komplexer und komplizierter als diejenige für die Pumpgruppe 1. Einer der Gründe liegt in den bereits existierenden AS- und NS-Rohrleitungen (Antriebs- und Nichtantriebsseite), welche durch die Wand hindurch von der Pumpe zur Messvorrichtung geführt werden. Die Rohrführung der Leitung des NS-Spaltwassers der Pumpgruppe 2 liegt tiefer als diejenige der Pumpgruppe 1. Dies ist anhand der vorhandenen Flanschstutzen der NS-Wasserbecken der Pumpgruppen 1 und 2 (rechts auf den Abbildungen 7 und 8) gut erkennbar. Der Flanschstutzen der NS-Leitung der Gruppe 2 fällt viel kürzer aus als derjenige der Pumpgruppe 1. Daher fällt die vorhandene Höhendifferenz zwischen der Austrittsöffnung des NS-Wassers und der Abwasserleitung viel kleiner aus. Dies ist ebenfalls als eine Konstruktionseinschränkung anzusehen. Diese Leitungen, welche das Spaltwasser durch den Boden und die Stützwände des Kraftwerkes zur Messvorrichtung führen, können nicht verschoben werden und sollten nur ausserhalb der Wand geändert werden. Sie bestehen aus Stahl und müssen in die zukünftige Messvorrichtung integriert werden. Die anderen vorhandenen Rohrleitungen, die mit der Messung des Spaltwassers nichts zu tun haben, sollten wenn möglich nicht abgeändert werden, d.h. allfällige Modifikationen dieser Rohrleitungen sollten unterlassen werden.



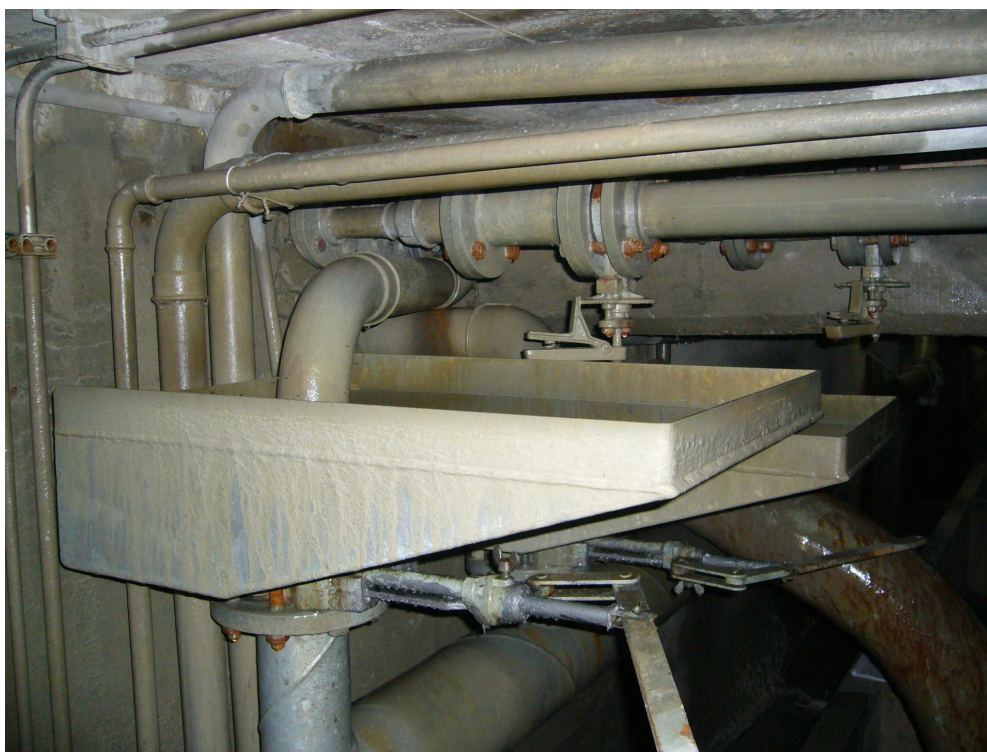
**Abb. 7: Flanschstutzen inkl. Messbecken und bestehende Rohrleitungen Pumpgruppe 1**





**Abb. 8: Flanschstutzen inkl. Messbecken und bestehende Rohrleitungen Pumpgruppe 2**

Ebenso ist auf diesen zwei Bildern das Abwasserrohr, welches das gemessene Spaltwasser aller vier Pumpgruppen in das Freie befördert, gut zu erkennen. Auf diesem sind bei jeder Messstation die bereits erwähnten Flanschstutzen aufgeschweisst, welche ebenfalls in die zukünftige Messstation integriert werden sollten.



**Abb. 9: Messbecken mit vorhandenen Rohrleitungen Pumpgruppe 2**

Auf der Abbildung 9 sind nochmals die bestehenden Rohrleitungen der Pumpgruppe 2 ersichtlich, welche die Bedingungen für die Auslegung der neuen Messvorrichtung stellen.

Im Vergleich zu den Abbildungen 6 – 9, auf denen die Platzverhältnisse zur Spaltwassermessung der Pumpgruppen 1 und 2 zu sehen sind, sind die entsprechenden Platzverhältnisse der Pumpgruppen 3 und 4 auf Abbildung 10 ersichtlich.

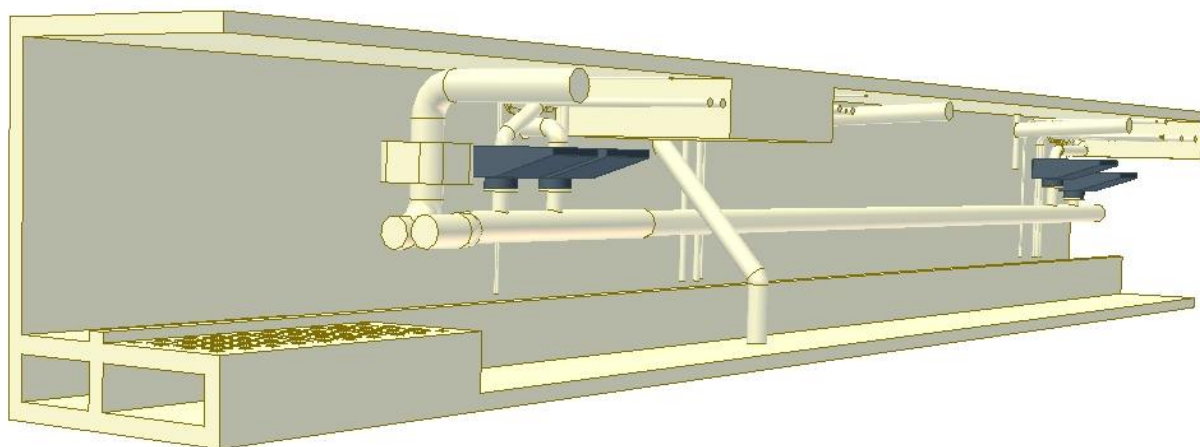


**Abb. 10: Platzverhältnisse zur Spaltwassermessung der Pumpgruppe 4**



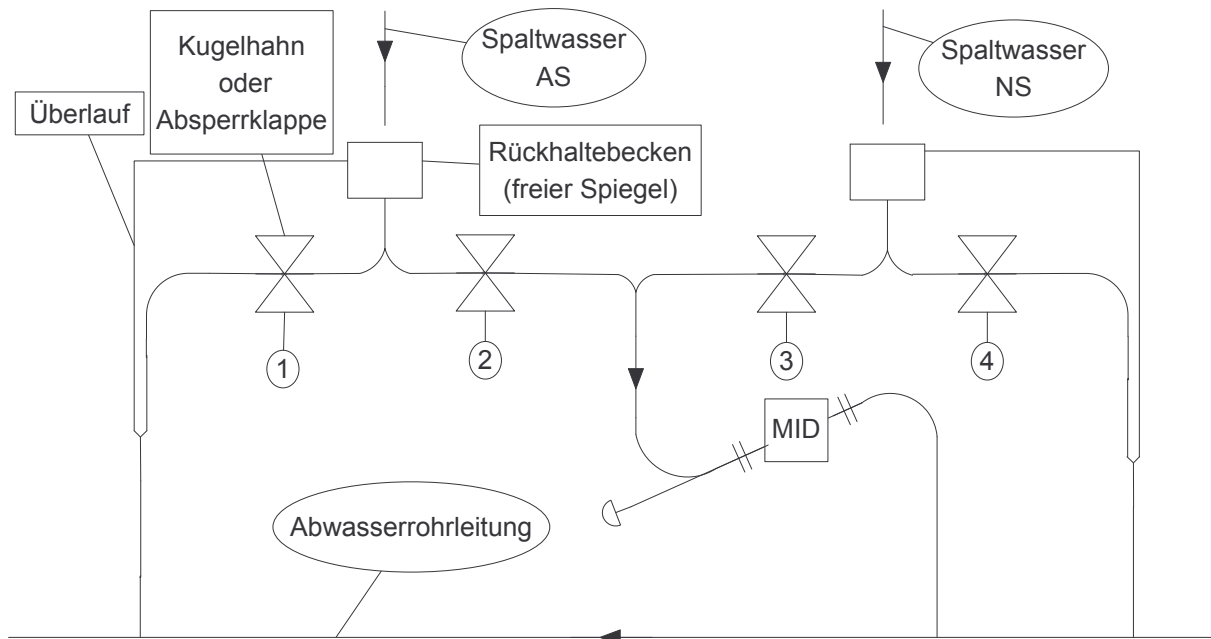
### 4.3 Lösungsweg

Zu Beginn der Entwicklungs- und Konstruktionsphase stehen zwei Arbeiten im Vordergrund, die durchgeführt werden müssen. Dies sind die visuelle Realisierung des Messraumes mit den bereits bestehenden Rohrleitungen (siehe Abbildung 11) mittels eines 3D-CAD-Programms [5.1] und das Erarbeiten einiger Skizzen und Entwürfe, die die zukünftige Messvorrichtung zeigen. Da keine Pläne der Rohrleitungen im Messraum und des Messraumes selber zur Verfügung stehen, mussten, wie bereits erwähnt, das Kraftwerk z' Mutt und insbesondere der Messraum mit den vorhandenen Rohrleitungen besichtigt werden. Die bestehenden Rohrleitungen im Messraum, wie auch der Messraum selber, wurden vermessen und die Messdaten protokolliert, um anschliessend die anstehenden Arbeiten ausführen zu können.



**Abb. 11: Messraum mit bestehenden Rohrleitungen**

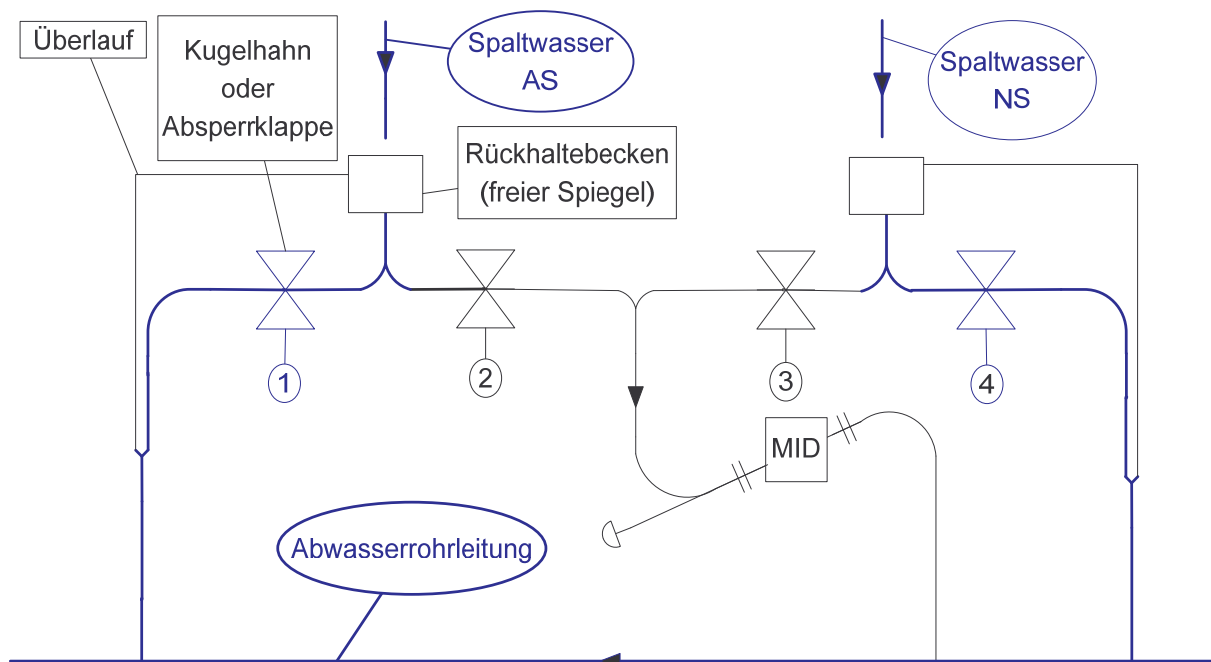
An dieser Stelle kann die Prinzipsskizze der zukünftigen Messvorrichtung, und zwar die endgültige, gezeigt werden. Diese ist in Abbildung 12 wiedergegeben. Dabei handelt es sich um eine schematische Darstellung, die die Funktionsweise der zu realisierenden Messvorrichtung zeigt. Die Messkonstruktion ist mit einem einzigen magnetisch-induktiven Durchflussmesser für das AS- und NS-seitige Spaltwasser ausgestattet, anstelle zwei solcher Messeinheiten. Dadurch werden die Investitionskosten und das Gewicht der Messkonstruktion deutlich gesenkt. Ein weiterer positiver Aspekt zur Benutzung eines Durchflussmessers sind die damit verbundenen Platzeinsparungen, d.h. die Messvorrichtung wird deutlich kleiner in ihren Ausmassen ausfallen. Die Überlaufleitung wird als Sicherheitseinrichtung konzipiert. Sollte es zu Verstopfungen in den Rohrleitungen oder zu Problemen mit den Kugelhähnen oder Absperrklappen kommen, d.h. im Fall einer Behinderung ihrer Funktionsweise, kann das Spaltwasser mittels dieses Überlaufs in die Abwasserrohrleitung gelangen. Somit wird ein Rückstau des Spaltwassers in den Hydraulikölkreislauf der Pumpe verhindert.



**Abb. 12: Schematische Darstellung der Messvorrichtung**

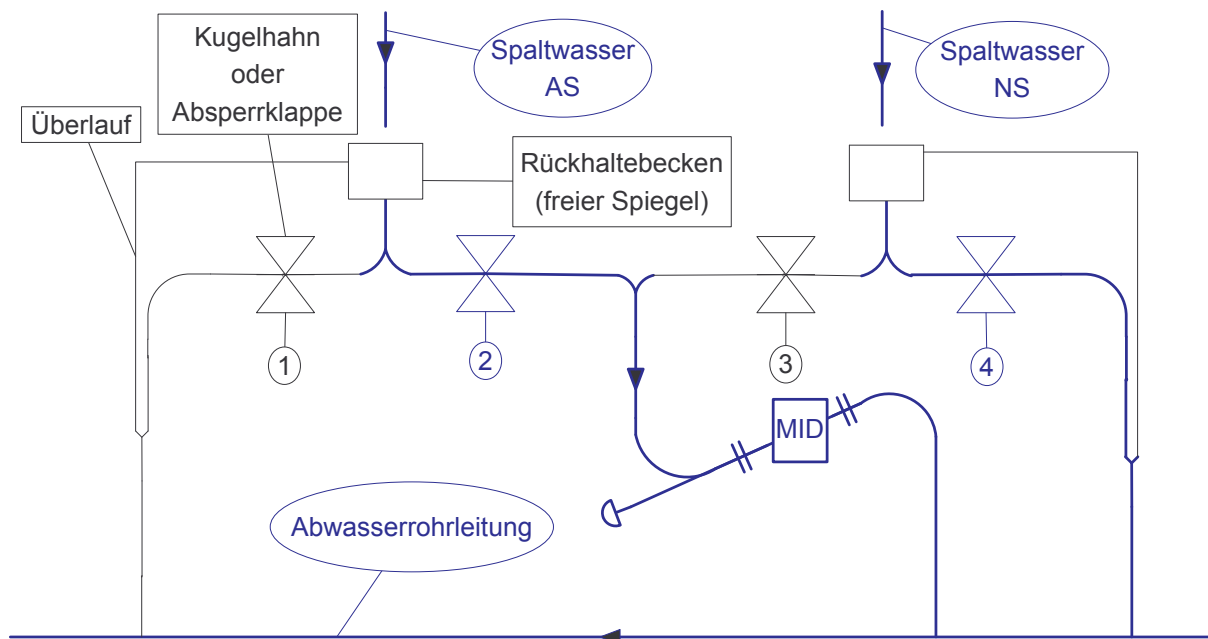
### **Funktionsweise**

Wird die Messvorrichtung betrieben, ohne eine Messung durchzuführen, sind die Armaturen 2 und 3 geschlossen. Die Armaturen 1 und 4 sind geöffnet, wodurch das Spaltwasser ohne durch den Durchflussmesser zu fließen in die Abwasserrohrleitung gelangen kann. In Abbildung 13 ist der Spaltwasserfluss dieser Situation in blauer Farbe illustriert.



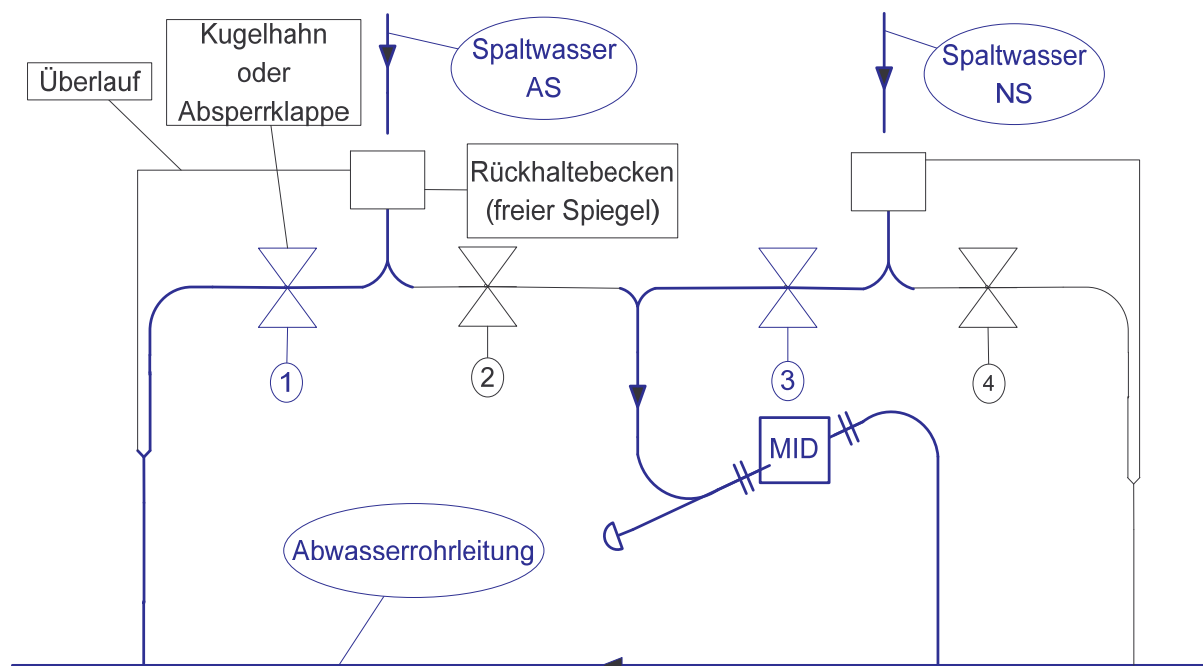
**Abb. 13: Spaltwasserfluss ohne Messung**

Wird die Durchflussmenge des AS-Spaltwassers gemessen, so sind die Armaturen 1 und 3 geschlossen. Die Armaturen 2 und 4 sind geöffnet. Auf diese Weise kann das AS-Spaltwasser durch den Durchflussmesser fließen und somit dessen Durchflussstrom gemessen werden. Das NS-Spaltwasser fliesst gleichzeitig durch die geöffnete Armatur 4 in die Abwasserrohrleitung. Der Spaltwasserfluss dieser Situation ist in Abbildung 14 blau illustriert.



**Abb. 14: Spaltwasserfluss bei der Messung des AS-Spaltwassers**

Bei der Messung des NS-Spaltwassers sind die Armaturen 2 und 4 geschlossen und die Armaturen 1 und 3 geöffnet. Somit fliesst das zu messende Spaltwasser durch den Durchflussmesser hindurch in die Abwasserrohrleitung. Das AS-Spaltwasser, welches bei dieser Situation nicht gemessen wird, fliesst direkt durch die Armatur 1 in die Abwasserrohrleitung. Diese Messsituation des NS-Spaltwassers und der Spaltwasserfluss sind in Abbildung 15 in blauer Farbe wiedergegeben.



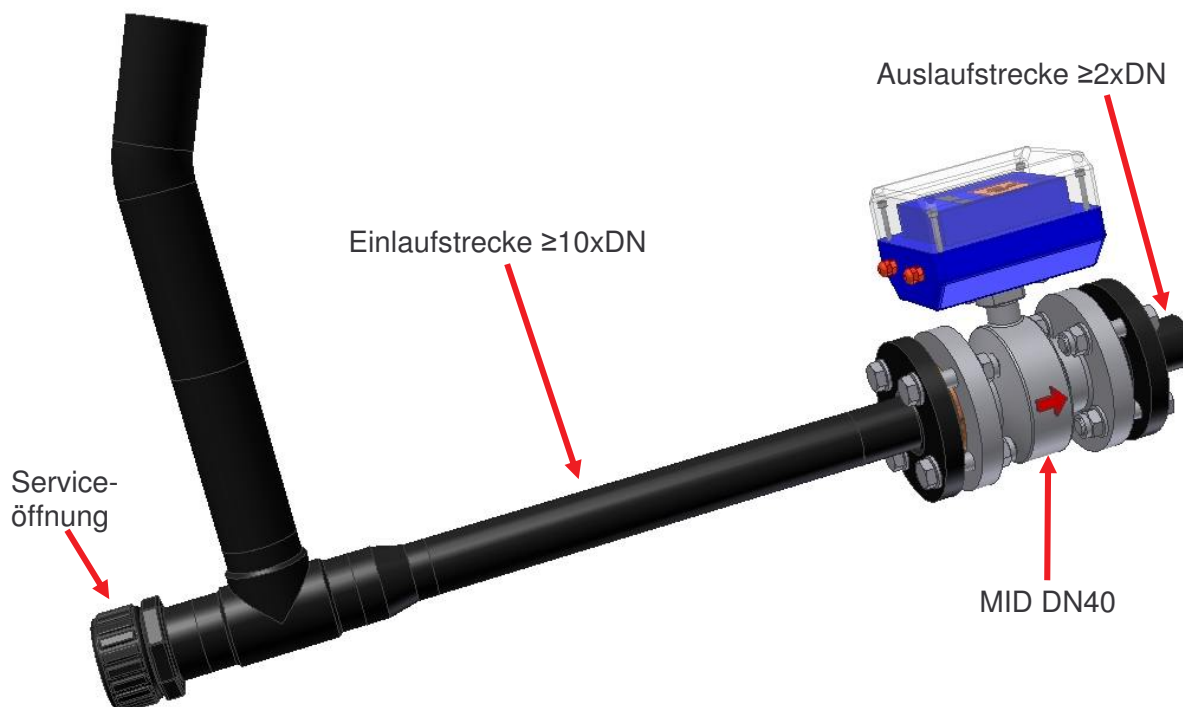
**Abb. 15: Spaltwasserfluss bei der Messung des NS-Spaltwassers**

Wird die Realisierung der soeben beschriebenen Messvorrichtung in Betracht gezogen, so ist ein synchrones Messen der Durchflüsse des AS- und NS-Spaltwassers nicht möglich. Um dennoch regelmässige Messungen beider Spaltwasser durchzuführen zu können, sind diese periodisch abwechselnd durchzuführen. So wird z.B. während einer Stunde das AS-Spaltwasser gemessen und gleichzeitig fliesst das NS-Spaltwasser, ohne einer Messung unterzogen zu werden, in die Abwasserrohrleitung. Nach einer Stunde wird die Messung am NS-Spaltwasser vollzogen und parallel dazu fliesst das AS-Spaltwasser ohne gemessen zu werden in die Abwasserrohrleitung. Wie vom Auftraggeber gewünscht, werden zunächst handbetätigte Ventile vorgesehen; es werden aber Typen gewählt, die im Nachhinein, ohne Demontage, mit einem Druckluftantrieb ausgerüstet werden können. Falls die Armaturen mit ferngesteuerten Stellantrieben ausgestattet werden und mittels einem kleinen selbstgeschriebenen Computerprogramm, kann der Spaltwasserfluss somit ferngesteuert werden.

### **Versionen 1 – 4**

Die folgenden Lösungsvorschläge 1 – 4 wurden allesamt mit Formstücken, Rohren und Armaturen von GF [2.2] aus [2.2.1] konzipiert. Die Formstücke und Rohre sind aus PE100. Dies ist ein Polyethylen der dritten Generation (siehe Kap. 4.1). Die verwendeten Fittings gehören zu der Rohrserie S5/SDR11 (siehe Abkürzungen / Bezeichnungen). Diese Angabe entspricht einem Nenndruck PN16, d.h. die Fittings können einem Innendruck von 16 bar standhalten. Beim verwendeten magnetisch-induktiven Durchflussmesser handelt es sich um einen OPTIFLUX 2100 C DN40 von [2.1]. Dieser ist in Abbildung 16 mit den erforderlichen Ein- ( $\geq 10 \times \text{DN}$  nach T-Stücken) und Auslaufstrecken ( $\geq 2 \times \text{DN}$ ) und dem Winkelfitting, welches an das T-Stück zwischen Armatur 2 und 3 (siehe Abbildung 12) angebracht wird, wiedergegeben.





**Abb. 16: MID inkl. Ein- und Auslaufstrecken (siehe auch Abb. 12)**

#### *Version 1*

Bei der Version 1 (siehe Abbildung 17) ist ersichtlich, dass die bereits vorhandenen Messbecken wiederverwendet wurden. Der Spaltwasserfluss wird mittels Kugelhähnen reguliert. Die Reduzierung des Durchmessers der PE-Rohre von 140 mm auf 63 mm wird mittels Reduktionen in drei Schritten bewerkstelligt. Es werden Kugelhähne mit einem Durchmesser 63 mm benutzt, damit die Armatur in dieser Ausführung einen vernünftigen Preis (CHF 275.- exkl. MWST.) aufweist. Wird diese Version in den Messraum visuell integriert (ohne MID und seine benötigten Ein- und Auslaufstrecken) fällt sofort auf, dass die Konstruktion in ihren Ausmassen viel zu gross ausfällt (siehe Abbildung 18). Daher muss diese Version verworfen werden, wobei die Idee, die bereits vorhandenen Messbecken weiterzuverwenden, bestehen bleibt.

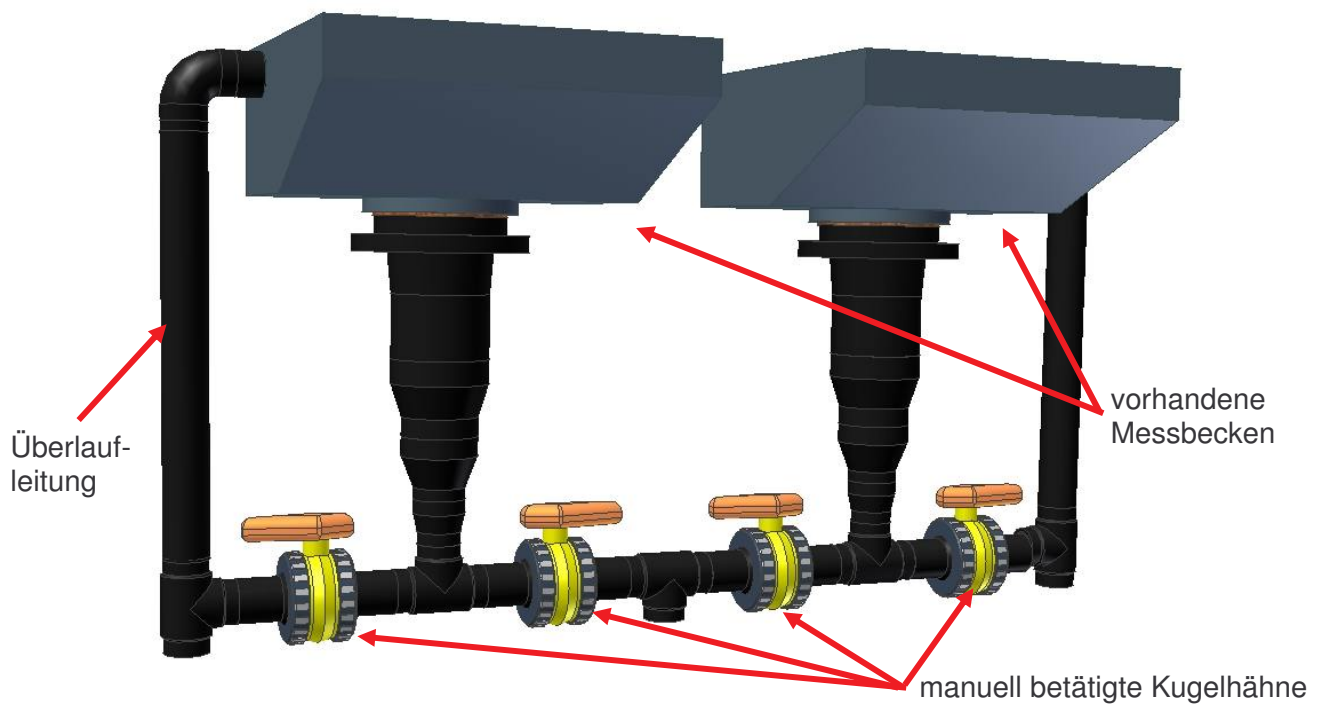


Abb. 17: Version 1 (Reduktion von 140 mm auf 63 mm)

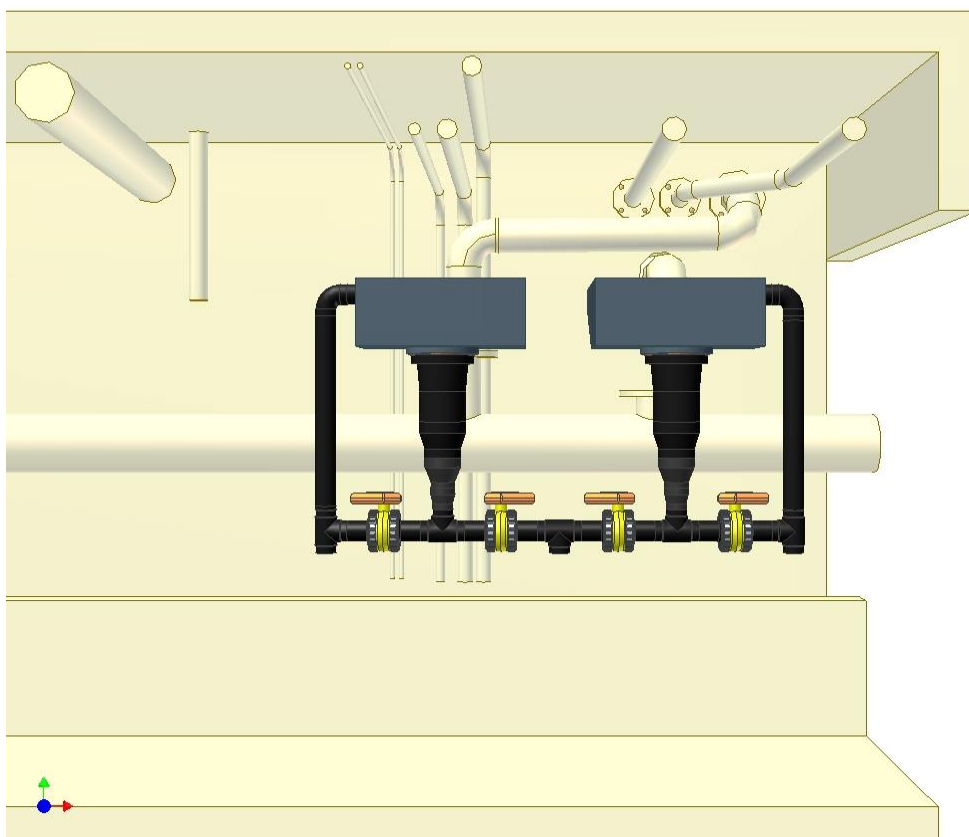
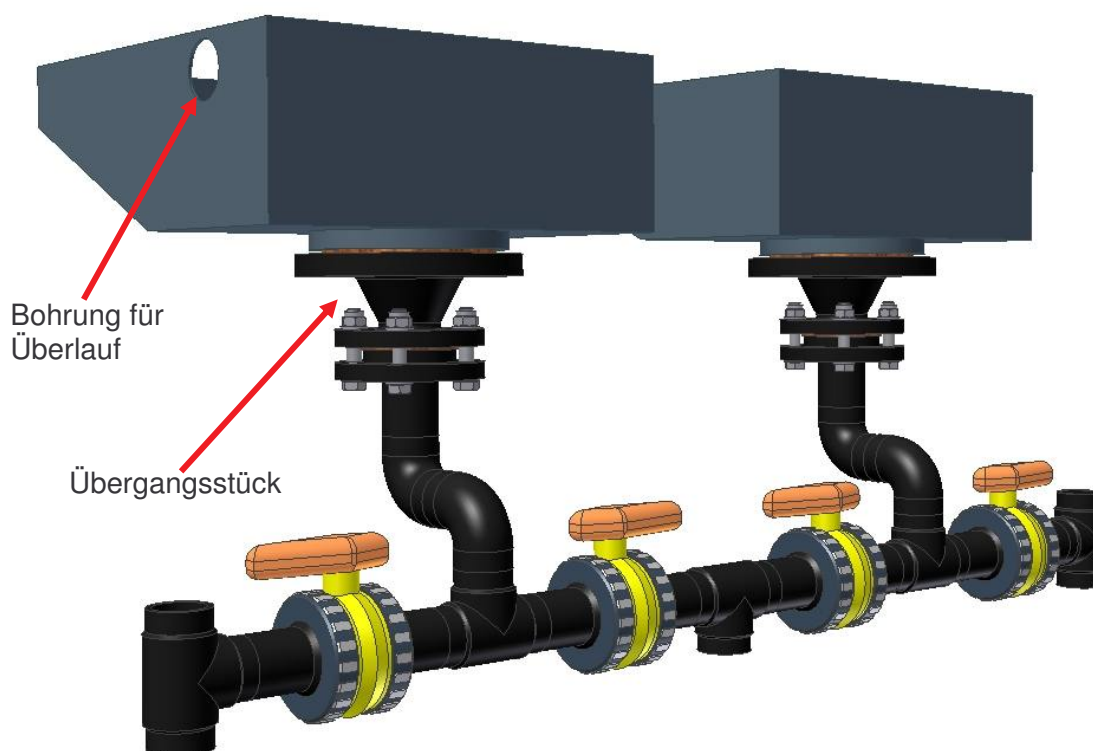


Abb. 18: Version 1 visuell in den Messraum integriert (perspektivische Ansicht von vorn)

### Version 2

Bei der Version 2 (siehe Abbildung 19) wurde ein Übergangsstück zwischen Messbecken und weiterführender Rohrleitung verwendet, um die Konstruktion in der Höhe kleiner zu gestalten und dadurch an Höhe zu gewinnen. Zusätzlich wurden Bögen in die Leitung integriert, um die Auslassöffnungen der Konstruktion oberhalb des bereits vorhandenen Abwasserrohrs zu positionieren. Die bestehenden Messbecken wurden abgeändert und wie auch bei der Version 1 um 180° gedreht, damit der schmale Teil des Messbeckens gegen die Wand zeigt. Die Abänderungen umfassen die Kürzung des Messbeckens in der Tiefenrichtung (horizontal), um die Becken, wie bereits erwähnt, um 180° gedreht einbauen zu können, um damit unnötiges und störendes Hineinragen der Messbecken in den Messraum zu vermeiden, sowie die Bohrung eines Loches an der Seitenwand des Messbeckens, um den benötigten Überlauf anschliessen zu können. Die gewünschten Verbesserungen in Bezug auf die nötige Höhe durch diese Anpassungsarbeit blieben leider aus, und so musste auch Version 2 verworfen werden.

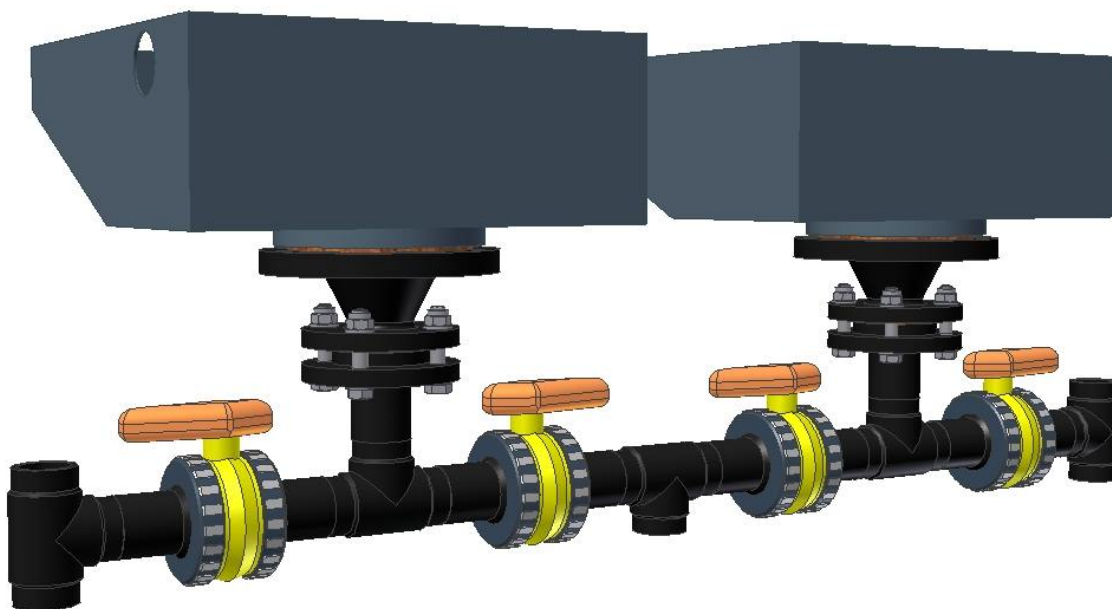


**Abb. 19: Version 2 (abgeänderte Messbecken mit Übergangsstück und Bogen)**

### Version 3

Bei der Realisierung der dritten Version wurde wieder auf die Bögen verzichtet, da diese nicht die gewünschten Verbesserungen nach sich zogen. Das bereits in Version 2 verwendete Übergangsstück wurde in Version 3 wieder benutzt. Ebenfalls wurde an der Verwendung der abgeänderten Messbecken festgehalten (siehe Abbildung 20). Dennoch musste festgestellt werden, dass die Höhe der Konstruktion immer

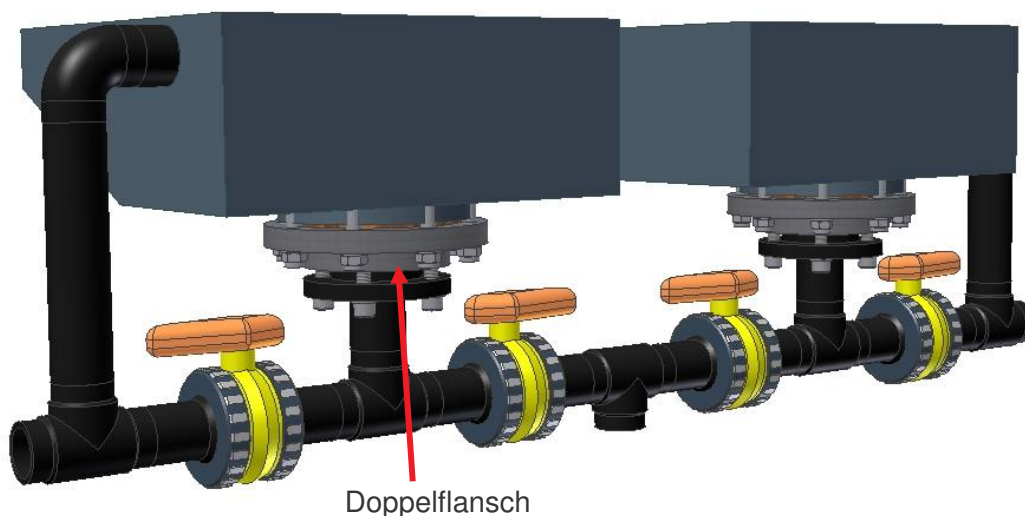
noch viel zu gross ausfällt und dadurch nicht auf die gewünschte Art in den Messraum integriert werden kann. Deshalb musste Version 3 ebenfalls ausgeschlossen werden.



**Abb. 20: Version 3 (abgeänderte Messbecken mit Übergangsstück ohne Bogen)**

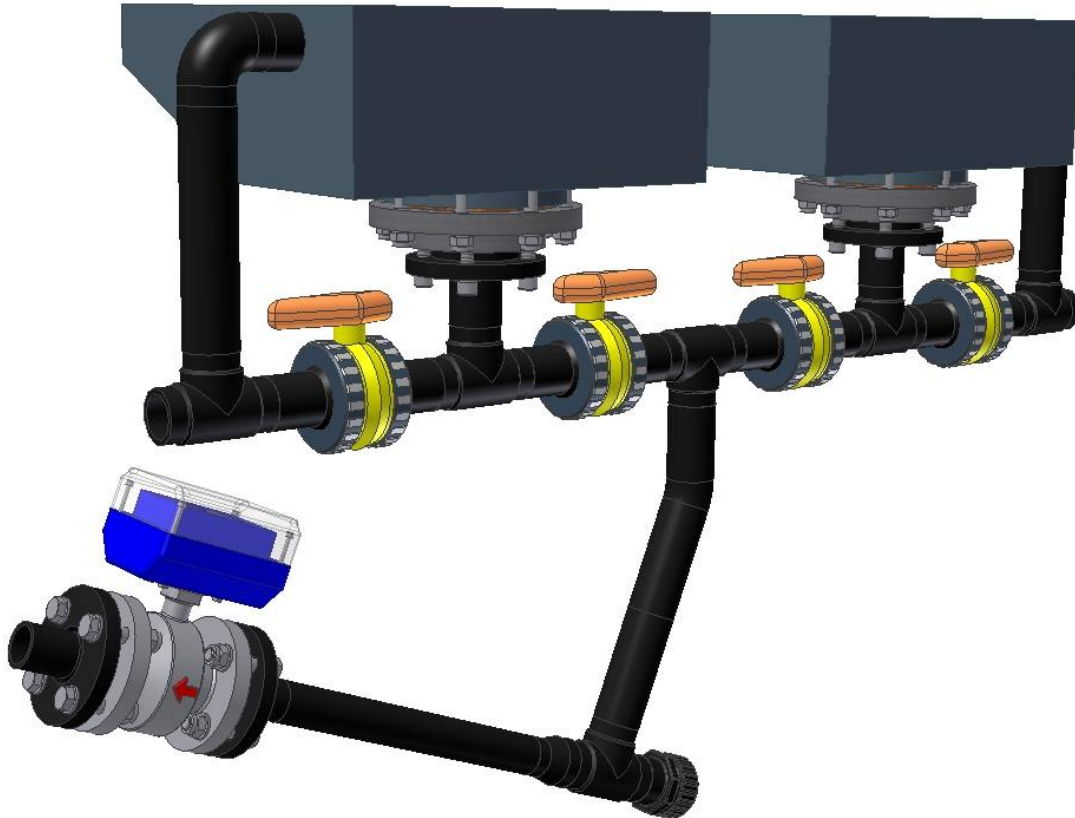
#### *Version 4*

Bei Version 4 wurde das Übergangsstück durch einen Doppelflansch aus Stahl ersetzt (siehe Abbildung 21). Dadurch wurde wieder an Höhe gewonnen. Diese Doppelflansche werden verwendet, um den Vorschweissbund mit Aussendurchmesser 63 mm an das Messbecken mit Auslassdurchmesser 115 mm anzuschliessen.



**Abb. 21: Version 4 (abgeänderte Messbecken mit Doppelflansch)**

Auf der Abbildung 22 ist die komplette Messkonstruktion (Messbecken, Rohrleitungen und MID inkl. Ein- und Auslaufstrecken) für die Pumpgruppe 2 wiedergegeben.

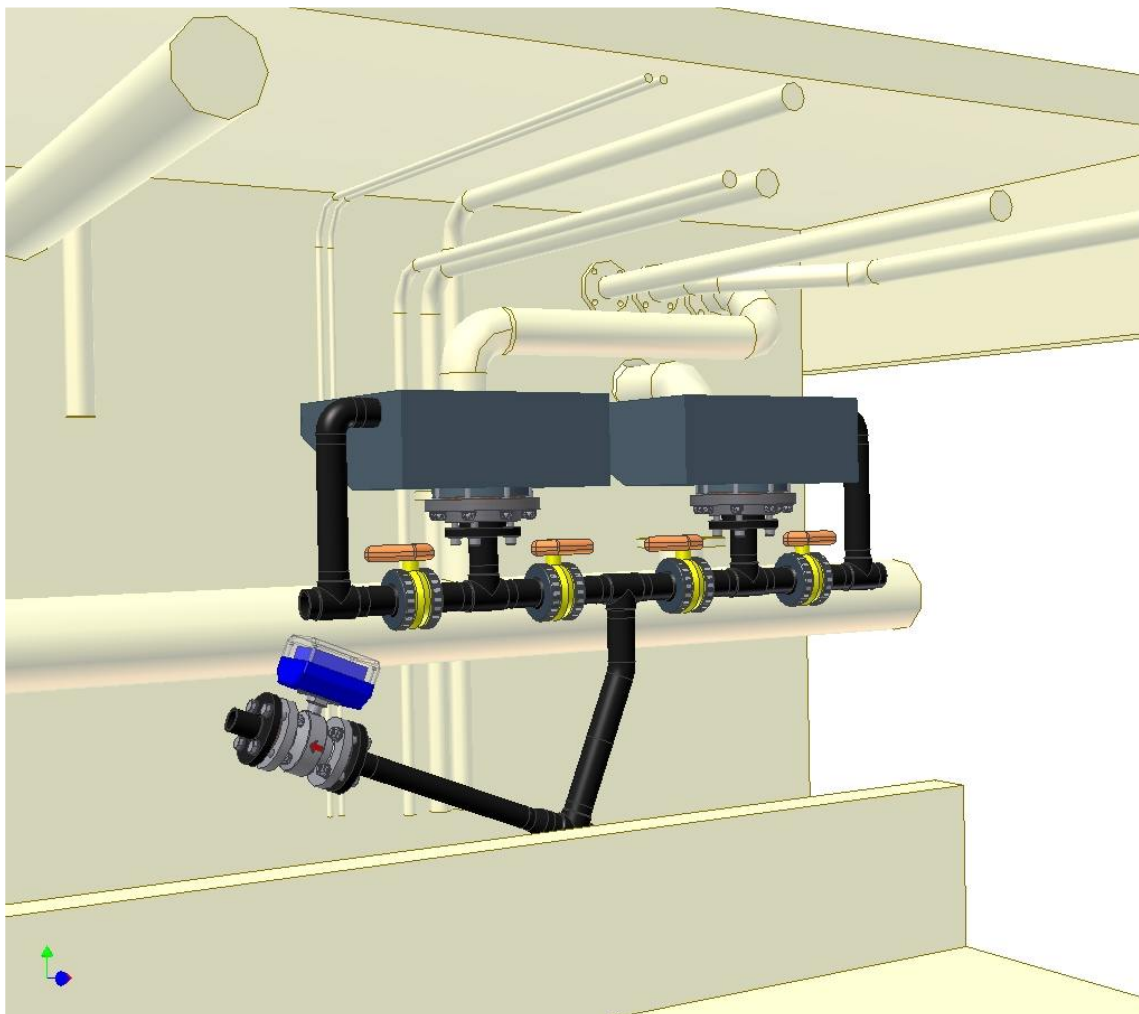


**Abb. 22: Komplette Messvorrichtung Pumpgruppe 2**

Auf Abbildung 23 ist die komplette Messvorrichtung (Version 4) visuell in den Messraum integriert, inkl. MID und der dazu erforderlichen Ein- und Auslaufstrecken. Ebenfalls wird ersichtlich, dass die Auslassöffnungen der Überlaufleitungen und der Normalabflussleitungen im oberen Drittel der bereits vorhandenen Abwasserrohrleitung zu stehen kommen. Dies wurde schon von Beginn an angestrebt, um unnötige Wege mit den Rohrleitungen und ggf. den erforderlichen Fittings zu umgehen. Die globale Höhe der Messvorrichtung, wie auch die Breite dieser Konstruktion, fügen sich ausgezeichnet in den Messraum ein. Bei dieser Ausführung müssten nur kleine Anpassungsarbeiten an den bestehenden Rohrleitungen vorgenommen werden. Die bestehenden Zuläufe könnten beinahe zu 100% übernommen werden. Zur Sicherstellung, dass das Spaltwasser selbstfliessend durch die Messvorrichtung strömt, wurden die Druckverluste der Messkonstruktion berechnet. Das Berechnungsvorgehen ist in Kapitel 4.5 detailliert wiedergegeben. Die Druckverlustberechnungen brachten einen desolaten Befund nach sich. Dieser zeigte, dass die Druckverluste in den verwendeten Rohren und Fittings viel zu hoch ausfallen und dadurch das Spaltwasser nicht mehr selbstfliessend durch die Messvorrichtung fließen kann. Für die in Abbildung 23 gezeigte Ausführung wäre eine Höhendifferenz zwischen Ein- und Aus tritt des Rohrsystems von 1.30 m nötig, um die gewünschte Funktion zu erhalten. Dies ist aber aus baulichen Gründen (Höhe des Messraumes, Anordnung der Zu- und Abläufe) unmöglich. Der Grund für diese zu hoch ausfallenden Druckverluste ist



die Strömungsgeschwindigkeit des Spaltwassers, welche in den Rohrleitungen herrscht. Abhilfe für diese Schwierigkeit bringt das Ausweichen auf andere Rohrserien (grösserer Innendurchmesser) und auf einen MID DN50.



**Abb. 23: Komplette Messvorrichtung (Version 4) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 2 integriert**

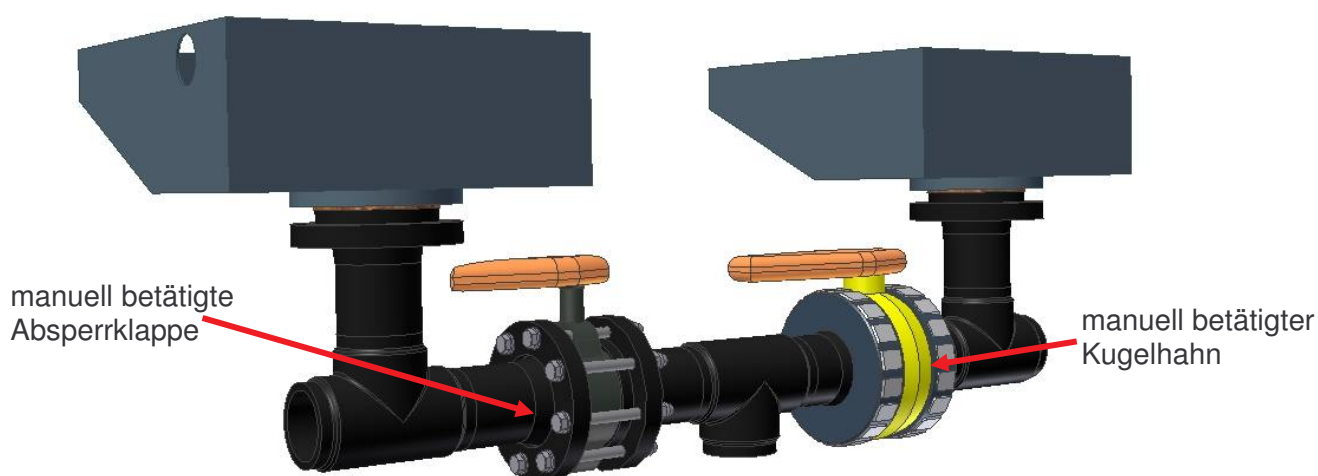
### **Versionen 5 – 10**

Um das Problem mit den zu hohen Druckverlusten in den Griff zu bekommen, wurde als erster Schritt die Rohrserie der PE-Rohre von S5/SDR11 durch S8.3/SDR17.6 ersetzt, d.h. PN9.6. Die dazugehörigen Masse wurden aus [2.2.1] entnommen. Bei gleichbleibendem Aussendurchmesser wird somit der Innendurchmesser grösser, was einen entscheidenden Vorteil mit sich bringt. Der höchstmögliche Innendruck ist dabei immer noch ausreichend für die zu realisierende Messvorrichtung. Dadurch verkleinert sich die Strömungsgeschwindigkeit und dies wiederum senkt die Druckverluste vehement, da diese mit der zweiten Potenz der Strömungsgeschwindigkeit variieren (siehe Formel (4.1)). Zusätzlich zu dieser Massnahme werden die Rohre mit den grösstmöglichen Durchmessern verwendet, um erneut die Druckverluste zu reduzieren. Ein weiterer Schritt zur Verminderung der Druckverluste ist der Gebrauch

eines MID DN50 an Stelle eines MID DN40. Natürlich muss dieser Schritt von dem Lieferanten abgesegnet werden, da die Messgenauigkeit durch den grösseren Durchmesser und die dadurch resultierende tiefere Strömungsgeschwindigkeit nicht beeinträchtigt werden darf. Nach Rücksprache und Abklärung mit dem Lieferanten des MID [2.1] kann der Wechsel von einem MID DN40 auf einen MID DN50 vollzogen werden. Die Messgenauigkeit des MID DN50 ist im unteren Durchflussbereich nicht mehr so ausgeprägt wie die des MID DN40, aber immer noch mehr als genügend. Die Spezifikationen des MID DN50 werden im Kap. 4.4 detaillierter erläutert. Ebenfalls wurde die Verwendung eines Dreiwegkugelhahns anstelle von zwei Kugelhähnen in Betracht gezogen. Solche Dreiwegkugelhähne aus Kunststoff mit Stumpfschweissenden werden aber nur bis zu einem Aussendurchmesser von 63 mm, respektive 2", angeboten. Für grössere Durchmesser muss auf Stahl- oder Edelstahl-Dreiwegkugelhähne zurückgegriffen werden. Diese sind aber zu schwer und viel zu teuer für einen Durchmesser von 100 mm.

### Version 5

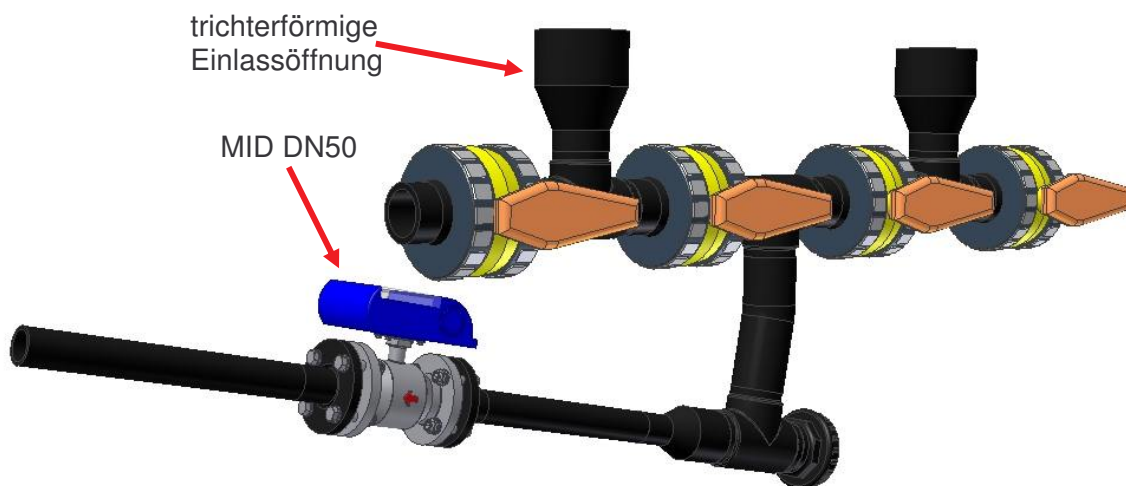
Für die Version 5 wurden Rohre mit einem Aussendurchmesser von 110 mm verwendet, was mit einer Wandstärke von 6.5 mm einem Innendurchmesser von 97 mm entspricht (siehe Abbildung 24). Der ausschlaggebende Grund für diese Überlegung liegt in der Benutzung von Kugelhähnen, die für diese Rohrdurchmesser noch angeboten werden. Für grössere Rohrdurchmesser hat [2.2] keine PP-Kugelhähne in ihrem Angebot. Die Preise für solche Armaturen überschreiten aber die 700-Franken-Marke (inkl. MWST) und dementsprechend muss nach einer Alternative Ausschau gehalten werden. Ein möglicher Gegenvorschlag ist die Benutzung von Absperrklappen. Jedoch sind die Preise dieser Absperrklappen vom gleichen Anbieter [2.2] beinahe identisch mit denen der Kugelhähne. In der Konstruktion der Version 5, wie auch in den vorangegangenen Versionen 1 – 4, wurde auf die Wiederverwendung der bereits vorhandenen Messbecken Rücksicht genommen. Die Durchführung der Druckverlustberechnungen nach Kap. 4.5, zeigte auf, dass die Druckverluste bereits minimiert wurden, aber dennoch noch Verbesserungspotenzial vorhanden war.



**Abb. 24: Version 5 (Rohraussendurchmesser 110 mm)**

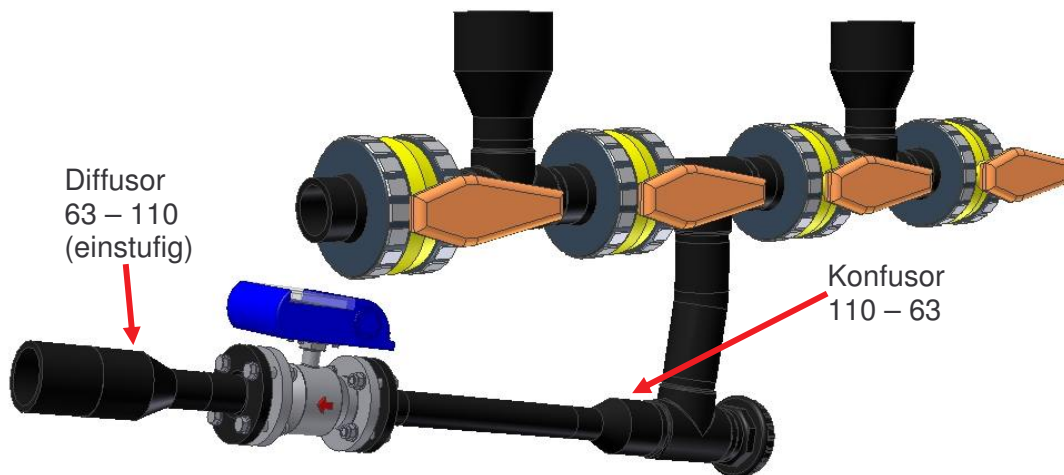
## Versionen 6 – 8

Bei den Versionen 6, 7 und 8 wurde auf die Wiederverwendung der Messbecken verzichtet. Stattdessen wurden Rohrreduktionen verwendet. Diese trichterförmigen Rohrreduktionen dienen zum einen als Einlassöffnung und zum anderen als Aus- und Rückhaltebecken (siehe Abbildungen 25, 26 und 27). Die Unterschiede der Versionen 6, 7 und 8 liegen in den Durchmessern der Auslaufstrecken. Die Version 6 hat einen Auslaufaussendurchmesser von 63 mm, die Version 7 besitzt einen Auslaufaussendurchmesser von 110 mm, welcher mittels eines Diffusors realisiert wird, und die Version 8 hat ebenfalls einen Auslaufaussendurchmesser von 110 mm, welcher durch die Aneinanderreihung einzelner kurzer Reduktionen bewerkstelligt wird. Diese Ausführungen mit den verschiedenen Auslaufaussendurchmessern (Versionen 6 - 8) wurden realisiert, um die bestmögliche Rohrkonstruktion zu erhalten, d.h. die Rohrkonstruktion mit den minimalen Druckverlusten. Alle drei Versionen 6 – 8 sind mit den verhältnismässig teuren Kugelhähnen ausgestattet.



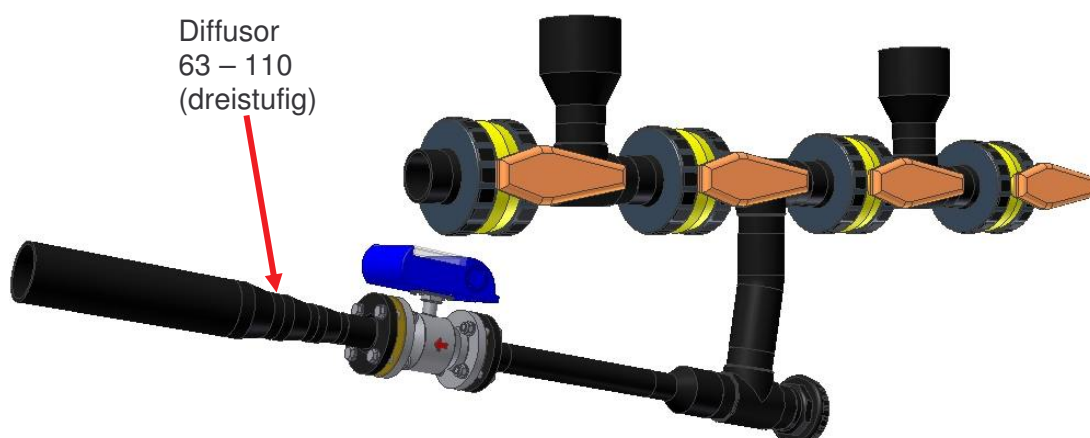
**Abb. 25: Version 6 (Auslaufaussendurchmesser 63 mm)**

Die Version 6 mit dem Auslaufaussendurchmesser von 63 mm und einem Innendurchmesser von 55.8 mm (siehe Abbildung 25) weist den grössten Druckverlust auf. Dies ist auf den kleinen Innendurchmesser und die dadurch hohe Strömungsgeschwindigkeit des Spaltwassers zurückzuführen.



**Abb. 26: Version 7 (Auslaufaussendurchmesser 110 mm)**

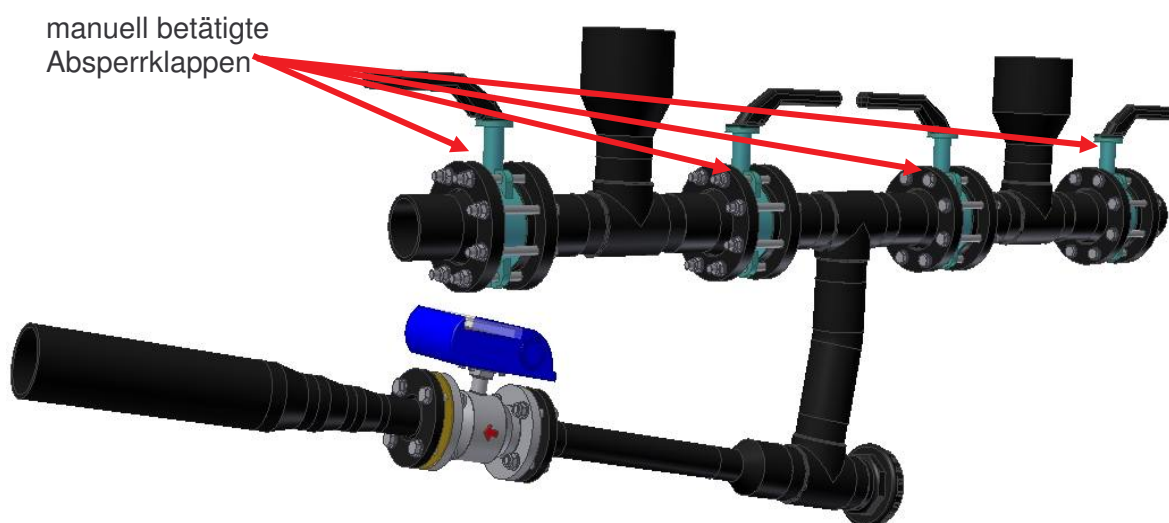
Die Version 7 mit einem Auslaufaussendurchmesser von 110 mm und einem Innendurchmesser von 97.4 mm wird in Abbildung 26 gezeigt. Diese Version besitzt einen kurzen und schroffen Diffusor, der die Rohrleitung von einem Aussendurchmesser 63 mm auf einen Aussendurchmesser 110 mm erweitert. Diese fast plötzliche Querschnittserweiterung ist strömungstechnisch nicht optimal. Es kann zu Abrasion im Übergangsgebiet kommen. Die Druckverluste durch diesen Rohrauslauf sind im Gegensatz zu Version 6 optimaler, aber dennoch recht hoch ausgeprägt. Abhilfe für dieses Problem bringt die Verwendung eines Diffusors mit einem möglichst flachen Öffnungswinkel und einer ausreichenden Stufenlänge. Das gewünschte Fitting wird aber von der [2.2] nicht angeboten. Daher muss dieses Fitting durch drei aneinander gereihte kurze Diffusoren selber hergestellt werden (siehe Abbildung 27). Mit dieser Konstruktion lassen sich die besten Druckverlustwerte erzielen. Aus diesem Grund wird für die weiteren Versionen an diesem System festgehalten.



**Abb. 27: Version 8 (Auslaufaussendurchmesser 110 mm)**

### Version 9

Bei der Version 9 wurde auf die relativ teuren Kugelhähne verzichtet und an deren Stelle wurden Absperrklappen von InterApp [2.3] verwendet (siehe Abbildung 28). Diese Absperrklappen werden manuell betätigt und sind im Gegensatz zu den Kugelhähnen sehr günstig, da der Preis bei ca. CHF 150.- liegt. Die Installation der Absperrklappen erweist sich als sehr einfach, da diese zwischen zwei Flansche montiert werden. Es werden keine zusätzlichen Dichtungen benötigt, weil die Absperrklappen bereits über eingebaute Dichtungen verfügen.

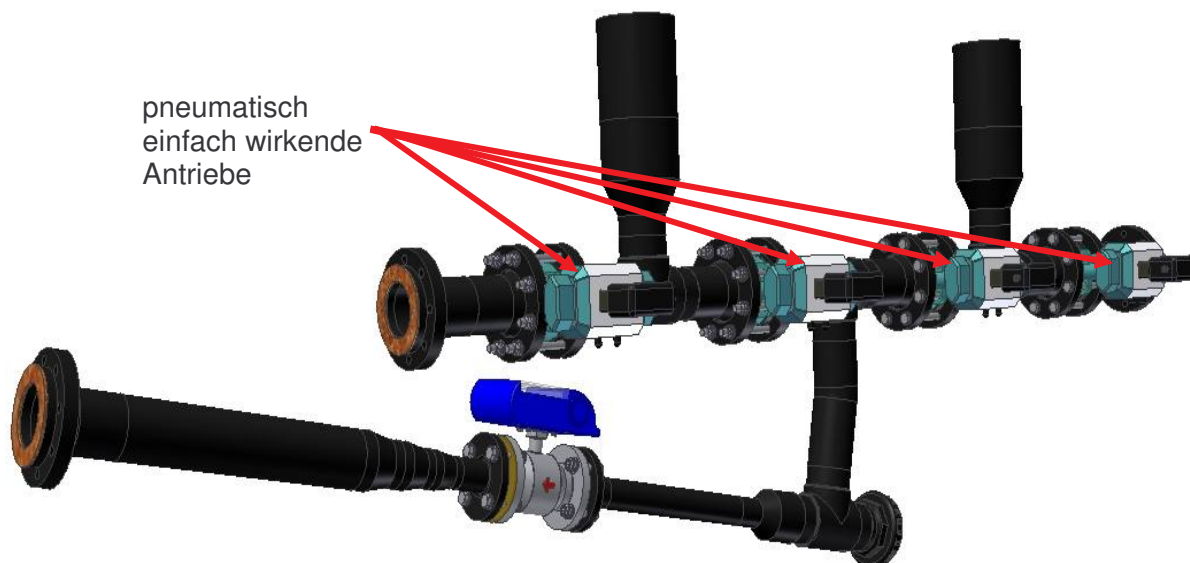


**Abb. 28: Version 9 (manuell betätigte Absperrklappen)**

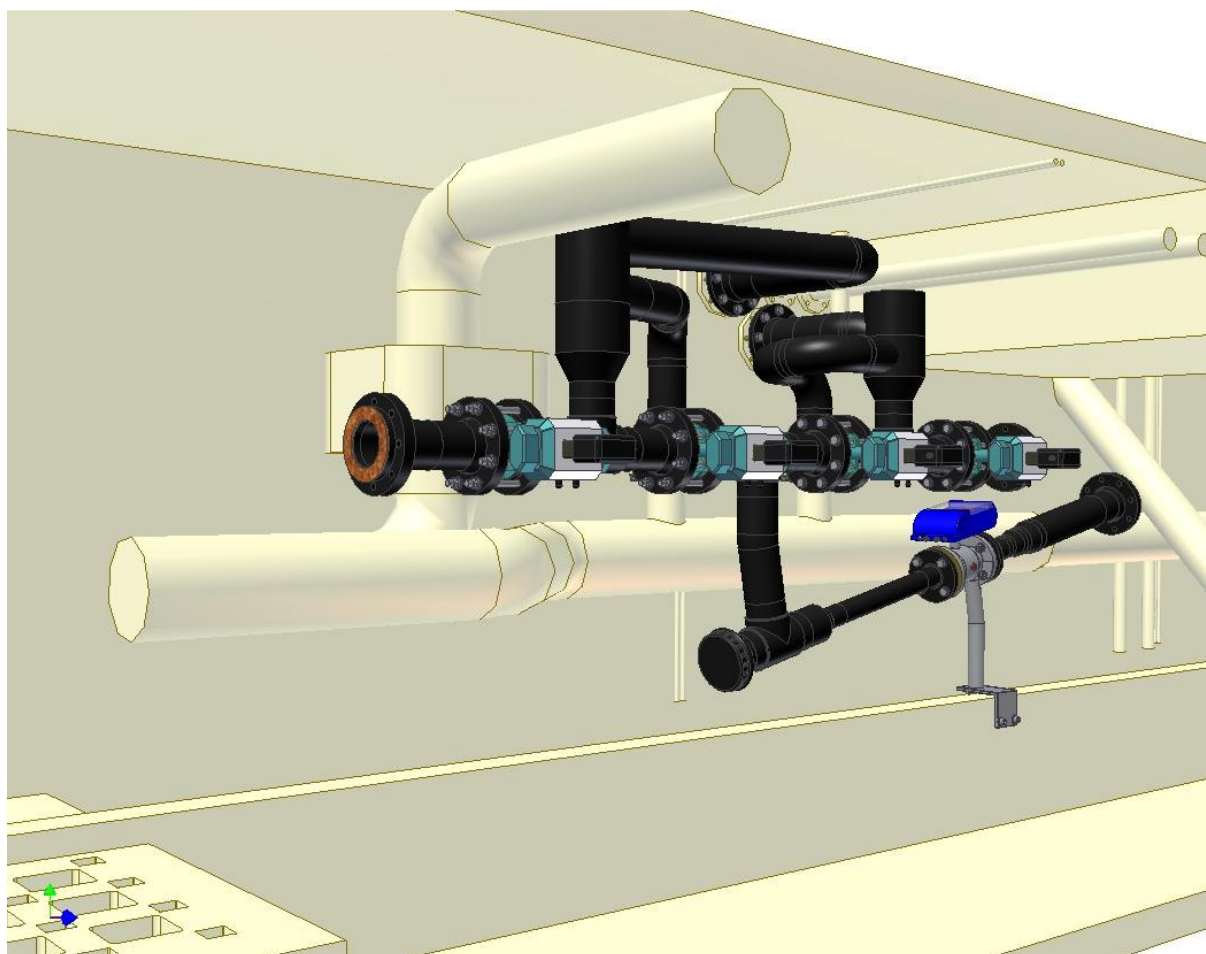
### Version 10

Auf der Abbildung 29 ist die Version 10 ersichtlich. Bei dieser Version wurden die manuell zu betätigenden Absperrklappen durch Absperrklappen mit pneumatisch einfach wirkenden Antrieben ersetzt, um aufzuzeigen, dass die Automation der Durchflussmessung ausführbar ist. Allerdings müssen dazu aus Platzgründen die Drehachsen der Klappen horizontal liegen. Die Funktionsweise und die Spezifikationen dieser Absperrklappen werden im Kap. 4.4 näher erläutert. Auch sind die Flansche an den PE-Rohrleitungsenden ersichtlich. Diese werden benötigt, um die Anschlüsse an die bereits bestehende Abwasserrohrleitung zu realisieren. Mehr dazu wird ebenfalls im Kap. 4.4 erwähnt.

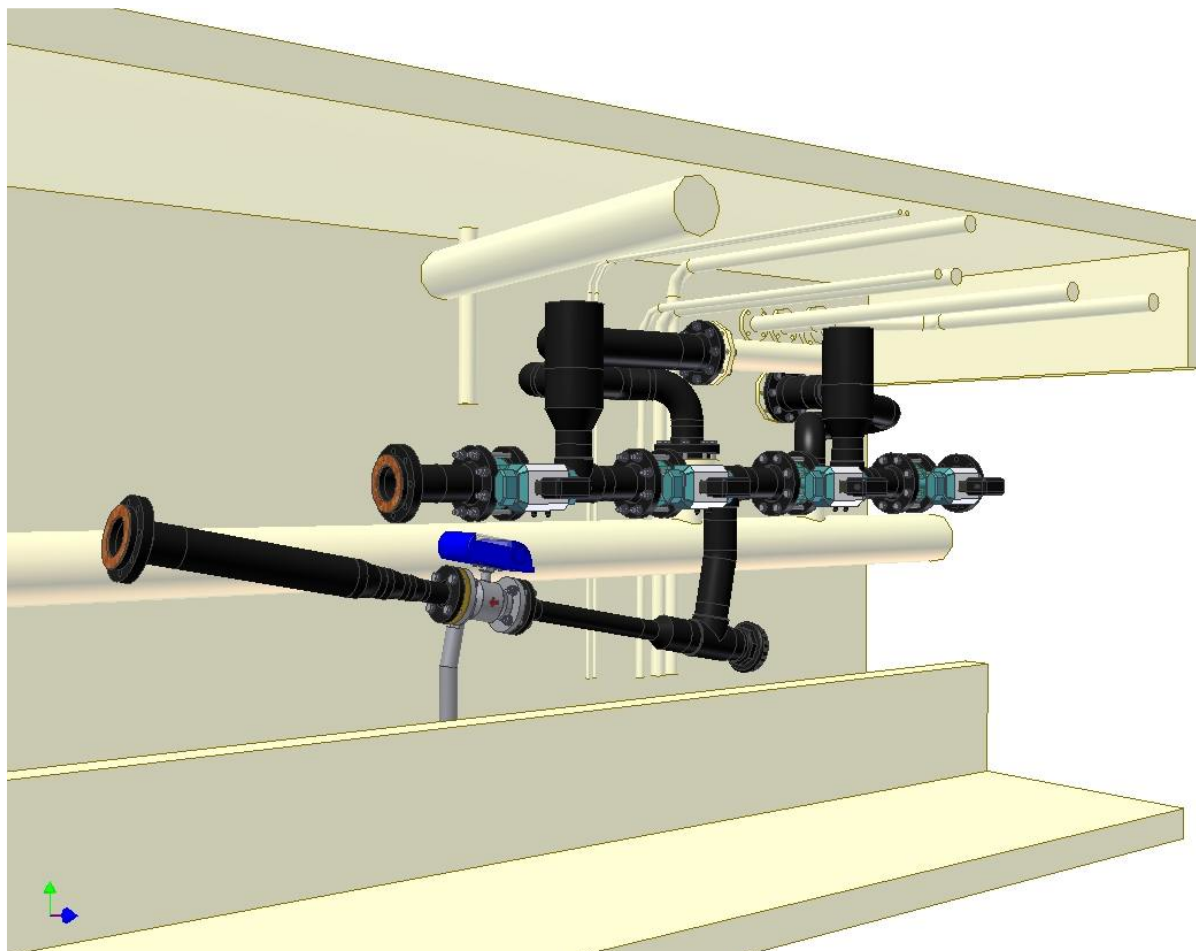




**Abb. 29: Version 10 (pneumatisch einfach wirkender Antrieb)**



**Abb. 30: Messvorrichtung (Version 10) Gr.1 visuell im Messraum integriert inkl. Zu- und Überläufe**



**Abb. 31: Messvorrichtung (Version 10) Gr.2 visuell im Messraum integriert inkl. Zu- und Überläufe**

In den Abbildungen 30 und 31 sind die Messvorrichtungen für die Pumpgruppe 1 (Abbildung 30) und die Pumpgruppe 2 (Abbildung 31) inkl. Zu- und Überläufe, welche in den Messraum visuell integriert wurden, zu sehen. Diese Messvorrichtungen basieren auf der soeben vorgestellten Version 10.

Bei einer Störung der Absperrorgane (Absperrklappen oder Kugelhähne) der Versionen 1 – 10 ist die Reparatur oder das Auswechseln dieser Armaturen bei Pumpbetrieb nicht möglich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei Pumpbetrieb das Spaltwasser konstruktionsbedingt fortlaufend durch die Leitungen fließt, wodurch eine Reparatur oder ein Auswechseln der Absperrorgane, ohne die Pumpe abzuschalten, unmöglich wird. Das Abschalten der Pumpen bedeutet aber Leistungsausfall bei gleichzeitigem Mehraufwand. Diese Situation sollte vermieden werden, um die zur Verfügung stehende Zeit, in der die Wasserkonzession im Besitze des Kraftwerks z' Mutt ist, möglichst effizient zu nutzen. Um dieses Problem in den Griff zu bekommen, müssen mindestens zwei zusätzliche Absperrorgane in die Messvorrichtung integriert werden. Diese müssen nicht automatisiert sein, da bei auftretenden Reparaturarbeiten ein Mitarbeiter vor Ort ist, um diese zusätzlichen Absperrorgane zu betätigen. Mehr dazu im Kap. 4.4. So entstehen die Versionen 11 und 12.

## 4.4 Endgültige Lösung

In diesem Kapitel werden der endgültige Lösungsvorschlag präsentiert und die Armaturen, welche für die Messvorrichtung vorgesehen sind, vorgestellt und kurz beschrieben. Zusätzlich werden nochmals die Beweggründe für den endgültigen Lösungsvorschlag dargelegt und auf die erforderlichen Abklärungen betreffend die für die Gewährleistung des Betriebs der Spaltwassermessvorrichtung notwendige Infrastruktur aufmerksam gemacht.

### **Magnetisch-induktiver Durchflussmesser OPTIFLUX 2100 C DN50**

Beim verwendeten Durchflussmesser handelt es sich um einen magnetisch-induktiven Durchflussmesser, im Weiteren mit MID abgekürzt, der Firma Krohne [2.1]. Dieser besteht aus einem OPTIFLUX 2100 C Messwertaufnehmer und einem IFC 100 Durchfluss-Messumformer. Der Nenndurchmesser des Messwertaufnehmers beträgt 50 mm. Zu Beginn der Konstruktionsphase wurde ein MID DN40 benutzt. Dieser MID inkl. seiner Ein- und Auslaufstrecken ( $\geq 10 \times \text{DN}$  bzw.  $\geq 2 \times \text{DN}$ ), die für eine Beruhigung des Wassers vor und nach der Messeinheit nötig sind, um das bestmögliche Messresultat zu erzielen, wies einen viel zu hohen Druckverlust auf. Dementsprechend musste auf einen MID DN50 ausgewichen werden. Dieser Entscheidung wurde natürlich mit dem Lieferanten [2.1] abgesprochen, um die geforderte Messgenauigkeit gleichwohl einhalten zu können. Der MID DN50 verfügt über einen Messumformer, der nicht die gleiche Bauform aufweist, wie der MID DN40 auf den vorangegangenen Bildern. Daher ist diesbezüglich auf den folgenden Abbildungen eine Änderung zu sehen. Der Messgenauigkeitsvergleich der zwei Messwertaufnehmer mit unterschiedlichen Durchmessern ist in der Tabelle 3 zu sehen.

| MID  | Messgenauigkeit bei<br>$Q < 0.5 \frac{l}{s}$ | Messgenauigkeit bei<br>$Q > 0.5 \frac{l}{s}$ |
|------|--|--|
| DN40 | $\pm 0.5\%$                                  | $\pm 0.5\%$                                  |
| DN50 | $\pm 1.5\%$                                  | $\pm 0.5\%$                                  |

**Tab. 3: Messgenauigkeitsvergleich DN40 - DN50**

Anhand der vorangegangenen Tabelle ist ersichtlich, dass die Messgenauigkeit für die auszuführende Aufgabe ausreichend ist, obwohl der MID DN50 im kleinen Durchflussbereich eine schlechtere Messgenauigkeit besitzt als der MID DN40. Deshalb wird der endgültige Lösungsvorschlag mit einem MID DN50 ausgestattet sein. Ein Preisangebot von [2.1] und nähere Informationen, wie z.B. technische Spezifikationen und Datenblätter zu dem magnetisch-induktiven Messwertaufnehmer und dem dazugehörigen Durchfluss-Messumformer können im Anhang 1 nachgelesen werden.

### ***Absperrklappe DESPONIA mit pneumatisch einfach wirkendem Antrieb***

Die Absperrklappe DESPONIA der Firma InterApp [2.3] mit einfach wirkendem Antrieb ist zur Regelung des Spaltwasserflusses zwischen AS- und NS-Seite erforderlich. Durch diese mittels SPS-Steuerung betätigten Ventile kann die Messung des gewünschten Spaltwassers vollzogen werden (siehe Prinzipskizzen auf den Abbildungen 12 – 15). Um bei einem möglichen Luftdruckabfall durch Leitungsbruch oder Kompressorenausfall die Sicherheit stets aufrechtzuerhalten (es darf auf keinen Fall eine Rückstauung des Spaltwassers durch die geschlossenen Absperrklappen in den Hydraulikölkreislauf auftreten), wurde explizit ein pneumatisch einfach wirkender Antrieb verwendet. Dieser besitzt die Eigenschaft, bei Druckverlust die Klappe mittels einer Rückstellfeder zu öffnen oder zu schliessen, je nach Verwendungszweck der Absperrklappe. Bei einem möglichen Luftdruckausfall würden sich die Absperrklappen 2 und 3 durch die Rückstellfeder schliessen und die Absperrklappen 1 und 4 würden sich öffnen, damit das Spaltwasser ungehindert in die Abwasserrohrleitung fließen kann (siehe Abbildung 12). Die Absperrklappen wurden als Zwischenflanschausführung verwendet, da diese Ausführung sehr schnell und einfach in das Rohrleitungssystem integriert werden kann. Um ein unnötiges Ablagern von Sedimenten und zusätzliche Abrasion an den Klappen bereits von vornherein zu vermeiden, werden die Absperrklappen horizontal eingebaut (siehe Abbildungen 32 und 33). Zusätzlich sind die Absperrklappen mit einer Endschalterbox mit zwei mechanischen Endschaltern ausgerüstet, um eventuell auftretende Störungen im Betrieb zu erkennen und intervenieren zu können. Ein Preisangebot und die technischen Spezifikationen der Absperrklappe mit pneumatisch einfach wirkendem Antrieb sind im Anhang 2 ersichtlich.

### ***Absperrklappe DESPONIA mit Handhebel***

Die Absperrklappe DESPONIA mit Handhebel, die in ihren Abmessungen identisch mit der Absperrklappe DESPONIA mit pneumatisch einfach wirkendem Antrieb ist, wird bei den handbetätigten Versionen verwendet. Zusätzlich wird sie bei den pneumatisch betätigten Versionen benötigt, um bei eventuell auftretenden Reparatur- oder Servicearbeiten den Spaltwasserfluss manuell zu regeln, da ansonsten die Pumpen während dieser Arbeiten abgeschaltet werden müssten. Auf diese Weise kann das während des Pumpbetriebs kontinuierlich fließende Spaltwasser durch den Überlauf in die Abwasserrohrleitung gelangen, ohne durch die Messvorrichtung fließen zu können, wodurch die erforderlichen Arbeiten ausgeführt werden können. Der Einbau der Absperrklappen erfolgt auf die gleiche Weise wie derjenige der Absperrklappen mit Antrieb. Der Einbau von zwei Absperrklappen pro Pumpe und zwar in der direkten (vertikalen) Fliessrichtung des Spaltwassers kurz unterhalb der Überlauföffnung wäre wirtschaftlich gesehen sicherlich effizienter, ist aber auf Grund von konstruktionsbedingten Einschränkungen nicht möglich (Vergrößerung der Höhendifferenz zwischen der Überlauföffnung und dem MID, d.h. Zuwachs der Rohrleitungen und dadurch Anstieg der Druckverluste).



### ***Signalübertragung und Steuerung der pneumatisch einfach wirkenden Antriebe (vorhandene Infrastruktur)***

Der magnetisch-induktive Durchflussmesser verfügt über einen Stromausgang, der, je nach Durchflussmenge, ein analoges Signal von 4 – 20 mA liefert. Dieses Signal wird anschliessend in die bereits vorhandenen Schaltschränke, welche sich auf der Pumpenetage befinden, eingespeist und dort abgegriffen. Die hierfür erforderlichen analogen Eingänge sind ausreichend vorhanden und müssen daher nicht zusätzlich

realisiert werden. Diese Messwerte können mittels eines selbst entwickelten Programms archiviert und visuell dargestellt werden. Die Realisierung solch eines Programms ist, nach Rücksprache mit Herrn François Moulin, kein aufwendiger Arbeitsschritt, benötigt aber dennoch bis zu drei Arbeitstage. Die Speisung des Durchflussmessers, welcher mit 230V / 50Hz arbeitet, sowie die Leitungen zur Signalübertragung müssen ebenfalls erstellt werden. Darüber hinaus verfügt der MID über eine serienmässige Kommunikationsmöglichkeit mittels HART. HART (Highway Addressable Remote Transducer) ist ein Protokoll für busadressierte Feldgeräte. Aktoren und Sensoren werden in der Prozess- und Fabrikautomation als Feldgeräte bezeichnet. Das HART-System dient der digitalen Feldkommunikation zwischen mehreren Teilnehmern (Feldgeräte). Diese werden konventionell über 4 – 20 mA Stromschleifen (Normsignal) verbunden bzw. an Steuerungen und Regler mit solchem Normsignalausgang angeschlossen. Sollwerte (z.B. für digitale Stellungsregler) oder Istwerte (z.B. für Messumformer) werden über das Normsignal übertragen. Hier werden die Daten ausgewertet und zur Regelung und Steuerung verwendet. Zusätzlich können diese Daten für die weitere Verarbeitung genutzt werden. Dazu gehört unter anderem die Visualisierung und Anzeige der Ergebnisse, wie z.B. Ventil geöffnet / geschlossen.

Die Steuerung der pneumatisch einfach wirkenden Antriebe wird mittels SPS-Schaltung realisiert. Die Programmierung dieser SPS-Schaltung benötigt ungefähr einen halben Arbeitstag (nach Absprache mit Herrn François Moulin), wobei die Erstellung der Luftdruckleitungen von der Pumpenetage in den darunter liegenden Messraum nicht berücksichtigt wurden. Zusätzlich zu den Luftdruckleitungen müssen die elektrischen Leitungen für die Speisung der Absperrklappen und die Signalleitungen der Endschalter erstellt werden. Die Schaltung der zwei Endschaltersignale eines einfach wirkenden Antriebes erfolgt in Serie anstatt parallel. Damit halbiert sich die Anzahl der benötigten Eingänge im Schaltschrank von vier auf deren zwei. Die zum Betrieb dieser Absperrklappen erforderlichen SPS-Steckkarten und Eingangsanschlüsse sind in den Schaltschränken (je ein Schaltschrank pro Pumpgruppe) bereits vorhanden und könnten benutzt werden.

Im Messraum sind bereits elektrische Leitungen (230V / 50Hz) vorhanden, um die Beleuchtung zu speisen. Um die Speisung der Geräte zu gewährleisten, welche mit 230V / 50Hz arbeiten (Durchflussmesser, Absperrklappen mit Antrieb), müssen aber dennoch elektrische Leitungen gezogen werden. Für die Realisierung dieser Leitungen vom Messraum zu den Schaltschränken, welche sich auf der Pumpenetage befinden (dieser befindet sich ein Stockwerk oberhalb des Messraumes), muss eine Kernbohrung in die Decke des Messraumes geführt werden. Durch diese Bohrung



können anschliessend die elektrischen Leitungen durchgeführt werden. Beim Eingang des Messraumes, welcher sich auf der Höhe der Pumpenetage befindet, ist bereits eine Luftdruckleitung vorhanden. Diese könnte in den Messraum verlängert werden, um dort die pneumatischen einfach wirkenden Antriebe zu betätigen. Alternativ könnten die Luftdruckleitungen durch die Decke des Messraumes geführt/gezogen werden. Für diese Lösung wird ebenfalls eine Kernbohrung in die Decke vollzogen, wie dies bereits für die Verlegung der elektrischen Leitungen vorgesehen ist.

### ***Befestigung, Aufhängung und Anpassungsarbeiten der Messvorrichtung***

Nach einer Besprechung und der Präsentation der Versionen 11 und 12 mit Herrn Dietmar Truffer, Verantwortlicher der Mechanikabteilung im Pumpwerk z' Mutt, konnte der Entscheid gefällt werden, dass die Arbeiten bezüglich der Aufhängungen und Abstützungen der Messvorrichtungen sowie die Anpassungsarbeiten, insbesondere das Anpassen der Messrohrleitung auf die Abwasserrohrleitung und das Aufschweissen von Flanschstutzen auf die Abwasserrohrleitung (siehe Abbildungen 34, 35, 38 – 41 und 43 – 48), von dessen Mitarbeitern übernommen werden würden. Die Realisierung der Aufhängungen und Abstützungen, der dazu notwendigen Montagearbeiten sowie der erforderlichen Schweißarbeiten sind, nach Rücksprache mit Herrn Dietmar Truffer, allesamt ausführbar. Daher wird in dieser Arbeit nicht näher auf die Problematik der Abstützung und Aufhängung der Messvorrichtung eingegangen. Auch deswegen, weil der Entschluss über die endgültige Lösung noch nicht gefällt wurde und daher die Aufhängungen und Abstützungen nicht realisiert werden können, da es für die einzelnen Versionen 11 – 13 divergierende Abstützungs- und Aufhängungsmethoden zu untersuchen gilt. Es ist an dieser Stelle nur kurz zu erwähnen, dass die Messvorrichtung mittels eines Supports aufgehängt und vertikal unter dem MID ein Halter mit Standfuss, welcher auf dem Boden oder der Mauer des Ölabscheiderkanals befestigt wird, vorgesehen werden sollte. Dieser Halter mit Standfuss wird unter anderem das Eigengewicht des MID aufnehmen, da dieser mit zehn Kilogramm doch recht schwer ist.

### ***Abwechselnd periodische Messung: Versionen 11 und 12***

#### *Version 11*

Wie bereits erwähnt, kann die Messung des Spaltwassers der AS- und NS-Seite einer Pumpe bei den Versionen 11 und 12 nicht gleichzeitig vollzogen werden. Die Version 11 ist mit der Version 12 bis auf die zusätzlichen Absperrklappen mit Handhebel, die in Version 12 verwendet wurden, identisch. Diese Absperrklappen wurden während der Entwicklungsphase noch zusätzlich erwünscht, da diese eventuell auftretende Reparatur- und Servicearbeiten vereinfachen. Die Version 11 mit manuell betätigten Absperrklappen entspricht vollumfänglich dem zu Beginn mit den Auftraggebern erarbeiteten Pflichtenheft. Dieses wurde aber, wie bereits erwähnt, kontinuierlich erweitert und somit wurde die Version 12 realisiert. Auf den folgenden Abbildungen der Version 11 sind anstelle der Absperrklappen mit Handhebel Absperrklappen mit pneumatisch einfach wirkendem Antrieb zu sehen, da die Messung des Spaltwassers in einer späteren Phase automatisiert werden soll. Während der

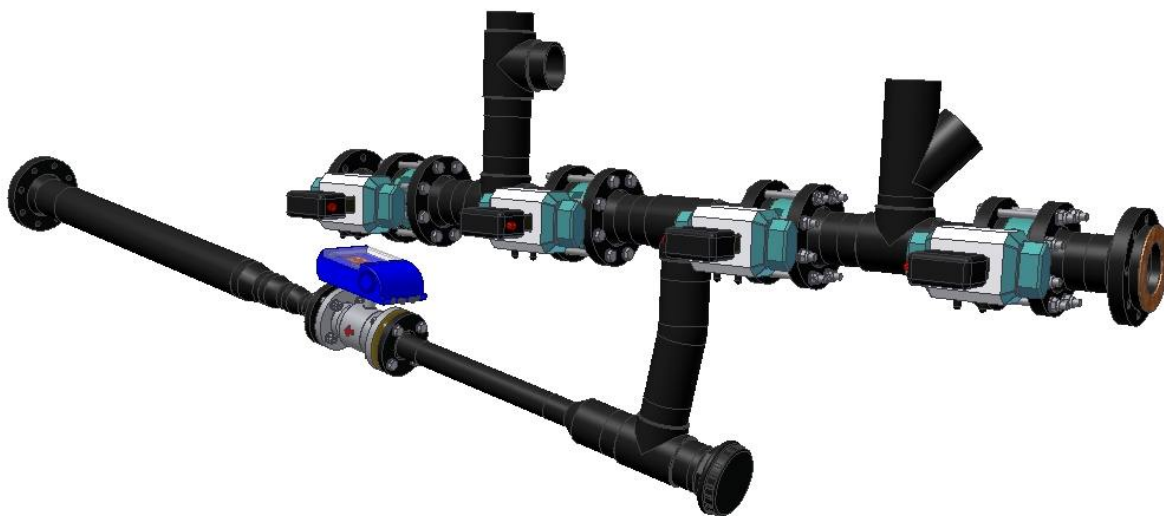
Entwicklungsphase wurden Absperrklappen mit Antrieb verwendet, da diese in ihren Dimensionen in Tiefenrichtung (horizontal) grösser ausfallen und dadurch bei der Konzipierung der Messvorrichtung den Vorzug gegenüber den Absperrklappen mit Handhebel erhielten, um die Anlage, welche dadurch die grösseren Abmasse aufweist, in den Messraum visuell integrieren zu können. Es versteht sich von selber, dass die in den Abbildungen 32 – 35 ersichtlichen Absperrklappen mit einfach wirkendem Antrieb durch Absperrklappen mit Handhebel ersetzt werden können, da die Einbaumasse des Absperrklappenkörpers in beiden Fällen identisch sind. Diese Situation (Verwendung von Absperrklappen mit Handhebel), würde, wie bereits erwähnt, dem Pflichtenheft entsprechen. Abweichungen bezüglich der Dimensionen der Absperrklappen treten nur durch die Verwendung eines Handhebels oder eines Antriebes auf, da diese auf den, in beiden Fällen identischen Absperrklappenkörper aufgesetzt werden. Eine Zusammenbauzeichnung, eine Materialliste der benötigten Teile zur Realisierung der Messvorrichtung Version 11 Gr.1, die Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre sowie eine Vermassungszeichnung der Version 11 Gr.1 sind im Anhang 3 ersichtlich. Ebenfalls im Anhang 3 sind die Zusammenbauzeichnungen der Zu- und Überläufe (AS- und NS-Seite), die Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre und die dazugehörige Materialliste zu finden. Die entsprechenden Zeichnungen und Materiallisten der Version 11 Gr.2 sind im Anhang 4 einzusehen. Eine globale Materialliste der Version 11, welche die Messvorrichtungen beider Pumpgruppen und die dazugehörigen Zu- und Überläufe berücksichtigt, ist im Anhang 9 zu finden.

Die Längenangaben der auf Mass zu bringenden Rohrleitungen und Fittings für die Realisierung der Zu- und Überläufe beider Pumpgruppen auf den Zeichnungen im Anhang 3 und 4 sind mit Vorsicht zu geniessen, da diese Stücke, die soweit möglich erst vor Ort zugeschnitten werden sollten, für auftretende Anpassungsarbeiten benötigt werden. Diese sind erforderlich, um die axiale Längenänderung der Rohrleitungen, die durch das Schweißen auftreten, ausgleichen zu können. Denn bei jeder durchgeführten Schweissung der PE-Werkstücke verkürzt sich das entsprechende Rohr oder Fitting um ca. 3 mm.

Die Messvorrichtung für die Pumpgruppe 1 wird auf Grund der bereits bestehenden und nicht verschiebbaren Rohrleitungen im Messraum nicht parallel zur Rückwand in den Messraum integriert, sondern diagonal eingebaut.

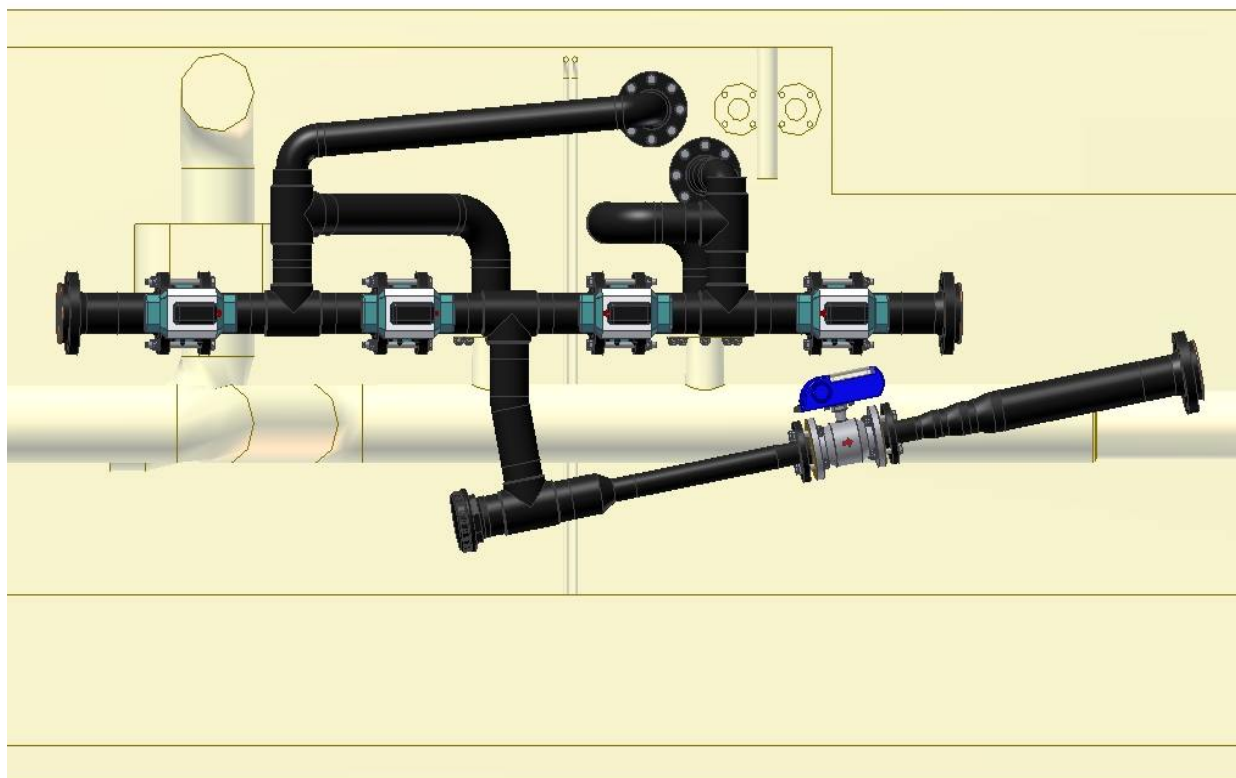


**Abb. 32: Version 11 inkl. Absperrrklappen mit Antrieb oder mit Handhebel  
(Pumpgruppe 1)**

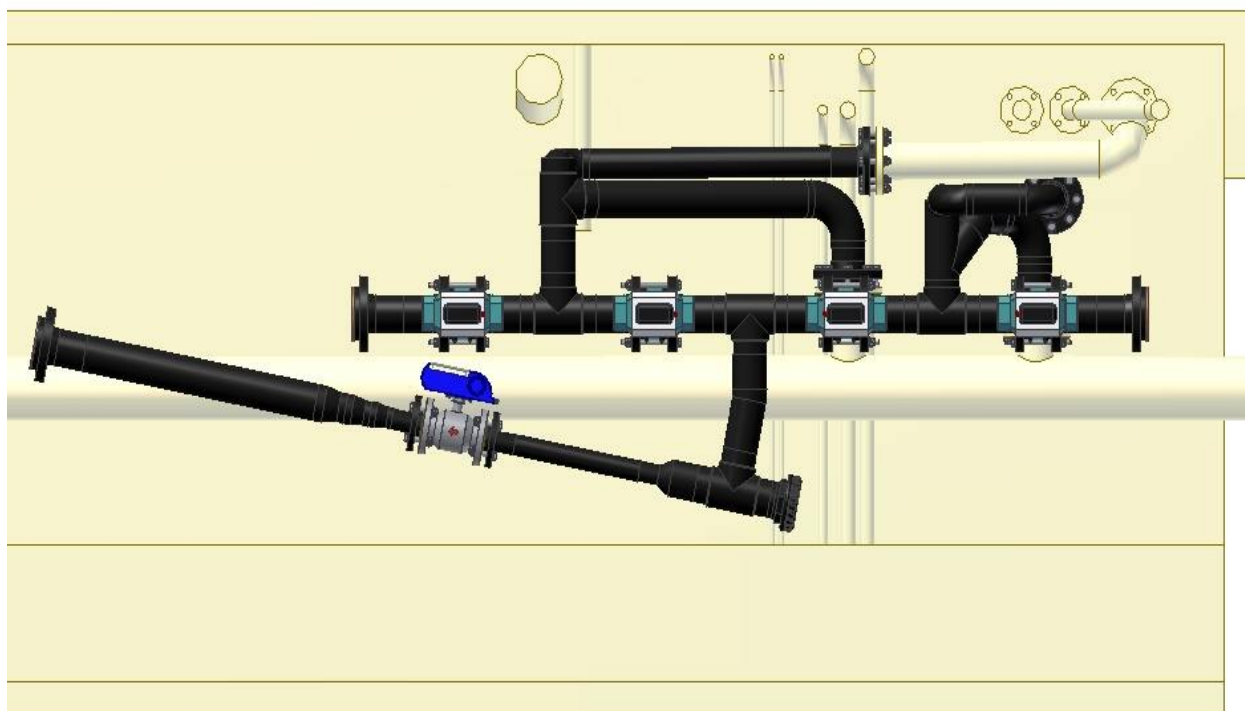


**Abb. 33: Version 11 inkl. Absperrrklappen mit Antrieb oder mit Handhebel  
(Pumpgruppe 2)**

Auf der Abbildung 34 ist die komplette Messvorrichtung Version 11 Gr.1 zu sehen, welche in den Messraum an der Messstelle der Pumpgruppe 1 visuell integriert wurde. Auf der Abbildung 35 ist das Entsprechende der Version 11 Gr.2 zu sehen. Die Anschlüsse der Überläufe an die Abwasserrohrleitung wurden so konzipiert, dass die bereits vorhandenen Flanschstutzen auf der Abwasserrohrleitung wieder verwendet werden können. Eine genauere Beschreibung der Überläufe wird noch bei der Version 13 gegeben.



**Abb. 34: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 11) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 1 integriert (Ansicht von vorn)**



**Abb. 35: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 11) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 2 integriert (Ansicht von vorn)**

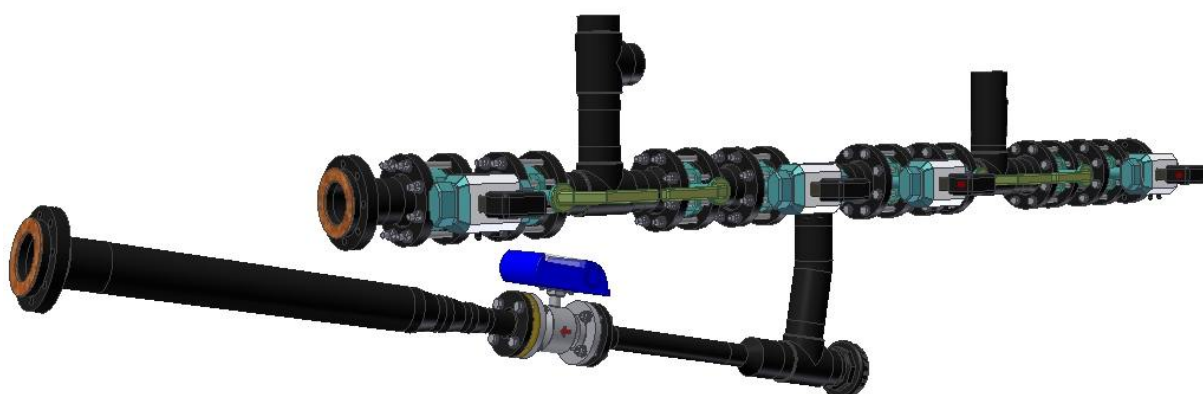


## Version 12

Wie vorangehend bei der Version 11 schon gesagt wurde, kann die Messung des Spaltwassers der AS- und NS-Seite einer Pumpe bei der Version 12 nicht gleichzeitig vollzogen werden. Die Version 12 ist mit der Version 11 bis auf die zusätzlichen Absperrklappen mit Handhebel, identisch. Die Version 12 der Pumpgruppe 1 ist auf Abbildung 36, diejenige der Pumpgruppe 2 auf Abbildung 37 zu sehen. Auf diesen Abbildungen sind die horizontal eingebauten Absperrklappen (mit pneumatisch einfach wirkendem Antrieb und mit Handhebel) ersichtlich.



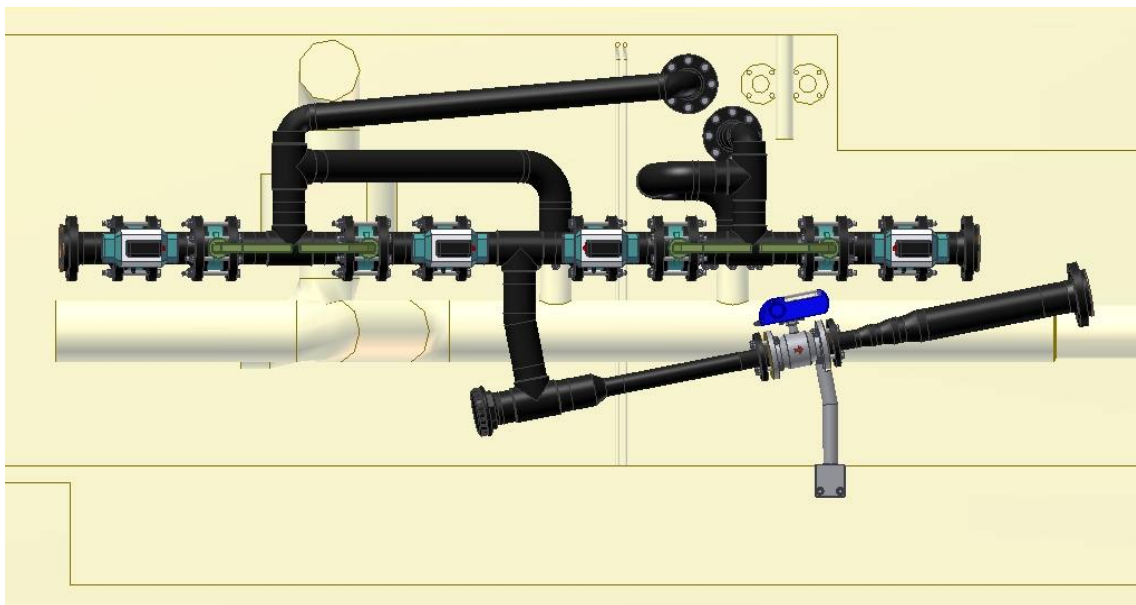
**Abb. 36: Version 12 inkl. Absperrklappen mit Antrieb und mit Handhebel (Pumpgruppe 1)**



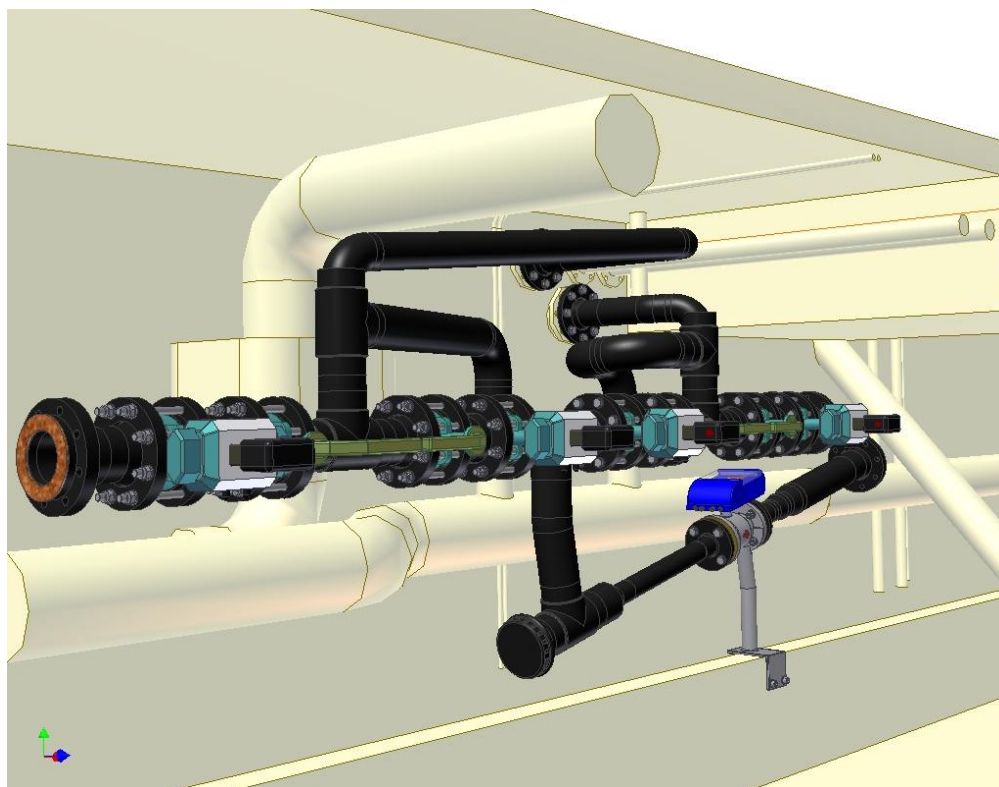
**Abb. 37: Version 12 inkl. Absperrklappen mit Antrieb und mit Handhebel (Pumpgruppe 2)**

Auf den Abbildungen 38 und 39 ist die visuelle Integration der kompletten Version 12 in den Messraum, inkl. der dazugehörigen Zu- und Überläufe an der Messstelle der Pumpgruppe 1 zu sehen. Die Anschlüsse der Überläufe an die Abwasserrohrleitung wurden so konzipiert, dass die bereits vorhandenen Flanschstutzen auf der Abwasserrohrleitung wieder verwendet werden können, wie dies bereits bei der Version 11 vorgesehen wurde. Die Messvorrichtung für die Pumpgruppe 1 wird aufgrund der

bereits bestehenden und nicht verschiebbaren Rohrleitungen im Messraum nicht parallel zur Rückwand in den Messraum integriert, sondern diagonal eingebaut (siehe auch Version 11).

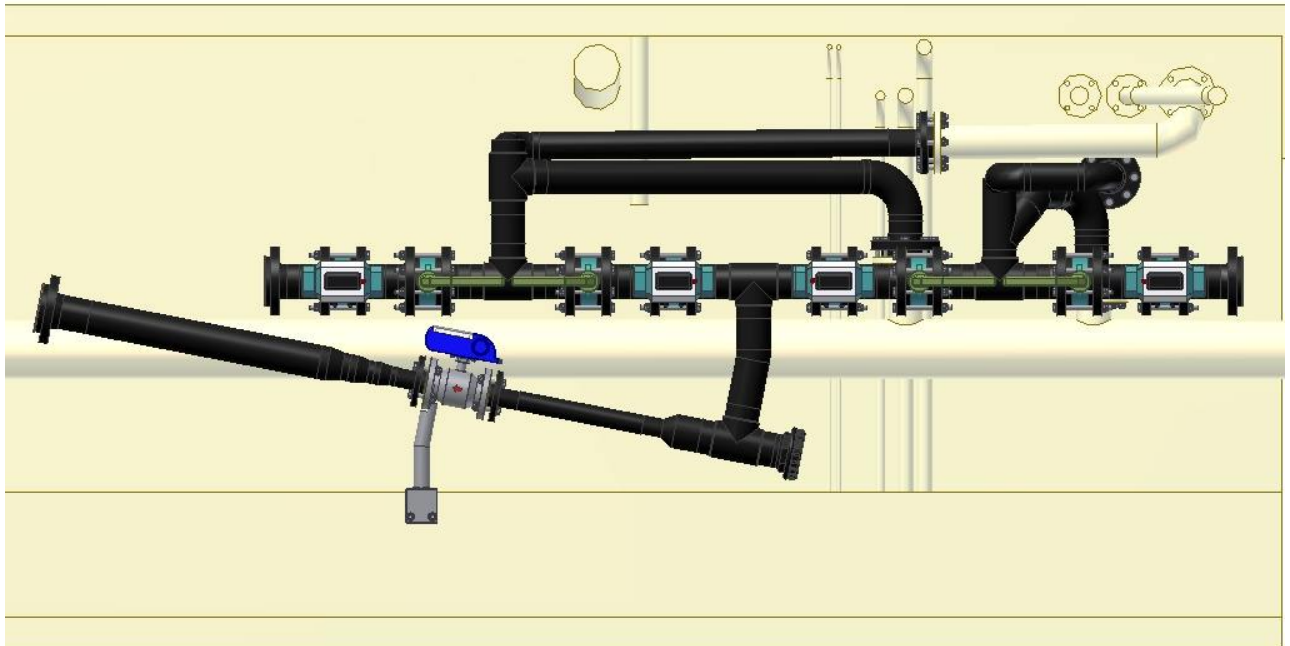


**Abb. 38: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 12) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 1 integriert (Ansicht von vorn)**

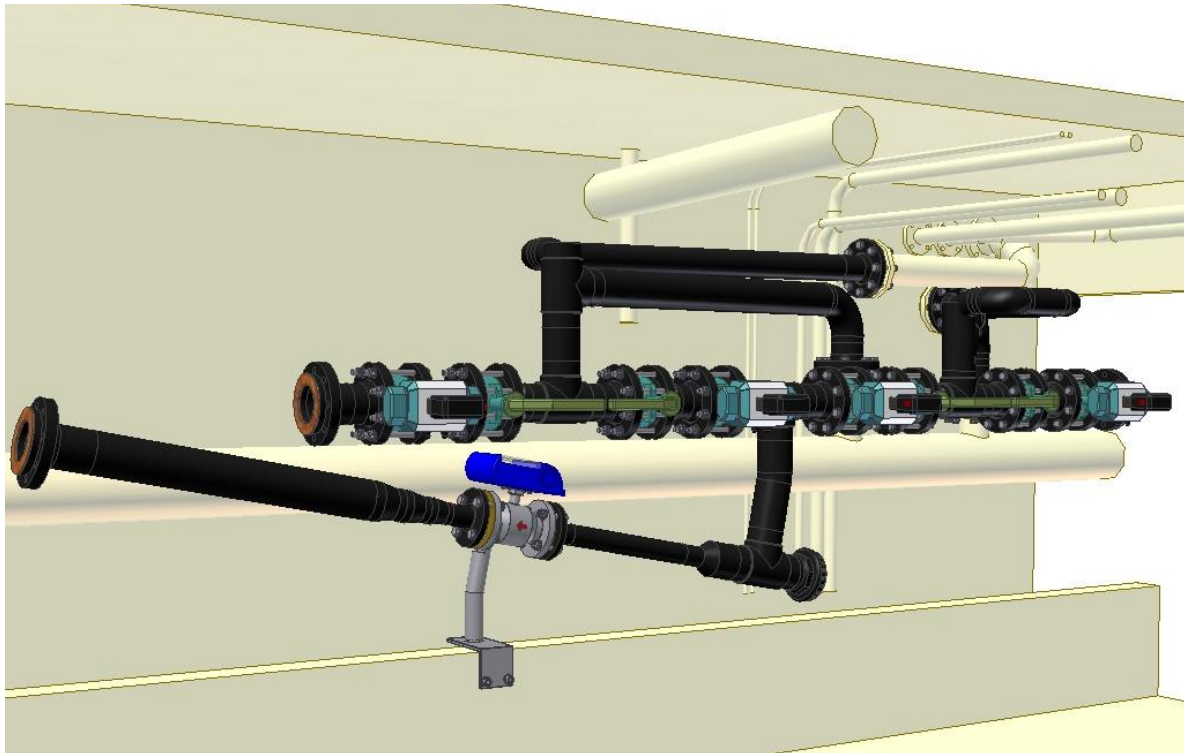


**Abb. 39: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 12) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 1 integriert (perspektivische Ansicht von links)**

Auf den Abbildungen 40 und 41 ist die visuelle Integration der kompletten Version 12 in den Messraum, inkl. der dazugehörigen Zu- und Überläufe an der Messstelle der Pumpgruppe 2 zu sehen. Die Anschlüsse der Überläufe an die Abwasserrohrleitung wurden, wie bei der Messstelle der Pumpgruppe 1, so konzipiert, dass die bereits vorhandenen Flanschstutzen auf der Abwasserrohrleitung wieder verwendet werden können.



**Abb. 40: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 12) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 2 integriert (Ansicht von vorn)**



**Abb. 41: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 12) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 2 integriert (perspektivische Ansicht von links)**

Durch die zusätzlich in dieser Version 12 verwendeten Absperrklappen mit Handhebel vergrössern sich die Dimensionen der Messvorrichtungen der Gr.1 und 2 dementsprechend. Daher müssen für diese Version die Zu- und Überläufe neu ausgelegt werden, d.h. diese stimmen mit denen der Version 11 nicht überein. Eine Zusammenbauzeichnung, eine Materialliste der benötigten Teile zur Realisierung der Messvorrichtung Version 12 Gr.1, die Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre sowie eine Vermassungszeichnung der Version 12 Gr.1 sind im Anhang 5 ersichtlich. Ebenfalls im Anhang 5 sind die Zusammenbauzeichnungen der Zu- und Überläufe (AS- und NS-Seite), die Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre und die dazugehörige Materialliste zu finden. Die entsprechenden Zeichnungen und Materiallisten der Version 12 Gr.2 sind im Anhang 6 einzusehen. Eine globale Materialliste der Version 12, welche die Messvorrichtungen beider Pumpgruppen und die dazugehörigen Zu- und Überläufe berücksichtigt, ist im Anhang 9 einzusehen.

Wie bereits bei der Version 11 erwähnt, sind die Längenangaben der auf Mass zu bringenden Rohrleitungen und Fittings für die Realisierung der Zu- und Überläufe beider Pumpgruppen mit Vorsicht zu geniessen, da diese Stücke, die soweit möglich erst vor Ort zugeschnitten werden sollten, für auftretende Anpassungsarbeiten benötigt werden. Diese Anpassungsarbeiten sind erforderlich, um die axiale Längenänderung der Rohrleitungen, die durch das Schweißen auftreten, ausgleichen zu können. Denn bei jeder durchgeführten Schweißung der PE-Werkstücke verkürzt sich das entsprechende Rohr oder Fitting um ca. 3 mm.



Auf den vorangegangenen vier Bildern ist eine mögliche Variante des Halters mit Standfuss ersichtlich, der direkt vertikal unter dem MID befestigt wird. Seine Abstützung erfolgt auf der Mauer des Ölabscheiderkanals.

Wird abschliessend zur Version 12 eine Überschlagsrechnung der anfallenden Materialkosten und der notwendigen Arbeiten durchgeführt, ist ersichtlich, dass die Kosten für die Realisierung dieser Version doch ziemlich hoch ausfallen. Für die Verwirklichung dieser Version 12 sind folgender Arbeitsaufwand und Beschaffungskosten erforderlich:

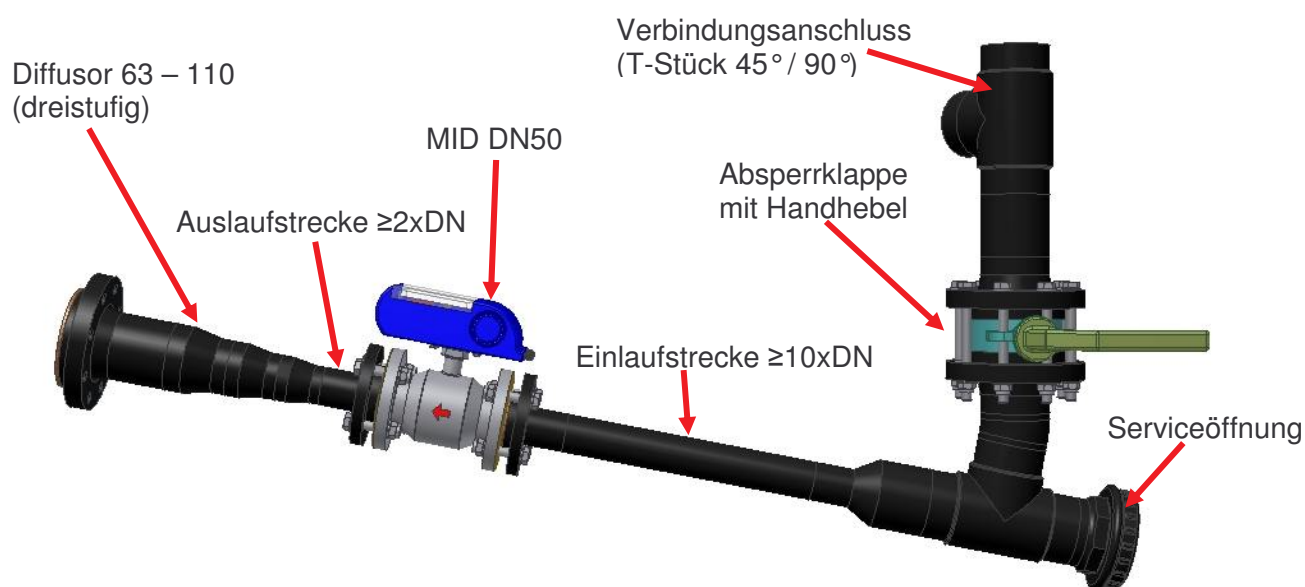
- Rohrmaterial- und Fittingskosten: CHF 17'519.95 (siehe Anhang 9)
- Erstellen der elektrischen Leitungen für die Durchflussmesser und die Absperrklappen mit pneumatisch einfach wirkendem Antrieb
- Erstellen der Leitungen zur Signalübertragung der Messwerte
- Erstellen der Leitungen zur Signalübertragung der Endschalter
- Erstellen der Druckluftleitungen zur Betätigung der Absperrklappen
- Programmierung der SPS-Steuerung (1 Tag [François Moulin])
- Programmierung der Software zur Messdatenarchivierung (bis 3 Tage [François Moulin])
- Inbetriebnahme der Steuerung und Regelung der Anlage (1 Tag [François Moulin])

Diese Preise und Arbeiten beziehen sich auf die Realisierung der Messvorrichtung der Pumpgruppen 1 und 2. Anhand von diesen relativ hohen Material- und Arbeitskosten wird eine Alternative zur Version 12 vorgeschlagen. Diese bezieht sich auf die bereits in Kap. 6.2 [1.12] vorgeschlagene Lösung mit zwei MID pro Pumpgruppe und wird nachfolgend als Version 13 präsentiert. Diese Ausführung der Messvorrichtung misst das AS- und NS-Spaltwasser jeder Pumpgruppe separat und kontinuierlich. Die Absperrklappen mit einfach wirkendem Antrieb entfallen, die Anzahl der Absperrklappen mit Handhebel reduziert sich stark, da in jeder Messvorrichtung nur eine einzige Klappe verbaut wird. Diese wird konzipiert, um das Spaltwasser direkt in den Überlauf leiten zu können, ohne dass es einer Messung unterzogen wird, so dass am MID Wartungs- und Reparaturarbeiten durchgeführt werden können. Eine genauere Beschreibung der Überläufe wird noch bei der Version 13 gegeben.

### ***Kontinuierliche Messung: Version 13***

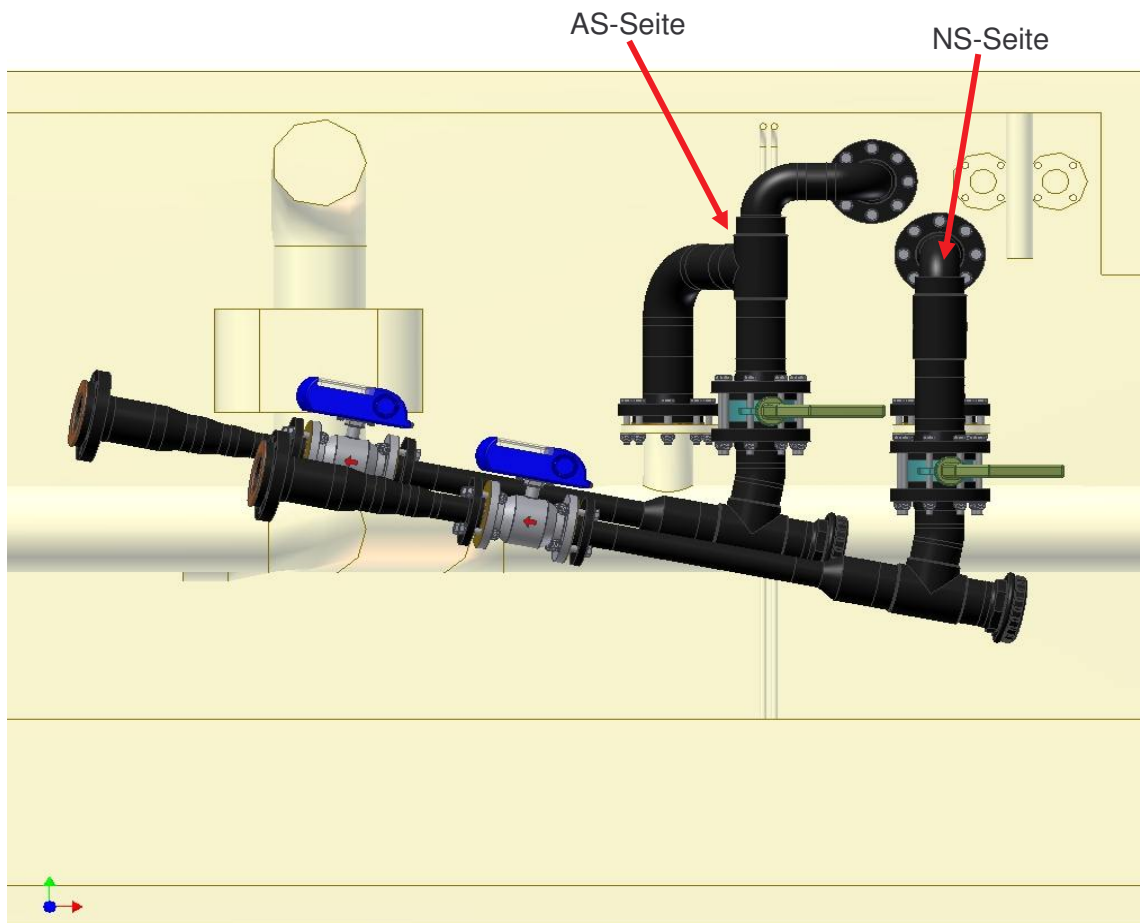
Die Version 13 verfügt über zwei separate magnetisch-induktive Durchflussmesser pro Pumpgruppe und kann somit beide Spaltwasser einer Pumpgruppe (AS- und NS-Seite) gleichzeitig und kontinuierlich messen. Diese Ausführung mit einem magnetisch-induktiven Durchflussmesser pro Spaltwasser wurde bereits in Kap. 6.2 [1.12] vorgeschlagen, wurde aber zu Beginn dieser Arbeit aufgrund der Investitionskosten beiseite gelassen. Die Erarbeitung der Versionen 12 und 13 hat aber gezeigt, dass die Materialkosten der Messvorrichtung der Version 12 mit denjenigen der Version 13 beinahe identisch sind (siehe Anhang 9), weshalb an dieser Stelle nochmals auf die in Kap. 6.2 [1.12] vorgeschlagene Ausführung zurückgegriffen wird.

Zusätzlich zu den vier magnetisch-induktiven Durchflussmessern verfügt die Version 13 über eine einzige Absperrklappe mit Handhebel. Die Absperrklappen mit pneumatisch einfach wirkendem Antrieb entfallen, da bei dieser Ausführung keine Regelung und Steuerung des Spaltwassers erforderlich ist. Die einzige Absperrklappe, die verwendet wird, wird notwendig, um das Spaltwasser direkt, d.h. ohne einer Messung unterzogen zu werden, in den Überlauf zu leiten und von dort durch die Abwasserrohrleitung ins Freie zu befördern. Dies ist der Fall, wenn am MID oder an den Rohrleitungen Reparaturen oder Servicearbeiten während des Pumpbetriebs durchgeführt werden. Zu diesen Servicearbeiten gehört unter anderem das periodische Entleeren der Leitungen, um die Sedimentablagerungen, die sich mit der Zeit in dem dafür vorgesehenen Rohrleitungsabschnitt ansammeln, beseitigen zu können. Da es sich bei den vier Messvorrichtungen der Version 13 für die Pumpgruppen 1 und 2 (AS- und NS-Seite) beinahe um identische Ausführungen handelt, wird an dieser Stelle nur die Abbildung der Messvorrichtung Version 13 der Pumpgruppe 1 AS-Seite gezeigt. Diese verfügt, wie auf Abbildung 42 zu sehen ist, über die erforderlichen Ein- ( $\geq 10 \times \text{DN}$ ) und Auslaufstrecken ( $\geq 2 \times \text{DN}$ ). Der Einbau der einzelnen Spaltwassermessvorrichtungen (zwei pro Pumpgruppe) erfolgt durch deren hintereinander parallel verlaufende Anordnung und ist auf den Abbildungen 43 – 48 zu sehen. Die bereits bestehenden Flanschstutzen wurden in das Konzept der neuen Messvorrichtung integriert und fungieren als Anschlussflansche für die Überlaufleitungen, wie dies auf den Abbildungen 38 – 41 und 43 – 48 zu sehen ist.

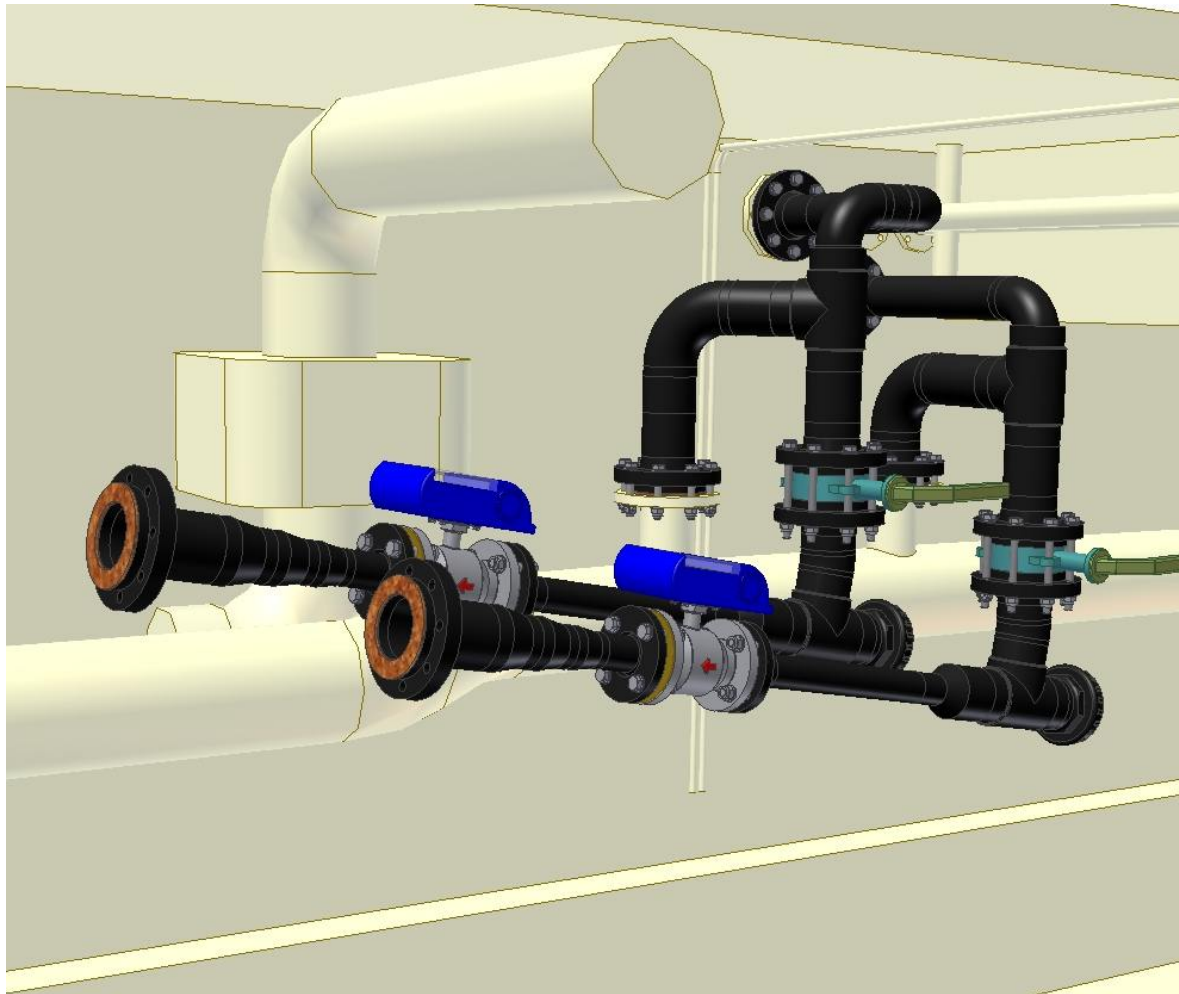


**Abb. 42: Version 13 (MID DN50 und Absperrklappe mit Handhebel)**

Auf den Abbildungen 43 und 44 ist die visuelle Integration in den Messraum der Version 13 aus verschiedenen Blickwinkel an der Messstelle der Pumpgruppe 1 zu sehen.



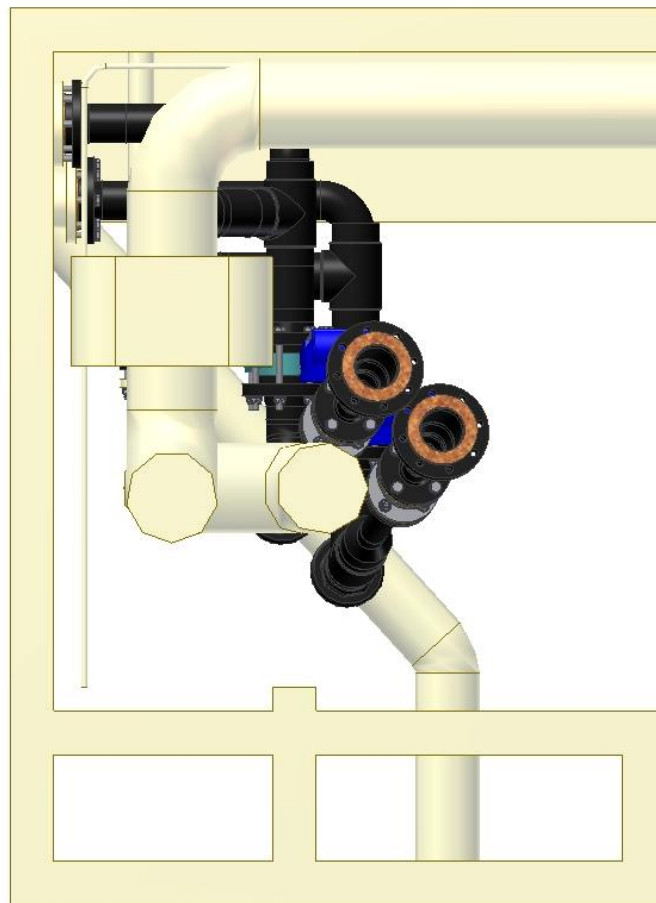
**Abb. 43: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 13) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 1 integriert (Ansicht von vorn)**



**Abb. 44: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 13) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 1 integriert (perspektivische Ansicht von links)**

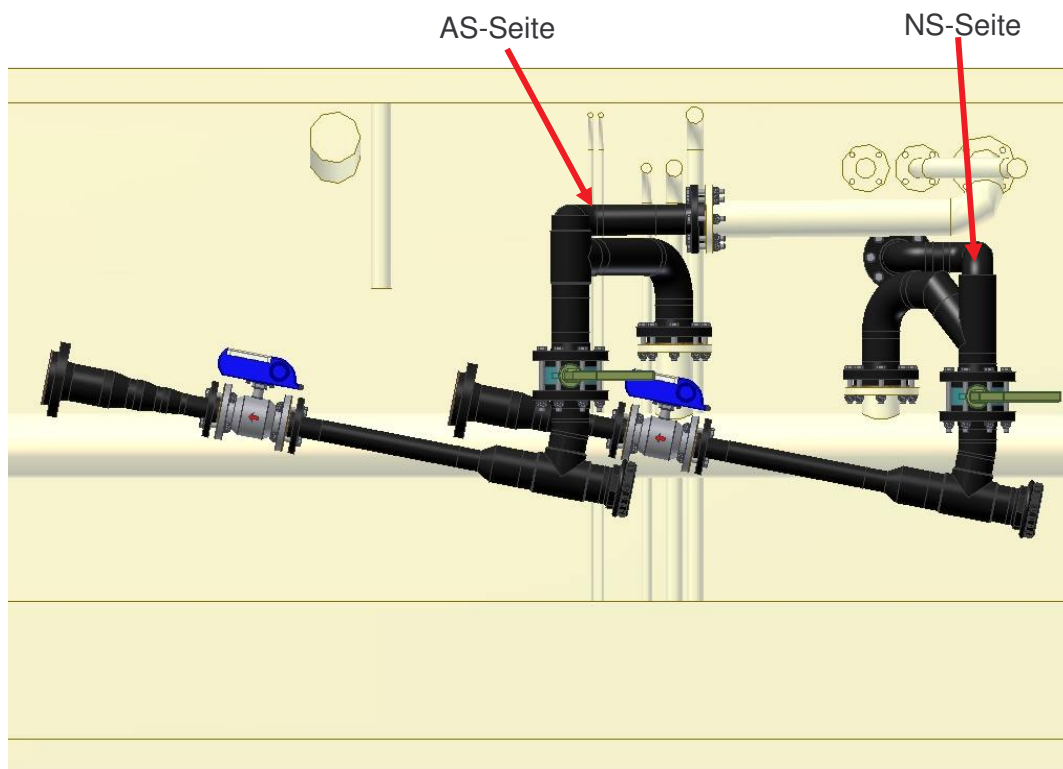
Auf der Abbildung 45 ist noch zusätzlich die Version 13 an der Messstelle der Pumpgruppe 1 im Messraum ersichtlich, welche die Ansicht von links wiedergibt. Auf dieser Abbildung 45, wie auch den zwei vorangegangenen Abbildungen, ist die hintereinander parallel verlaufende Anordnung der Messvorrichtung und deren diagonale Einbau in den Messraum zu erkennen.



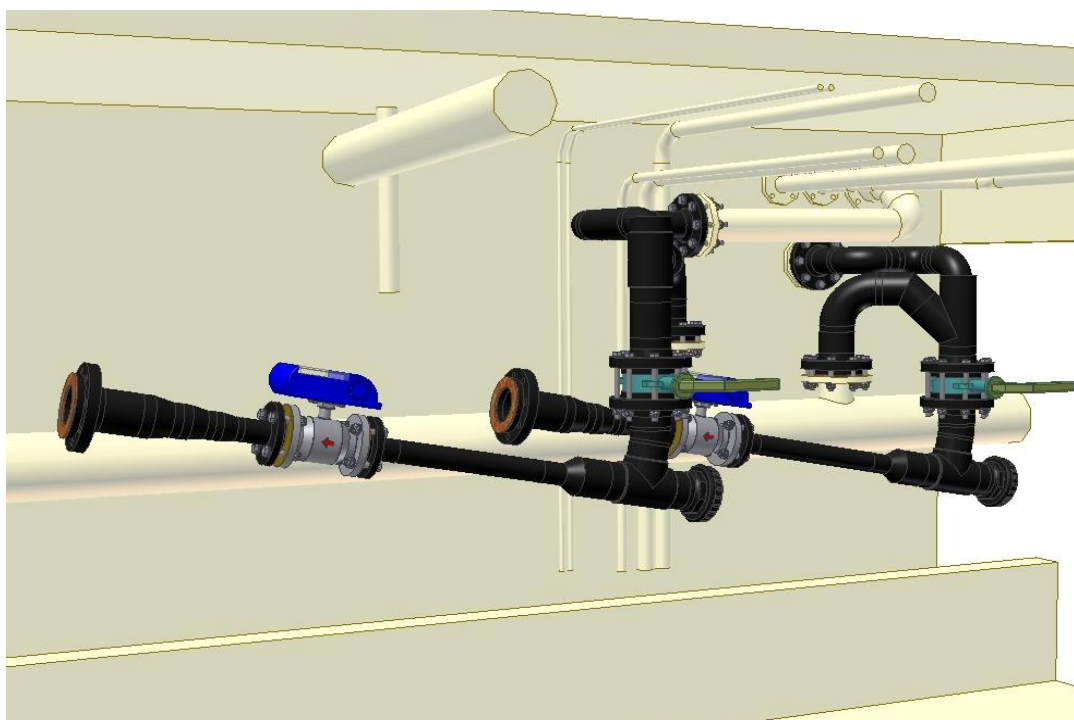


**Abb. 45: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 13) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 1 integriert (Ansicht von links)**

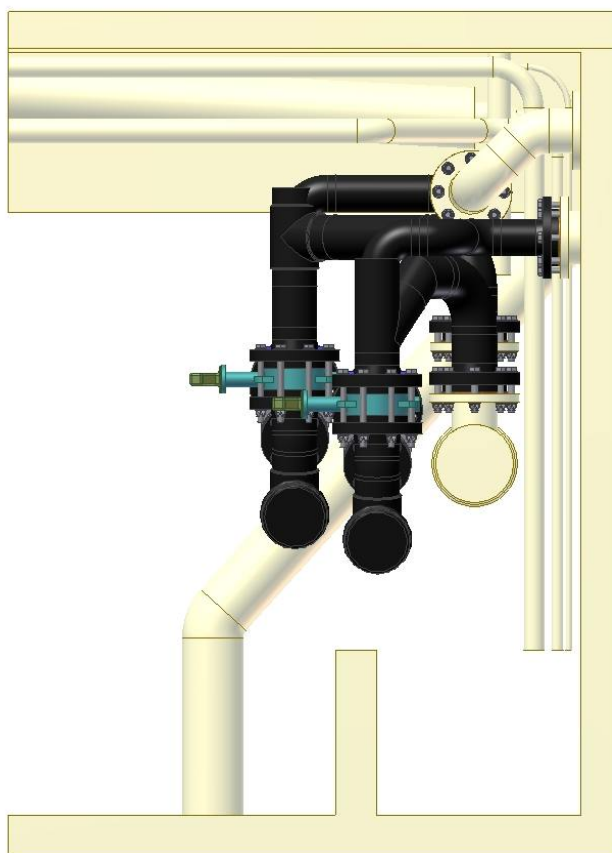
Auf den Abbildungen 46 – 48 ist die visuelle Integration in den Messraum der Version 13 aus verschiedenen Blickwinkeln an der Messstelle der Pumpgruppe 2 zu sehen. Die Abbildung 46 zeigt die Ansicht von vorn, die Abbildung 47 die perspektivische Ansicht von der Seite und auf der Abbildung 48 ist die Ansicht von rechts zu sehen. Die Messvorrichtungen der Version 13 für die Pumpgruppe 2 unterscheiden sich in den Dimensionen kaum – dies gilt auch für die Messvorrichtungen der Pumpgruppe 1 – und die Zuleitungen bzw. die Überlaufanschlussflanschstützen befinden sich nicht auf gleicher vertikaler Höhe. Dagegen befinden sich die Absperrklappen konstruktionsbedingt beinahe auf gleicher vertikaler Höhe. Ausserdem wurde die Anordnung der Messvorrichtungen in Längsrichtung (horizontale Richtung) versetzt, damit eventuell auftretende Arbeiten am MID der Messvorrichtung des NS-Spaltwassers einfacher auszuführen sind. Auf diese Weise wird der MID des NS-Spaltwassers nicht von dem MID oder von der Absperrklappe der Messvorrichtung des AS-Spaltwassers verdeckt und die Arbeiten am MID des NS-Spaltwassers können ohne schwerwiegende Einschränkungen durchgeführt werden. Dies ist auf Abbildung 46 gut ersichtlich. Diese Möglichkeit ist bei den Messvorrichtungen für die Pumpgruppe 1 nicht vorhanden, da hier der verfügbare Raum stärker eingeschränkt ist.



**Abb. 46: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 13) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 2 integriert (Ansicht von vorn)**



**Abb. 47: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 13) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 2 integriert (perspektivische Ansicht von links)**



**Abb. 48: Komplette Messvorrichtung inkl. Zu- und Überläufe (Version 13) visuell in den Messraum bei der Pumpgruppe 2 integriert (Ansicht von rechts)**

Eine Zusammenbauzeichnung, eine Materialliste der benötigten Teile zur Realisierung der Messvorrichtung Version 13 Gr.1 (AS- und NS-Seite), die Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre (AS- und NS-Seite) sowie eine Vermassungszeichnung der Version 13 Gr.1 (AS- und NS-Seite) sind im Anhang 7 ersichtlich. Ebenfalls im Anhang 7 sind die Zusammenbauzeichnungen der Zu- und Überläufe (AS- und NS-Seite), die Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre (AS- und NS-Seite) und die dazugehörige Materialliste zu finden. Die entsprechenden Zeichnungen und Materiallisten der Version 13 Gr.2 (AS- und NS-Seite) sind im Anhang 8 einzusehen. Eine umfassende Materialliste der Version 13, welche die Messvorrichtungen beider Pumpgruppen und die dazugehörigen Zu- und Überläufe berücksichtigt, ist im Anhang 9 einzusehen.

Wie bereits bei der Version 11 und 12 erwähnt, sind die Längenangaben der auf Mass zu bringenden Rohrleitungen und Fittings für die Realisierung der Zu- und Überläufe beider Pumpgruppen mit Vorsicht zu geniessen, da diese Stücke, die so weit möglich erst vor Ort zugeschnitten werden sollten, für auftretende Anpassungsarbeiten benötigt werden. Diese Anpassungsarbeiten sind erforderlich, um die axiale Längenänderung der Rohrleitungen, die durch das Schweissen auftreten, ausgleichen zu können. Denn bei jeder durchgeführten Schweissung der PE-Werkstücke verkürzt sich das entsprechende Rohr oder Fitting um ca. 3 mm.

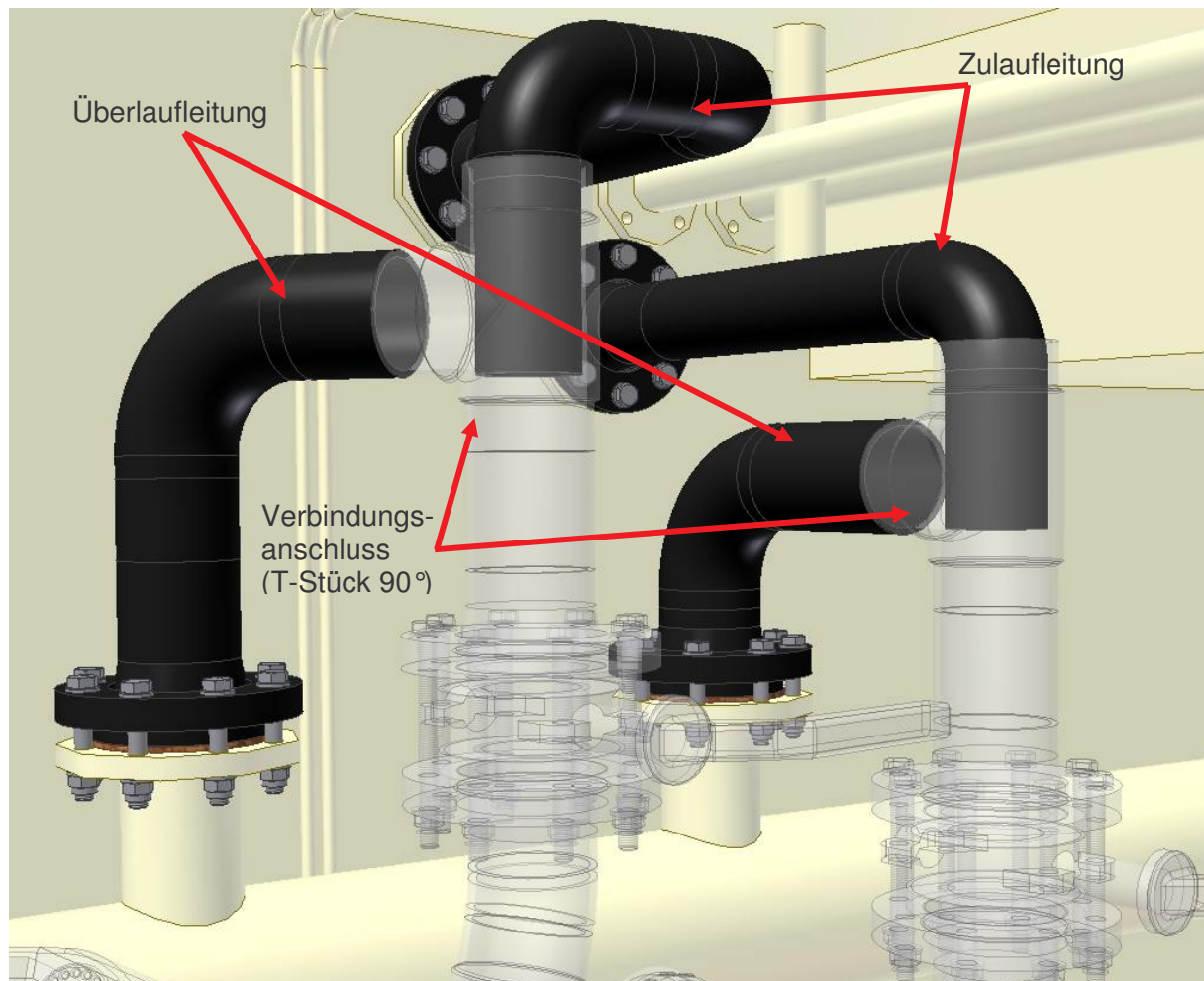
Auf den Abbildungen 34, 35, 38 – 41 und 43 - 48 sind keinerlei Verbindungsrohre zwischen Messvorrichtung und Abwasserrohrleitung zu erkennen. Diese Anpassungsarbeiten, welche das Aufschweissen von Flanschstutzen, das Anbringen von Bögen und ggf. von geraden Rohrstücken beinhaltet, werden, nach Rücksprache mit Herrn Dietmar Truffer, von den Mitarbeitern des Pumpwerkes z' Mutt übernommen. Ebenfalls werden diese Mitarbeiter, wie bereits erwähnt, die Abstützungs- und Aufhängungsvorrichtung realisieren.

Da die zurzeit bestehenden originalen Zulaufrohrleitungen durch die Rückwand des Messraumes verlaufen (in das Mauerwerk einbetoniert oder durch ein durchgehendes Loch geführt) und daher nur schwer ausgewechselt werden können, werden diese Leitungen auf die gewünschte Länge gekürzt und mit einem Flansch versehen (siehe Abb. 34, 35, 38 – 41 und 43 - 48). Dieser Flansch wird aus Stahl sein, um ihn mit den vorhandenen Stahlgussrohren verschweissen zu können. Diese Schweissarbeiten werden, ebenfalls nach Rücksprache mit Herrn Dietmar Truffer, durch die Mitarbeiter des Pumpwerkes z' Mutt ausgeführt.

Um zu garantieren, dass das gesamte AS- und NS-Spaltwasser einer Pumpgruppe in die Messvorrichtung und durch den magnetisch-induktiven Durchflussmesser strömen kann, wird die Zulaufleitung dementsprechend konzipiert. So wird das Zulaufleitungsende mithilfe von ausreichend langen geraden Rohrstücken bis unterhalb der Überlaufleitungsöffnung gezogen (siehe Abbildung 49). Auf diese Weise wird sichergestellt, dass das Spaltwasser nicht direkt von der Zulaufleitung in die Überlaufleitung gelangen kann. Wäre dies der Fall, so würde nicht das gesamte Spaltwasser gemessen, was wiederum ein falsches Bild über den Abnutzungsgrad der Labyrinthdichtungen liefern würde. An dieser Stelle wird nur die Abbildung der Zulaufleitungen der Messvorrichtung Version 13 Gr. 1, welche bis unterhalb der Überlaufleitungsöffnung in die Messvorrichtung hineinragt, gezeigt. Diese Abbildung ist aber stellvertretend für die Versionen 11 und 12 anzusehen, weil bei diesen Versionen ebenfalls die Zulaufleitung bis unterhalb der Überlaufleitungsöffnung hineinragt.

Ebenfalls stellvertretend für die Versionen 11 und 12 sind auf der Abbildung 49 die Verbindungsanschlüsse der Messvorrichtung für die Zu- und Überläufe ersichtlich. Diese T-Stücke 45° / 90° sind ausserdem auf den Abbildungen 32 – 48 zu sehen. Die Zulaufleitung mit Aussendurchmesser von 90 mm wird in das T-Stück mit einem Innendurchmesser von 97.4 mm eingeführt, ohne eine feste Bindung mit diesem einzugehen, um den freien Wasserspiegel zu gewährleisten. Dieser ist erforderlich, damit das Spaltwasser am Eintritt der Messvorrichtung unter Atmosphärendruck steht und auf keinen Fall in den Hydraulikölkreislauf gelangen kann. Die Überlaufleitung wird mittels einer Schweissung an das T-Stück seitlich angebracht





**Abb. 49: Hineinragen der Zulaufleitung bis unterhalb der Überlaufleitungsöffnung und T-Stücke 90° als Verbindungsanschluss (Version 13 Gr.1 AS- und NS)**

Zusammenfassend kann zur Version 13 gesagt werden, dass die Materialkosten zur Realisierung dieser Version, trotz der vier benötigten magnetisch-induktiven Durchflussmessern, in etwa denjenigen der Version 12 entsprechen (siehe Anhang 9). Bei der Version 13 entfallen die Kosten für die Programmierung der SPS-Steuerung, wogegen die Kosten für die Programmierung der Software bestehen bleiben. Ausserdem entfallen die Realisierung der Luftdruckleitungen und die Erstellung der nötigen elektrischen Leitungen, die für die Version 12 erforderlich sind. Die Version 13 erfordert lediglich die Erstellung der elektrischen Leitungen für die Speisung der Durchflussmesser und die Übertragung des analogen Ausgangssignals, welches der Durchflussmesser liefert. Durch die kompakte horizontale und vertikale Bauart der Messvorrichtung der Version 13 und die nicht vorhandenen horizontalen Rohrleitungen, im Vergleich zu den Versionen 11 und 12, kann die Luft, die in den Rohrleitungen vorhanden ist, besser entweichen. Dadurch wird das Fließen des Spaltwassers durch die Messvorrichtung nicht beeinträchtigt.

## 4.5 Druckverluste

In diesem Abschnitt werden die Druckverlustberechnungen erläutert. Diese wurden, wie in der Hydraulik üblich, mittels der klassischen Berechnung nach Colebrook durchgeführt und die dafür nötigen Berechnungsformeln stammen aus [1.1] Kap. 4.7. Die benötigten Formeln werden aber hier nochmals zur Erinnerung aufgeführt und interpretiert. Es versteht sich von selber, dass nicht alle Berechnungen jeder einzelnen Version im Anhang aufgeführt werden. Im Anhang 10 sind nur die Druckverlustberechnungen der endgültigen Messvorrichtungen für die Pumpgruppe 1 und 2 (Version 12) detailliert aufgeführt, da die Konstruktionsbeschränkungen für diese Messvorrichtung am unangenehmsten ausfallen. Sind die berechneten Druckverluste der Messvorrichtung für die Pumpgruppe 2 im erlaubten Rahmen, so sind sie es auch für die Messvorrichtung der Pumpgruppe 1 (siehe Kap. 4.2). Diese Berechnungen beziehen sich auf die technischen Zeichnungen der endgültigen Lösung, die in den Anhängen 5 und 6 wiederzufinden sind. Die einzelnen Terme der folgenden Formeln werden nur erläutert, wenn diese nicht im Abschnitt "Abkürzungen / Bezeichnungen" bereits erwähnt wurden.

### Druckabfall in einer geraden Rohrleitung

$$\Delta p_v = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{C^2}{2} \quad (4.1)$$

$L$  stellt die Länge der Rohrleitung dar.

$\lambda$  wird anhand nachstehender Formel von Colebrook berechnet.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left( \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + 0.27 \cdot \frac{K}{D} \right) \quad (4.2)$$

In dieser Formel bezeichnet  $K$  die äquivalente Sandrauigkeit; PE-Rohre nehmen nach Tafel 31 in [1.1]  $K = 0.0013 \text{ mm}$  an.

Die Reynolds-Zahl  $Re$  wird für eine Rohrleitung folgendermassen definiert:

$$Re = \frac{\rho \cdot C \cdot D}{\mu} = \frac{C \cdot D}{\nu} \quad (4.3)$$

mit der Dichte  $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  und der kinematischen Viskosität von Wasser bei

$\sim 5^\circ\text{C}$   $\nu = 1.5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$  (Tafeln 5 und 12 in [1.1]).

### **Druckabfall in Krümmern**

$$\Delta p_v = \zeta_k \cdot \rho \cdot \frac{C^2}{2} \quad (4.4)$$

wobei  $\zeta_k$  die Widerstandszahl eines Krümmers bezeichnet. Diese berechnet sich folgendermassen:

$$\zeta_k = \zeta_U + \zeta_R \quad (4.5)$$

wobei die Widerstandsbeiwerte  $\zeta_U$  und  $\zeta_R$  folgendermassen berechnet werden:

$$\zeta_U = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (4.6)$$

$$\zeta_R = 0.0175 \cdot \lambda \cdot \frac{R}{D} \cdot \Theta^\circ \quad (4.7)$$

In Formel (4.7) bezeichnet  $\Theta^\circ$  den Umlenkwinkel in Grad. Die Beiwerte  $K_1, K_2, K_3$  werden je nach Verhältnis  $\frac{R}{D}$  ( $\frac{R}{D} = 0$  für ein Kniestück) anhand der Bilder 4.140 – 4.144 in [1.1] bestimmt.

### **Druckabfall in Kniestücken**

Die Druckverlustberechnungen infolge eines Kniestückes sind, bis auf die Bestimmung von  $\zeta_k$ , identisch mit denjenigen eines Kniestückes. Daher gelten für diesen Fall ebenfalls die Formel (4.4).  $\zeta_k$  wird anhand Bild 4.147 in [1.1] bestimmt.

### **Druckabfall in einem Diffusor**

$$\Delta p_v = \zeta_1 \cdot \rho \cdot \frac{C_1^2}{2} \quad (4.8)$$

In dieser Formel bezeichnet  $C_1$  die Strömungsgeschwindigkeit im kleineren Querschnitt. Der Widerstandsbeiwert  $\zeta_1$  setzt sich nach Formel (4.9) zusammen aus

$$\zeta_1 = \zeta_E + \zeta_R \quad (4.9)$$

wobei sich die einzelnen Terme  $\zeta_E$  und  $\zeta_R$  folgendermassen berechnen:

$$\zeta_E = 3.2 \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \cdot \sqrt[4]{\tan \frac{\varphi}{2}} \cdot \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (4.10)$$

$$\zeta_R = \frac{\lambda}{8 \cdot \sin \frac{\varphi}{2}} \cdot \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2\right] \quad (4.11)$$

wobei die Formeln (4.10) und (4.11) im Bereich  $0 < \varphi < 40^\circ$  gültig sind und

$\lambda = f\left(R e_1; \frac{D_1}{K}\right)$  nach (4.2) ist. In diesen Formeln bezeichnen  $\varphi$  den Öffnungswinkel,  $A_1$  den Querschnitt vor der Querschnittsvergrößerung und  $A_2$  den Querschnitt nach dieser.

#### **Druckabfall in einem Konfusor (Reduktion)**

$$\Delta p_v = \zeta_2 \cdot \rho \cdot \frac{C_2^2}{2} \quad (4.12)$$

In dieser Formel stellt  $C_2$  die Strömungsgeschwindigkeit nach der Querschnittsverengung dar. Der Widerstandsbeiwert  $\zeta_2$  wird anhand Formel (4.13) berechnet:

$$\zeta_2 = \zeta_K + \zeta_R \quad (4.13)$$

wobei sich der Term  $\zeta_R$  aus (4.13) folgendermassen berechnen lässt:

$$\zeta_R = 1.2 \cdot \lambda \cdot \frac{l_k}{D_2} \quad (4.14)$$

In der Formel (4.14) bezeichnet  $l_k$  die Stufenlänge des Konfusors und  $D_2$  den Innendurchmesser der Rohrleitung nach der Querschnittsverengung. Zur Bestimmung des Beschleunigungswertes  $\zeta_K$  wird das Bild 4.132 in [1.1] empfohlen. Dieses Bild zeigt  $\zeta_K$  in Abhängigkeit vom Öffnungswinkel  $\varphi$  und vom Flächenverhältnis  $\frac{A_2}{A_1}$ .

#### **Druckabfall in Absperrarmaturen**

$$\Delta p_v = \zeta \cdot \rho \cdot \frac{C^2}{2} \quad (4.15)$$



Der Term  $\zeta$  aus (4.15) wird anhand Formel (4.16) mit dem sogenannten  $k_v$ -Wert berechnet, vorausgesetzt dieser ist bekannt. Normalerweise wird dieser Wert von den Herstellern für jede Armatur bekannt gegeben. Der  $k_v$ -Wert ist der Volumenstrom  $\dot{V}$  kalten Wassers ( $5^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$ ), der bei einer Druckdifferenz  $\Delta p_v = 1 \text{ bar}$  durch die Armatur strömt. Der  $k_v$ -Wert ist nicht dimensionslos wie der  $\zeta$ -Wert und hat die Einheit  $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ .

$$D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 100000}{\zeta \cdot 1000}} = \frac{k_v}{3600} \quad (4.16)$$

### **Druckabfall in einem Rohrauslauf ins Freie**

$$\Delta p_{v,a} = \zeta_a \cdot \rho \cdot \frac{C^2}{2} \quad (4.17)$$

Der Widerstandsbeiwert  $\zeta_a$  hängt vom Geschwindigkeitsprofil am Austrittsquerschnitt ab und kann aus Tabelle 4.18 in [1.1] entnommen werden. Es wird an dieser Stelle  $\zeta_a = 1$  angenommen, d.h. die gesamte kinetische Energie am Austritt wird als Verlust gerechnet.

Die totalen Druckverluste einer Rohrkonstruktion setzen sich aus der Summe der einzelnen Druckverluste zusammen. Für die Messvorrichtungen der Pumpgruppen 1 & 2 sind diese Druckverluste wie bereits erwähnt im Anhang 10 ersichtlich und beträgt für die Version 12 Gr.2 NS-Seite (schlimmster auftretender Fall) 231 mmWS, bei einer vorhandenen möglichen Wassersäule von 319 mmWS. Das ergibt eine Druckverlustreserve von 88 mmWS. Diese Berechnungen beziehen sich allerdings nur auf die Rohrleitung von der Höhe des Zulaufes, durch die zwei Absperrklappen (manuell und pneumatisch betätigt) und durch den magnetisch-induktiven Durchflussmesser bis zum Vorschweissbund am Ende der PE-Rohrleitung. Ebenfalls sind die Druckverluste infolge eines Rohrauslaufs ins Freie in diesen Berechnungen berücksichtigt. An dem Vorschweissbund am Ende der PE-Rohrleitung wird die restliche Rohrkonstruktion aus Stahl oder Guss vor Ort montiert und dadurch wird der Abfluss ins bereits bestehende, stählerne Abwasserrohr gewährleistet. Dieser Rohrabschnitt, welcher durch Anpassungsarbeiten realisiert wird, muss so kurz wie möglich bewerkstelligt werden, um zu grosse zusätzliche Druckverluste zu vermeiden (siehe auch Kap. 4.4).

## 5 Schlussfolgerung / Quintessenz

Die ungenügende Messgenauigkeit der Durchflussmessung des Spaltwassers der Labyrinthdichtungen der Pumpgruppen 1 und 2 und die von diesen Messdaten abhängigen Aussagen über den Zustand dieser speziellen Dichtungen war der Beweggrund für die Durchführung der Semesterarbeit [1.12], welche im Frühjahr dieses Jahres von der Firma HYDRO Exploitation SA in Auftrag gegeben wurde. Die vorliegende Arbeit ist die nahtlose Weiterführung der soeben erwähnten Semesterarbeit und wurde von den Firmen Grande Dixence SA und HYDRO Exploitation SA in Auftrag gegeben.

Zu Beginn dieser Arbeit wurde aus den drei in Kap. 6 [1.12] vorgeschlagenen Lösungsvorschlägen die bestgeeignete Durchflussmessmethode ausgewählt. In Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen der Auftraggeber fiel die Wahl auf das Prinzip mit magnetisch-induktivem Durchflussmesser MID. Die Kriterien, welche für die Wahl ausschlaggebend waren, waren unter anderem die Messgenauigkeit des Durchflussmessprinzips, die anfallenden Investitionskosten und die Realisierbarkeit der Messvorrichtung im zur Verfügung stehenden Raum.

Der anschliessende Arbeitsschritt umfasste die Begutachtung der bereits existierenden Rohrleitungen und des zur Verfügung stehenden Platzangebotes. Das Ausmessen und das Protokollieren der aufgenommenen Daten erlaubte nachfolgend, den Messraum mit den vorhandenen Rohrleitungen mit Hilfe eines 3D-CAD-Programmes [5.1] visuell darzustellen. Dieser Arbeitsschritt war erforderlich, um die verschiedenen Messvorrichtungen der jeweiligen Entwicklungsphasen in den Messraum visuell zu integrieren und ggf. Anpassungsarbeiten und Änderungen vornehmen zu können.

Zu den weiteren wichtigen Arbeitsschritten gehörten auch die Werkstoffauswahl der Rohrleitungen sowie die Wahl der Lieferanten der benötigten Produkte (Rohre, Armaturen, MID, ...). Dabei wurden das entsprechende Lieferprogramm des jeweiligen Lieferanten wie auch die Preise der Produkte berücksichtigt.

Schlussendlich wurden drei Lösungsvorschläge (Versionen 11 – 13) ausgearbeitet, die sich in ihrer Messmethode nicht unterscheiden. Die Versionen 11 und 12 arbeiten nach dem im Kap. 4.3 aufgezeigten Messprinzip. Die Version 11, welche die billigste Variante ist (ca. CHF 15'000.-, siehe Anhang 9), besteht aus je vier Absperrklappen (mit Handhebel oder mit pneumatisch einfach wirkendem Antrieb) pro AS- oder NS-Seite einer Pumpe und erfüllt vollumfänglich das mit den Auftraggebern zu Beginn dieser Arbeit erstellte Pflichtenheft. Die Version 12 verfügt neben den vier Absperrklappen, welche bereits in Version 11 verwendet wurden, noch über weitere vier Absperrklappen mit Handhebel, um den Spaltwasserfluss während Reparatur- oder Servicearbeiten unterbrechen zu können. Mit beiden Versionen 11 und 12 kann entweder das AS-Spaltwasser oder das NS-Spaltwasser einer Pumpgruppe gemessen werden, da die Messvorrichtung in beiden Versionen nur über einen einzigen magnetisch-induktiven Durchflussmesser verfügt. Die Materialkosten der Version 12 liegen in etwa im Bereich der Version 13 und betragen ca. CHF 17'500.- (siehe Anhang 9).

Die zusätzliche Arbeit, die bei einer allfälligen Realisierung der Version 12 anfallen würde, ist die aufwendige Erstellung der Luftdruckleitungen in den Messraum, welche zur Steuerung der Absperrklappen mit Antrieb benötigt werden. Die Erstellung der elektrischen Leitungen zur Speisung der Durchflussmesser und der Signalübertragung fallen bei jeder Version an, wie auch die Programmierung der Software, welche die Messdaten speichern und visuell darstellen kann. Die Version 13 ermöglicht eine gleichzeitige und kontinuierliche Messung der Spaltwasser (AS- und NS-Seite) einer Pumpgruppe, da sie über vier einzelne magnetisch-induktive Durchflussmesser verfügt. Der Preis dieser Version beträgt ca. CHF 17'700.- (siehe Anhang 9) und ist somit die teuerste, wobei, wie bereits erwähnt, der entscheidende Vorteil dieser Version in der Möglichkeit zur separaten Messung jedes einzelnen Spaltwassers liegt sowie im Verzicht auf alle Luftdruckleitungen, auf die elektrischen Leitungen zur Steuerung der Absperrklappen und auf deren Steuerung und Überwachung mittels SPS. Alle soeben erwähnten Preise beinhalten nur die Materialkosten (Rohre, Fittings, MID) der jeweiligen Version, ohne die zusätzlich erforderlichen Arbeiten, die je nach Ausführung variieren.

Die erforderlichen Aufhängungs- und Abstützungsarbeiten werden, nach Rücksprache mit Herrn Dietmar Truffer, von den Mitarbeitern des Pumpwerkes z' Mutt durchgeführt. Diese realisieren ebenfalls die Arbeiten bezüglich der Anschlüsse zwischen Messvorrichtung und Abwasserrohrleitung (Aufschweissen von Flanschstutzen und Flansche und das Anbringen von Bögen und ggf. geraden Rohrleitungsstücken).

Die Programmierung einer Software für die Speicherung und die Visualisierung der Messdaten und der SPS-Schaltung (bei der Realisierung einer Messvorrichtung mit Absperrklappen mit pneumatisch einfach wirkendem Antrieb) erfolgt, nach Rücksprache mit Herrn François Moulin, durch die Mitarbeiter des Informatikdienstes.

Ziel dieser Aufgabe war die Wahl der bestgeeigneten Messmethode des Spaltwassers und die Auslegung und Konstruktion der notwendigen ergänzenden Bauteile, um das Messgerät im zur Verfügung stehenden Raum einbauen und den Leckagestrom der Pumpgruppen 1 und 2 messen zu können. Dabei wurden als endgültige Lösungsvorschläge die Versionen 11 – 13 konzipiert. Die vorangegangenen Seiten sollen nun als Wegweiser dienen und die Verantwortlichen der Auftraggeber bei ihrer Entscheidung für eine Messvorrichtung unterstützen.

## Danksagung

Folgenden Personen möchte ich für die Unterstützung, die ich von diesen in den letzten zwölf intensiven und turbulenten Wochen erfahren durfte, von ganzem Herzen danken:

- Prof. Dr. Michel Dubas für seine gezielte methodische und fachliche Betreuung.
- Den Firmen Grande Dixence SA Sion und HYDRO Exploitation SA Sion für das Einreichen der Arbeit und den Auftrag zur Erstellung der Diplomarbeit bezüglich der Messvorrichtung für den Leakagestrom einer Pumpe.
- Den Ansprechpersonen der Firma HYDRO Exploitation SA Sion, Herrn Alain Sauthier (Verantwortlicher der Mechanikabteilung), der darüber hinaus noch als Experte bei dieser Diplomarbeit fungiert, und Herrn Pierre-André Délez (Ingenieur HES), die mir zu jeder Zeit für auftretende Fragen zur Verfügung standen.
- Dem Betriebsleiter des Pumpwerkes z' Mutt, Herrn Armin Furrer, und dem Verantwortlichen der Mechanikabteilung, Herrn Dietmar Truffer, die mir zu jeder Zeit einen Besuch im Pumpwerk z' Mutt ermöglichten, wenn dies von meiner Seite gewünscht wurde, um die nachfolgenden Arbeiten zu planen oder um Besprechungen durchzuführen.
- Meinen Schwestern Alessandra Chénier und Felicitas Jungi-Franzen für das regelmässige Korrekturlesen und ihre angebrachte konstruktive Kritik.
- Meiner Familie, meinem Bekannten- und Freundeskreis und meinen Kommilitonen für die motivierenden Worte, Aufmunterungen und den Rückhalt in dieser intensiven Zeit.

---

---

*„Leider lässt sich eine wahrhafte Dankbarkeit mit Worten nicht ausdrücken.“*

*(Johann Wolfgang von Goethe, 1749–1832)*

---

---



## Quellen

### *Bibliographie*

- [1.1] Bohl W., Elmendorf W.: "Technische Strömungslehre", 13. Aufl., Vogel, Würzburg 2005
- [1.2] Bohl W., Elmendorf W.: "Strömungsmaschinen 1", 9. Aufl., Vogel, Würzburg 2004
- [1.3] Bohl W.: "Strömungsmaschinen 2", 7. Aufl., Vogel, Würzburg 2005
- [1.4] Dubas M.: "Hydraulik", 2. Aufl., HES-SO Wallis, Sion 2007
- [1.5] Grote K.-H., Beitz W. (Hrsg.): "Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau", 19. Aufl., Springer, Berlin 1997
- [1.6] Hager W.H.: "Abwasserhydraulik, Theorie und Praxis", Korrigierter Nachdruck, Springer, Berlin 1995
- [1.7] Muhs Dieter, Wittel Herbert, Jannasch Dieter, Vossiek Joachim: "Roloff / Matek, Maschinenelemente, Tabellen", 17. Aufl., Vieweg, Wiesbaden
- [1.8] Muhs Dieter, Wittel Herbert, Jannasch Dieter, Vossiek Joachim: "Roloff / Matek, Maschinenelemente, Normung – Berechnung - Gestaltung", 17. Aufl., Vieweg, Wiesbaden 2005
- [1.9] Verein Schweizerischer Maschinen-Industrieller: "VSM – Normen-Auszug für Technische Schulen", 11. Aufl. 1997, 1. Nachdruck 1998
- [1.10] Deutscher Verband für Schweisstechnik e.V.: "Richtlinie DVS 2007 Teil 1 (September 2005), Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen, Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-HD", DVS-Verlag, Düsseldorf 2005
- [1.11] Deutscher Verband für Schweisstechnik e.V.: "Richtlinie DVS 2208 Teil 1 (Dezember 1997), Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen, Maschinen und Geräte für das Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln", DVS-Verlag, Düsseldorf 1997
- [1.12] Franzen Christoph, Semesterarbeit: "Messvorrichtung für den Leckagestrom einer Pumpe", HES-SO Wallis, Sion 2008

### *Herstellerangaben und Dokumentationen der Produkte*

[2.1]



[www.krohne.com](http://www.krohne.com)

Krohne AG, Uferstrasse 90, 4019 Basel

[2.1.1]

Technische Kurzbeschreibung, 7.02504.11.00: "OPTIFLUX 2010, Magnetisch-induktives Durchflussmessgerät für Wasser und Abwasser", 05/2004

- [2.1.2] Technisches Datenblatt, 4000089601: "OPTIFLUX 2000, Magnetisch-induktiver Durchfluss-Messwertaufnehmer", 08/2008
- [2.1.3] Quick Start, 7.30984.11.00: "OPTIFLUX 2000, Magnetisch-induktiver Durchfluss-Messwertaufnehmer"
- [2.1.4] Technisches Datenblatt, 4000040701 – TD IFC 100 R01 de: "IFC 100, Magnetisch-induktiver Durchfluss-Messumformer", 10/2007
- [2.1.5] Handbuch, 4000040802 – MA IFC 100 R02 de: "IFC 100, Messumformer für magnetisch-induktive Durchfluss-Messgeräte", 01/2008
- [2.1.6] Technische Zeichnung: "GEBER OPTIFLUX 4100 C, ISO-KL.IP67, EL.KONSTR. STANDARD GEHÄUSE STAHL", 22.02.2008
- [2.1.7] Besson G.: "Angebot 120-000137", Basel 10/2008
  
- [2.2] **+GF+**  
[www.piping.georgfischer.ch](http://www.piping.georgfischer.ch)  
Georg Fischer Rohrleitungssysteme AG, Postfach, 8201 Schaffhausen
- [2.2.1] Preisliste Schweiz in CHF, gültig ab 01. Februar 2008, GMST 9161/1: "Rohrleitungssysteme – Schweissbare Kunststoffe, Rohre, Fittings, Handarmaturen aus PP, PE, PVDF", 12/2007
- [2.2.2] Preisliste Schweiz in CHF, gültig ab 01. Februar 2008, GMST 9162/2: "Rohrleitungssysteme – Automatik, Armaturen in Kunststoff und Metall, Mess- und Regeltechnik, Durchfluss / Analytik", 12/2007
- [2.2.3] Preisliste Schweiz in CHF, gültig ab 01. Februar 2008, GMST 9160/1: "Rohrleitungssysteme – Klebbare Kunststoffe, Rohre, Fittings, Handarmaturen aus PVS-U, PVC-C, ABS", 12/2007
- [2.2.4] Preisliste Schweiz, gültig ab Februar 2008, GMST 9176/1: "Stutzenfittings für Elektro- und Stumpfschweissung", 12/2007
- [2.2.5] Technischer Katalog 2005, 770.971.132: "Tempergussfittings mit dem PLUS der wirtschaftlichen Gewindeverbindung", 2005
- [2.2.6] Planungshandbuch für industrielle Rohrleitungssysteme: "Verlegung von metrischen, industriellen Rohrleitungssystemen; Installation", 01/2008
- [2.2.7] Planungshandbuch für industrielle Rohrleitungssysteme: "Verlegung von metrischen, industriellen Rohrleitungssystemen; Rohrschellenabstände und Befestigung von Rohrleitungen", 01/2008
- [2.2.8] Planungshandbuch für industrielle Rohrleitungssysteme: "Verwendete Werkstoffe im industriellen Rohrleitungsbau, Der Werkstoff Polyethylen (PE)", 01/2008
- [2.2.9] Planungshandbuch für industrielle Rohrleitungssysteme: "Dimensionierung von metrischen, industriellen Rohrleitungssystemen, Zeitstandverhalten von thermoplastischen Kunststoffen, Zeitstandverhalten von PE", 05/2008
- [2.2.10] Planungshandbuch für industrielle Rohrleitungssysteme: "Dimensionierung von metrischen, industriellen Rohrleitungssystemen, Planungskriterien für Kunststoffrohrleitungssysteme", 12/2007
- [2.2.11] Planungshandbuch für industrielle Rohrleitungssysteme: "Dimensionierung von metrischen, industriellen Rohrleitungssystemen, Einsatzbereich von Rohren und Fittings"

- [2.2.12] Verbindungstechnologie: "Schweissverbindungen für PE", 12/2007  
[2.2.13] Verbindungstechnologie: "Schweissverbindungen für PE, Hezelement-Stumpfschweissverbindungen von Rohrleitungen aus PE", 01/2008  
[2.2.14] Verbindungstechnologie: "Schweissverbindungen für PE, IR Plus®  
Schweissverfahren für Rohrleitungen aus PE100", 01/2008

- [2.3]  **InterApp**  
[www.interapp.net](http://www.interapp.net)

- InterApp AG, Grundstrasse 24, 6343 Rotkreuz  
[2.3.1] Produktinformation, AQUARIA 0608: "Absperrklappe AQUARIA"  
[2.3.2] Preisliste/Prix tarif CH-2006: "Armaturen und Rohrleitungssysteme"  
[2.3.3] Johann A.: "Angebot 20081014", Rotkreuz 10/2008

- [2.4]  **GEBERIT**  
[www.geberit.ch](http://www.geberit.ch)

- Geberit Vertriebs AG, Neue Jonastrasse 59, 8640 Rapperswil  
[2.4.1] Produktinformation, gültig ab 1. April 2008, CHd/04.08 97390220: "Gesamtkatalog 2008", 04/2008

- [2.5]  **plastag**  
[www.plastag.ch](http://www.plastag.ch)

- PLASTAG SA, Kunststoffrohrwerk, 1312 Eclépens  
[2.5.1] Produktinformation (Gesamtkatalog): "plastag"

- [2.6]  **FRANZ GYSI AG**  
[www.fgyysi.ch](http://www.fgyysi.ch)

- Franz Gysi AG, Geschäftsbereich Flow Control, Bachstrasse 34,  
Postfach, 5034 Suhr  
[2.6.1] Produktinformation, INH1-D: "Kugelhähne – mit Innengewinde, mit  
Anschweissenden", 06/2005  
[2.6.2] Produktinformation, INH3-D: "Entleer- und Entlüftungs-Kugelhähne",  
03/2007  
[2.6.3] Produktinformation, INH4-D: "Mehrweg-Kugelhähne", 06/2005  
[2.6.4] Produktinformation, INH2-D: "Kugelhähne – mit Flanschanschluss,  
Kompakt-Ausführungen", 06/2005

- [2.7]  **KROMBACH**  
ARMATUREN

- [www.krombach.com](http://www.krombach.com)  
Friedrich Krombach GmbH & Co. KG Armaturenwerke, Postfach 1130,  
D-57202 Kreuztal  
[2.7.1] Produktinformation: "Standard – Absperrarmaturen, Standard valves"



[2.8]

[www.systemarmaturen.de](http://www.systemarmaturen.de)

MIT Armaturen GmbH, Industriestrasse 9, D-32602 Vlotho

[2.8.1] Produktinformation: "Kugelhähne – Klappen, Armaturen mit System, Produktkatalog 1, Standard Armaturen", 03/2005

[2.8.2] Produktinformation: "Magnetventile – Druckgesteuerte Ventile – Coaxialventile, Armaturen mit System, Produktkatalog 2/2006, Standard Armaturen", 02/2006

### Internet



[3.1]

[www.grande-dixence.ch](http://www.grande-dixence.ch)

Grande Dixence SA, Rue des Creusets 41, 1950 Sion



[3.2]

[www.hydro-exploitation.ch](http://www.hydro-exploitation.ch)

Hydro Exploitation SA, Rue des Creusets 41, 1950 Sion



[3.3]

[www.eosholding.ch](http://www.eosholding.ch)

EOS, Ch. de Mornex 10, Case postale 570, 1001 Lausanne



[3.4]

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

### Pläne

[4.1] Grande Dixence, Plan d'exécution, A52/14548: "HP95, TUYAUTERIE POUR MOTEUR ET POMPE 1, USINE DE Z'MUTT", 29.4.65

[4.2] Sulzer, Grande Dixence SA Lausanne, USINE DE Z'MUTT, POMPE 2: "Pompe d'accumulation HPV95 ede, Com. 403081; Ensemble de pompe d'accumulation avec système de graissage", 4.2.1965 (4010655-3)



- [4.3] Grande Dixence, 23684: "POMPE 1 – 2, Nomenclature, Ensemble, USINE DE Z'MUTT", 25.11.97
- [4.4] Sulzer, Grande Dixence SA, Lausanne, Usine de pompage de Z'MUTT: "SCHEMA HYDRAULIQUE 4006389-2", 14.11.61

### **Software**

- [5.1] Autodesk® Inventor™ Professional 12.0 2008 (3D-CAD Zeichnungsprogramm)
- [5.2] GRANTA CES EduPack 2008, Granta Material Inspiration, Granta Design Limited, Rustat House, 62 Clifton Road, Cambridge, CB1 7EG, United Kingdom (Werkstoffauswahlprogramm)

## Liste der Anhänge

1. Informationen zu Krohne OPTIFLUX 2100 C DN 50:
  - Preisangebot 120 – 000137
  - Technisches Datenblatt: OPTIFLUX 2000 (magnetisch-induktiver Messwertaufnehmer für Durchfluss)
  - Quick Start: OPTIFLUX 2000 (magnetisch-induktiver Durchfluss-Messwertaufnehmer)
  - Technisches Datenblatt: IFC 100 (magnetisch-induktiver Durchfluss-Messumformer)
2. Informationen zu DESPONIA Absperrklappe von InterApp:
  - Preisangebot 20081014
  - Datenblatt: DESPONIA DN100 Absperrklappe
  - Technische Dokumentation: DESPONIA Absperrklappe DN25-1400
3. Messvorrichtung Version 11 Gr.1:
  - Materialliste Messvorrichtung Version 11 Gr.1
  - Vermassungszeichnung
  - Zusammenbauzeichnung inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre
  - Materialliste Zu- und Überlauf AS Gr.1
  - Zusammenbauzeichnung Zulauf AS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
  - Zusammenbauzeichnung Überlauf AS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
  - Materialliste Zu- und Überlauf NS Gr.1
  - Zusammenbauzeichnung Zulauf NS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
  - Zusammenbauzeichnung Überlauf NS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre

4. Messvorrichtung Version 11 Gr.2:

- Materialliste Messvorrichtung Version 11 Gr.2
- Vermassungszeichnung
- Zusammenbauzeichnung inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre
- Materialliste Zu- und Überlauf AS Gr.2
- Zusammenbauzeichnung Zulauf AS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Zusammenbauzeichnung Überlauf AS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Materialliste Zu- und Überlauf NS Gr.2
- Zusammenbauzeichnung Zulauf NS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Zusammenbauzeichnung Überlauf NS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre

5. Messvorrichtung Version 12 Gr.1:

- Materialliste Messvorrichtung Version 12 Gr.1
- Vermassungszeichnung
- Zusammenbauzeichnung inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre
- Materialliste Zu- und Überlauf AS Gr.1
- Zusammenbauzeichnung Zulauf AS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Zusammenbauzeichnung Überlauf AS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Materialliste Zu- und Überlauf NS Gr.1
- Zusammenbauzeichnung Zulauf NS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Zusammenbauzeichnung Überlauf NS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre

6. Messvorrichtung Version 12 Gr.2:

- Materialliste Messvorrichtung Version 12 Gr.2
- Vermassungszeichnung
- Zusammenbauzeichnung, inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre
- Materialliste Zu- und Überlauf AS Gr.2
- Zusammenbauzeichnung Zulauf AS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Zusammenbauzeichnung Überlauf AS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Materialliste Zu- und Überlauf NS Gr.2
- Zusammenbauzeichnung Zulauf NS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Zusammenbauzeichnung Überlauf NS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre

7. Messvorrichtung Version 13 Gr.1:

- Materialliste Messvorrichtung Version 13 Gr.1
- Vermassungszeichnungen (AS- & NS-Seite)
- Zusammenbauzeichnungen inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre (AS- & NS-Seite)
- Materialliste Zu- und Überlauf AS Gr.1
- Zusammenbauzeichnung Zulauf AS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Zusammenbauzeichnung Überlauf AS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Materialliste Zu- und Überlauf NS Gr.1
- Zusammenbauzeichnung Zulauf NS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Zusammenbauzeichnung Überlauf NS Gr.1 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre



8. Messvorrichtung Version 13 Gr.2:

- Materialliste Messvorrichtung Version 13 Gr.2
- Vermassungszeichnungen (AS- & NS-Seite)
- Zusammenbauzeichnungen inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringenden Rohre (AS- & NS-Seite)
- Materialliste Zu- und Überlauf AS Gr.2
- Zusammenbauzeichnung Zulauf AS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Zusammenbauzeichnung Überlauf AS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Materialliste Zu- und Überlauf NS Gr.2
- Zusammenbauzeichnung Zulauf NS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre
- Zusammenbauzeichnung Überlauf NS Gr.2 inkl. Detailzeichnungen der abzuändernden Fittings und auf Mass zu bringende Rohre

9. Materiallisten:

- Version 11 Gr.1 & 2 komplett (inkl. Zu- und Überläufe)
- Version 12 Gr.1 & 2 komplett (inkl. Zu- und Überläufe)
- Version 13 Gr.1 & 2 komplett (inkl. Zu- und Überläufe)

10. Druckverlustberechnungen Version 12