

Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna



Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft
Univ.Prof. DI. Dr. Willibald Loiskandl



DRUCKVERLUSTE IN ROHREN MIT LEITSCHAUFELN

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

DIPLOMINGENIEUR

eingereicht von:

ARNOLD PUTZ

Betreuer:

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Willibald Loiskandl

Wien, September 2012



© Copyright 2012 Arnold Putz

Alle Rechte vorbehalten.

ERKLÄRUNG

Ich erkläre, dass ich diese Arbeit eigenständig verfasst habe und mich keiner Quellen als den angegebenen bedient habe, dass ich diese Arbeit weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe, dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Ort, Datum

Unterschrift

KURZFASSUNG

Im österreichischen Patent Nr.: 134543 wird eine Rohrleitung mit eingebauten Leitschaufeln beschrieben, welche die Durchflussmenge gegenüber glatten, ohne Leitschaufeln ausgestatteten Rohren erhöhen soll. Da keine wissenschaftlichen Untersuchungen über dieses Patent bekannt sind, ist diese Arbeit der erste Anhaltspunkt für eventuelle weitere Forschungen. Es werden alle Abmessungen der Leitschaufeln und deren Anordnung entsprechend der Patentschrift möglichst genau nachgebildet. Es wurden zwei verschiedene Leitschaufeln geplant, konstruiert, gefertigt und erprobt. In einem Laborversuch wird die Druckdifferenz zwischen den Rohren mit und den Rohren ohne Leitschaufeln verglichen. In ein Rohr von 3,60 m Länge wurden 18 Leitschaufeln montiert. Bei Leitschaufel 1 konnte eine marginal schlechtere Druckdifferenz gegenüber den Rohren ohne Leitschaufeln gemessen werden. Im Gegensatz dazu wurde bei Leitschaufel 2 eine deutliche Verschlechterung festgestellt. Durch die im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Messungen konnten keine Erhöhung der Durchflussmenge nachgewiesen werden.

Schlüsselwörter: **Patent Schauburger, Drallströmung, Rohrleitungsverlust**

ABSTRACT

The Austrian patent no. 134543 deals with a pipe with fins, which should increase the flow rate in comparison to a smooth pipe without fins. There are no scientific papers published for this patent. The presented master thesis may be a basis for future research. The dimensions and the location of the fins are as precisely as possible reconstructed. Two versions of fins were designed, constructed and tested. In the lab tests the pressure difference (friction losses) for pipes equipped with the different fins and without fins was measured. In the pipes of length 3,60 m 18 fins were installed. The results showed that for one fin type the differential pressure was marginal higher compared with the measurements of the pipe without fins, where as the second fin type had a significant higher pressure loss. Consequently, the lab test didn't show an increase in the flow rate.

Keywords: **patent Schauburger, spiral flow, friction loss**

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	
ABSTRACT	
INHALTSVERZEICHNIS	I
DANKSAGUNG	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
TABELLENVERZEICHNIS	VI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
1	EINLEITUNG 1
1.1	Problemstellung 1
1.2	Zielsetzung
2	HYDRAULISCHE GRUNDLAGEN
2.1	Grundlagen der Rohrhydraulik 2
2.2	Hydraulische Energieverluste
3	TEILE DES ÖSTERREICHISCHEN PATENTS NR. 134543
3.1	Rohrleitung 5
3.1.1	Anordnung der Leitschaufeln in der Rohrleitung
3.1.2	Schraublinie (Helix)..... 7
3.1.3	Verwendete Rohre
3.2	Leitschaufel 9
3.2.1	Leitschaufel 1
3.2.2	Leitschaufel 2..... 15
3.2.3	Herstellung der Leitschaufeln
4	HYDRAULISCHER VERSUCH
4.1	Versuchshalle und Infrastruktur 23
4.2	Beschreibung des Versuchsstandes
4.3	Vorarbeiten an den Rohren 28
4.3.1	Bearbeiten der Rohre..... 28
4.3.2	Befestigung der Leitschaufeln..... 28
4.3.3	Einrichten des Messpunkte 1 und 2
4.4	Messtechnik
4.4.1	Durchflussmessungen
4.4.2	Differenzdruckmessung

4.4.3	Temperatur	33
4.5	Versuchsablauf	33
4.6	Datenauswertung.....	34
5	ERGEBNISSE	38
6	ZUSAMMENFASSUNG / AUSBLICK	41
7	LITERATURVERZEICHNIS	43
8	ANHANG	44

DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit entstand am Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur Wien.

Ein besonderer Dank gilt Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Willibald Loiskandl - nicht nur für die Betreuung der Diplomarbeit – sondern vor allem dafür, dass er mir die Möglichkeit gab, meine Ideen und Wünsche umzusetzen.

Weiters bedanke ich mich bei Otmar Grober für seine Zeit und seine hilfreichen Informationen, bei Wolfgang Sokol, Josef Fassl und Josef Pölzl für die Unterstützung im Labor.

Dass ich schließlich dieses Thema für meine Diplomarbeit wählte, verdanke ich Franz Fehringer, der mich auf ein Buch über Victor Schauburger aufmerksam machte und so mein Interesse für das Patent Nr. 134543 weckte.

Dem Familienunternehmen „Anton Putz und Mitgesellschafter“ aus dem Bereich der Kleinwasserkraft danke ich herzlich für die finanzielle Unterstützung.

Der größte Dank gilt meiner Familie – besonders meinem Vater für die unzähligen Stunden in Werkstatt und Labor. Ohne ihn hätte ich die Arbeit nicht im aufgewendeten Zeitraum fertig stellen können.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Grafischer Teil des österreichischen Patents Nr. 134543 (SCHAUBERGER, 1933)	4
Abbildung 2: Perspektivische Ansicht der Rohrleitung von vorne rechts (SCHAUBERGER, 1933)	5
Abbildung 3: Abstand zwischen Q 1 und Q 2	6
Abbildung 4: Verdrehung zwischen Q 1 und Q 2	6
Abbildung 5: Verhältnis zwischen Durchmesser d und Leitschaufelhöhe h_{LS}	6
Abbildung 6: Abwicklung einer Schraublinie aus GRADER, 2004	7
Abbildung 7: Detailplan des Rohrs (AGRU, 2011)	9
Abbildung 8: Übersicht der Ansichten	10
Abbildung 9: Seitenansicht der Leitschaufel laut Patent (SCHAUBERGER, 1933)	11
Abbildung 10: Seitenansicht mit Variablen, LS 1	11
Abbildung 11: Seitenansicht der konstruierten LS 1	11
Abbildung 12: Ansicht von vorne und oben (SCHAUBERGER, 1933)	12
Abbildung 13: Leitschaufel mit Nuten (SCHAUBERGER, 1933)	12
Abbildung 14: Frontansicht mit Variablen, LS 1	13
Abbildung 15: Detail der Abbildung 14	13
Abbildung 16: Frontansicht der LS 1 aus Pro/ENGINEER	14
Abbildung 17: Draufsicht mit Variablen, LS 1	15
Abbildung 18: Draufsicht im Pro/ENGINEER	15
Abbildung 19: Perspektive der LS 2 von rechts oben	16
Abbildung 20: Seitenansicht der LS 2 in CATIA	16
Abbildung 21: Frontansicht mit Variablen, LS 2	17
Abbildung 22: Frontansicht der LS 2 in CATIA	18
Abbildung 23: Draufsicht mit Variablen, LS 2	18
Abbildung 24: Draufsicht der LS 2 in CATIA	19
Abbildung 25: Seitenansicht LS 2 (oben) und LS 1 (unten)	20
Abbildung 26: Darstellung der in Abbildung 25 verdeckten Seite, LS 1 oben, LS 2 unten	20
Abbildung 27: Frontansicht LS 1 (links) und LS 2 (rechts)	21
Abbildung 28: Frontansicht mit Perspektive, LS 2 (links), LS1 (rechts)	21
Abbildung 29: Draufsicht der LS 1 (oben) und der LS 2 (unten)	21
Abbildung 30: Ansicht in Fließrichtung, LS 2 links, LS1 rechts	22
Abbildung 31: Schematischer Wasserkreislauf des Versuchs	23
Abbildung 32: Übersicht des Versuchsstands (Draufsicht, Fließrichtung von unten nach oben)	24

Abbildung 33: Versuchsstrecke vom Anschluss an die Ringleitung bis Rohr 5	26
Abbildung 34: Versuchsstrecke vom Plattenschieber bis Rohr 8 (30° Bogen), Versuchsstreckenende	26
Abbildung 35: Wasserableitung ab Rohr 8 bis Rigol (Versuchsnr. 0.1.1, 0.2.1, 1.1, 1.2)	27
Abbildung 36: Wasserableitung ab Rohr 8 bis Rigol (Versuchsnr. 0.1.2, 0.2.2, 2.1, 2.2)	27
Abbildung 37: Schweißfalz Entfernung mit Messer	28
Abbildung 38: Einsicht ins Rohr ohne Schweißfalz	28
Abbildung 39: Bohrungen und Einpassen der Leitschaufel	29
Abbildung 40: LS 1, Einsicht ins Versuchsrohr 1 in Fließrichtung	30
Abbildung 41: LS 2, Einsicht ins Versuchsrohr 1 gegen die Fließrichtung	30
Abbildung 42: LS 2, Einsicht ins Versuchsrohr 1 in Fließrichtung	31
Abbildung 43: Messquerschnitt mit vier Anschlüssen zur Druckmessung	32
Abbildung 44: Differenzdruckaufnehmer	33
Abbildung 45: Messverlauf ver13	35
Abbildung 46: Visuelle Ermittlung des Zeitraums zur Mittelwertbestimmung	36
Abbildung 47: Grafische Gegenüberstellung VG 2 erster Versuch und Wiederholung	37
Abbildung 48: Vergleich der Versuchsgruppen	38
Abbildung 49: Endergebnis des Versuchs	39
Abbildung 50: Darstellung der maximalen Durchflüsse der jeweiligen Versuchsgruppen	40
Abbildung 51: Grafischer Teil des österr. Patents 138296 (SCHAUBERGER, 1934)	42

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Relevante Variablen des Versuchsrohrs.....	8
Tabelle 2: Variablen der Seitenansicht, LS 1	11
Tabelle 3: Variablen der Frontansicht, LS 1	13
Tabelle 4: Anordnung und Geometrie der Nuten, LS 1	14
Tabelle 5: Variablen der Draufsicht, LS 1	15
Tabelle 6: Variablen der Frontansicht, LS 2	17
Tabelle 7: Anordnung und Geometrie der Nuten, LS 2	17
Tabelle 8: Variablen der Draufsicht, LS 2	18
Tabelle 9: Komponenten des Versuchsstands	25
Tabelle 10: Vorversuche	33
Tabelle 11: Übersicht der Hauptversuche	34
Tabelle 12: Niederschrift der Versuchsgruppe 1.1.1	47
Tabelle 13: Niederschrift der Versuchsgruppe 1.1.2.....	48
Tabelle 14: Niederschrift der Versuchsgruppe 0.1.1.....	49
Tabelle 15: Niederschrift der Versuchsgruppe 0.1.2.....	50
Tabelle 16: Niederschrift der Versuchsgruppe 0.2.1.....	51
Tabelle 17: Niederschrift der Versuchsgruppe 0.2.2.....	52
Tabelle 18: Niederschrift der Versuchsgruppe 1.2.1.....	53
Tabelle 19: Niederschrift der Versuchsgruppe 1.2.2.....	54

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGEN DER VARIABLEN

Variable	Bezeichnung
ROHR	
l_R	Rohrlänge
$d_{I,R}$	Innendurchmesser Rohr
$r_{I,R}$	Innenradius Rohr
$d_{A,R}$	Außendurchmesser Rohr
b_R	Wandstärke
$A_{I,R}$	Fläche Rohrquerschnitt
$l_{Q1,Q2}$	Abstand zwischen Q1 und Q2
$U_{I,R}$	Umfang
SCHRAUBLINIE	
A	Steigungswinkel der Schraublinie
P	Steigung der Schraublinie
H	Ganghöhe für eine Umdrehung
LEITSCHAUFEL	
h_{LS}	Höhe Leitschaufel
$l_{L,LS}$	Länge links Leitschaufel
l_{LS}	Länge Leitschaufel
$l_{R,LS}$	Länge rechts Leitschaufel
$l_{V,LS}$	Länge vorne Leitschaufel (Bogenmaß)
$r_{A,LS}$	Außenradius Leitschaufel
$r_{GA,LS}$	Radius Grundriss außen Leitschaufel
$r_{GI,LS}$	Radius Grundriss innen Leitschaufel
$r_{I,LS}$	Innenradius Leitschaufel
$r_{L,LS}$	Radius links Leitschaufel
$r_{R,LS}$	Radius rechts Leitschaufel
NUTEN	
a_N	Länge Oberkante der Nut
h_N	Höhe der Nut
l_N	Abstand zwischen den Nuten
α_N	Trapezwinkel der Nut

GLOSSAR

Abkürzung	Bezeichnung
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
ca.	Zirka
LS	Leitschaufel
Q 1	Erster Querschnitt im österr. Patent Nr. 143543
Q 2	Zweiter Querschnitt im österr. Patent Nr. 143543

SYMBOLLE

Symbol	SI-Einheit	Bezeichnung
A	m ²	Querschnittsfläche
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
h	m	Höhe
h _v	m	Verlusthöhe
h _{v,R}	m	Verlusthöhe Rohr
h _{v,L}	m	Verlusthöhe Leitschaufel
k	m	Absolute hydraulische Rauigkeit
L,l	m	Länge
p	Pascal	Druck
Δp	Pascal	Differenzdruck
Q	m ³ /s	Durchfluss
ρ	kg/m ³	Dichte
r	m	Radius
Re	-	Reynoldszahl
T	Kelvin	Temperatur
t	s	Zeit
ζ_L	-	Formverlustbeiwert Leitschaufel (konstant)
v	m/s	Strömungsgeschwindigkeit
ν	m ² /s	kinematische Viskosität

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung

Rohrleitungen werden in verschiedenen Bereich verwendet, sie dienen zum Transport unterschiedlichster flüssiger oder gasförmiger Stoffe. Beim Transport von Stoffen in Rohren treten Transportverluste auf, welche zu einem Druckverlust in einer Druckrohrleitung führen. In der vorliegenden Arbeit wird ausschließlich Wasser betrachtet. Im österr. Patent Nr. 134543 wird behauptet, dass durch den Einbau von Leitschaufeln die Durchflussmenge erhöht werden kann. Dies ist gleichbedeutend mit einer Reduktion der Rohrleitungsverluste. Eine größere Durchflussmenge bei gleichem Durchmesser wäre für die Bereiche Wasserkraft, Pipelinebau und dergleichen relevant. Bislang liegen keine wissenschaftlichen Aufzeichnungen über dieses Patent vor, weder über die Funktionalität noch über die Geometrie. Es handelt sich hierbei um die erste akademische Untersuchung des oben angeführten Patents.

„Gegenstand der Erfindung ist eine Wasserführung, die bezweckt, die Durchflußmenge des Wassers gegenüber glatten Wasserführungen, Gerinnen, Rohrleitungen u. dgl. zu vergrößern.“ (SCHAUBERGER, 1933)

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist es, aus der Patentschrift und den dazugehörigen Abbildungen die Leitschaufeln zu rekonstruieren, in einer Rohrleitung anzuordnen und im Wasserbaulabor in Form eines hydraulischen Versuchs zu erproben.

Im ersten Schritt werden die Abmessungen und die Form der Leitschaufel festgelegt. In weiterer Folge wird die radiale und axiale Anordnung verifiziert. Dieser aufwendige Vorgang ist notwendig da in der Patentschrift und sonst wo keine maßgebenden Konstruktionspläne enthalten sind. Im letzten Schritt werden die Messquerschnitte zur Druckdifferenzmessung und die Durchflussmessung bestimmt. Die Messdaten werden ausgewertet und die Versuche mit Leitschaufeln mit jenen ohne Leitschaufel verglichen.

HYPOTHESE

Kann durch den Einbau von Leitschaufel der Druckverlust in einer Rohrleitung vermindert werden?

2 HYDRAULISCHE GRUNDLAGEN

2.1 Grundlagen der Rohrhydraulik

Die REYNOLD'sche Zahl Re steigt mit zunehmender Geschwindigkeit, abrupt kommt es zu einem Strömungswechsel von laminar auf turbulent. Dieser findet bei einer Reynouldszahl von 2320 statt und wurde experimentell ermittelt. In Druckrohrleitungen kommen kaum laminare Strömungen vor (BOLLRICH, 2007). Die nachfolgenden Gleichungen dienen als Grundlage für die Berechnung der Verlusthöhe.

Reynold'sche Zahl Re

$$Re = \frac{v_m \cdot d}{\nu} \quad (2-1)$$

ν kinematische Zähigkeit
 v_m mittlere Geschwindigkeit
 d Rohrdurchmesser

Grenze zwischen Übergangsbereich ($Moody < 200$) und vollkommen rauem Bereich ($Moody > 200$)

$$Moody = Re \cdot \sqrt{\lambda} \cdot \frac{k}{d} \quad (2-2)$$

k (absolute) Rohrrauigkeit
 λ Rohrreibungsbeiwert

Gleichung zur Bestimmung von λ nach COLEBROOK für den Übergangsbereich:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot d}\right) \quad (2-3)$$

Gleichung zur Bestimmung von λ nach COLEBROOK für den rauhen Bereich:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log\left(\frac{3,71 \cdot d}{k}\right) \quad (2-4)$$

Verlusthöhe h_v :

$$h_v = \lambda \frac{v^2}{2g} \frac{l}{d} \quad (2-5)$$

l Länge g Erdbeschleunigung λ Rohrreibungsbeiwert

2.2 Hydraulische Energieverluste

Der hydraulische Versuch wird bei keinem Gefälle (0°) durchgeführt. Da sich die Versuchsreihe also in der Horizontalen befindet, entfällt die geodätische Höhe z , woraus sich Folgendes ergibt:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_v \quad (2-6) \quad \text{und} \quad h_v = h_{v,R} + h_{v,L} = \frac{v^2}{2g} \cdot \left(\frac{l}{d} \cdot \lambda + \zeta_L \right) \quad (2-7)$$

p Druck

ρ Dichte von Wasser

ζ_L Formverlustbeiwert Leitschaufel (=const)

h_v Verlusthöhe

$h_{v,R}$ Verlusthöhe Rohrleitung

$h_{v,L}$ Verlusthöhe Leitschaufel

Der Durchmesser bleibt für alle Versuche unverändert, daraus folgt $v_1 = v_2$ und damit:

$$h_v = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \frac{\Delta p}{\rho g} \quad (2-8)$$

Diese Größe kann im Labor gemessen werden.

3 TEILE DES ÖSTERREICHISCHEN PATENTS NR. 134543

Die Teile des österreichischen Patents Nr. 134543 bestehen aus einem schriftlichen und einem grafischen Teil. Aus dem schriftlichen Teil werden die einzelnen Passagen zu den betreffenden Unterkapiteln zitiert. Der grafische Teil besteht aus fünf Illustrationen (vgl. Abbildung 1), wobei Fig. 4 nicht Gegenstand der Untersuchungen ist, da es sich hier um eine Ausführung für ein offenes Gerinne handelt und nicht um eine Wasserführung in einer Rohrleitung.

„In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand in Ausführungsbeispielen dargestellt. Fig. 1 zeigt schaubildlich die Einsicht in das Rohr, Fig. 2 eine einzelne Leitschaukel mehr von oben und vorne entgegen der Strömungsrichtung und in Fig. 3 in der Rohrumfangsrichtung gesehen. Fig. 4 zeigt ein Gerinne gemäß der Erfindung. Die Fig. 5 veranschaulicht einen Querschnitt durch eine mit in der Richtung der Wasserströmung drallartig verlaufenden Nuten versehene Leitschaukel.“ (SCHAUBERGER, 1933)

Fig. 1 zeigt eine perspektivische Ansicht einer Rohrleitung mit den dazugehörigen Schraubenlinien und Positionen der Leitschaukeln, die Fig. 2, 3 und 5 behandeln die Geometrie einer einzelnen Leitschaukel (Abbildung 1).

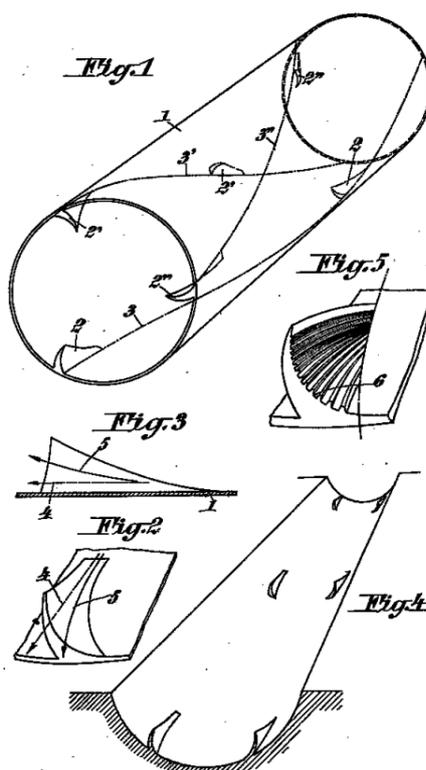


Abbildung 1: Grafischer Teil des österreichischen Patents Nr. 134543 (SCHAUBERGER, 1933)

3.1 Rohrleitung

Die in Fig. 1 (Abbildung 2) dargestellte Rohrleitung besteht aus zwei Querschnitten mit je drei Leitschaufeln und drei Schraublinien, wobei immer zwei Leitschaufeln entlang einer Schraublinie verlaufen. Die Schraublinien mit Leitschaufeln sind im Querschnitt je 120° zueinander verdreht.

„In die Rohrleitung 1 sind die leitschaufelartigen Flächengruppen 2, 2', 2'' eingebaut. Jede Gruppe der Flächen 2, 2' und 2'' liegt in dem Verlauf eines Dralles 3 bzw. 3' und 3'', wie er durch die punktierten Schraublinien angedeutet ist.“ (SCHAUBERGER, 1933)

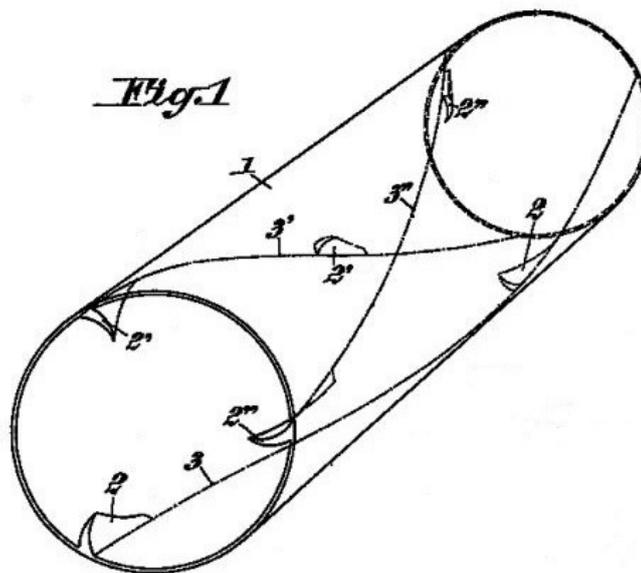


Abbildung 2: Perspektivische Ansicht der Rohrleitung von vorne rechts (SCHAUBERGER, 1933)

3.1.1 Anordnung der Leitschaufeln in der Rohrleitung

In Abbildung 3 sind der Querschnitt 1 ($Q\ 1$) und der Querschnitt 2 ($Q\ 2$) hervorgehoben, wobei $Q\ 1$ der erste Querschnitt in Strömungsrichtung ist. Die Perspektive wurde in AutoCAD 2010 3-dimensional rekonstruiert. Die Kreise am Beginn und am Ende des Rohres entsprechen keiner Perspektive, sie müssten als Ellipsen dargestellt werden. Nach der Rekonstruktion ergab sich für den Abstand $l_{Q1,Q2}$ zwischen $Q\ 1$ und $Q\ 2$ im Bezug auf den Durchmesser d der zweifache Durchmesser.

$$l_{Q1,Q2} = 2 \cdot d \quad (3-1)$$

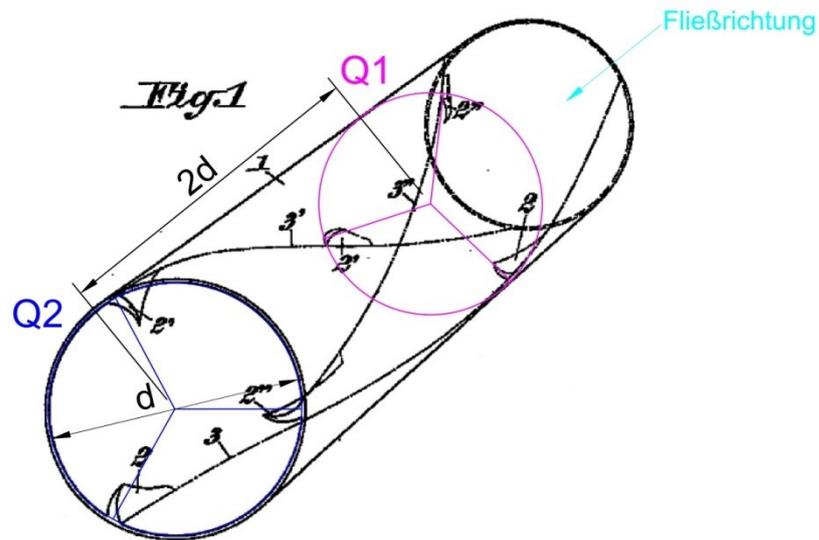


Abbildung 3: Abstand zwischen Q 1 und Q 2

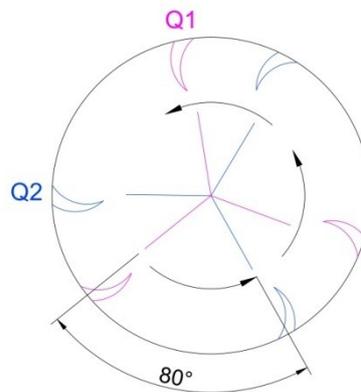


Abbildung 4: Verdrehung zwischen Q 1 und Q 2

In Abbildung 4 wurden $Q 1$ und $Q 2$ übereinandergelegt. Es handelt sich um eine Ansicht in Strömungsrichtung, welche eine Ausrichtung der Leitschaufeln gegen den Uhrzeigersinn sichtbar macht. Des Weiteren erfährt der gesamte Querschnitt eine Verdrehung von $\alpha = 80^\circ$ auf der Länge von $l_{Q1,Q2}$.

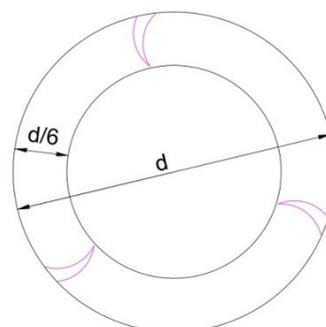


Abbildung 5: Verhältnis zwischen Durchmesser d und Leitschaufelhöhe h_{LS}

Das Verhältnis zwischen Durchmesser d und Leitschaufelhöhe h_{LS} wurde grafisch aus Fig. 1 ermittelt (Abbildung 2) und in Abbildung 5 festgelegt. Die Leitschaufelhöhe h_{LS} entspricht einem Sechstel des Durchmessers und dient als erster Parameter für die Planung der Leitschaufeln.

$$h_{LS} = \frac{d}{6} = \frac{r}{3} \quad (3-2)$$

3.1.2 Schraublinie (Helix)

Definition

Die Bahnkurve eines Punktes, der nicht der Schraubachse unter einer Schraubung angehört, heißt *Schraublinie* (GRADER 2004).

Mit Hilfe von d , $l_{Q1,Q2}$ und α kann die Schraublinie definiert werden. Die Ganghöhe h ergibt sich aus dem Abstand zwischen Beginn der Schraublinie und dem Punkt nach Vollendung einer Umdrehung. Für das Patent Nr. 134543 folgt für eine Umdrehung der Abstand $l_{Q1,Q2} = 2d$ multipliziert mit 4,5. Die Steigung P der Schraublinie erhält man indem man, die Ganghöhe h durch den Rohrumfang U dividiert. Durch Anwendung der Umkehrfunktion des Tangens, den Arkustangens, auf die Steigung erhält man den Steigungswinkel α . (Siehe Abbildung 6, rechtsgängig)

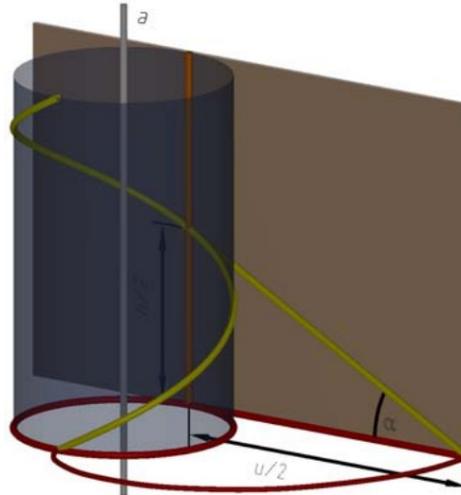


Abbildung 6: Abwicklung einer Schraublinie aus GRADER, 2004

STEIFUNG

$$P = \frac{h}{U} = \frac{4,5 \cdot 2d}{d \cdot \pi} = \frac{9}{\pi} \quad (3-3)$$

- P.....Steigung der Schraublinie
 U.....Rohrumfang
 πPi (3,1415...)
 h.....Ganghöhe für eine Umdrehung

STEIGUNGSWINKEL

$$\tan \alpha = \frac{h}{U} = 70,76^\circ \quad (3-4)$$

α Steigungswinkel der Schraublinie

Steigung P der Schraublinien 3, 3' und 3'' (Abbildung 2) beträgt somit 2,87 bei einem Steigungswinkel von $\alpha = 70,76^\circ$. Die Schraublinie bewegt sich in Fließrichtung linksgängig (gegen den Uhrzeigersinn).

3.1.3 Verwendete Rohre

Für den hydraulischen Versuch wurden PE – Rohre, DN 250 der Firma AGRU Kunststofftechnik GmbH aus A - 4540 Bad Hall verwendet. Die Länge der Rohre betrug 1,50 m, wodurch sichergestellt werden konnte, dass die Leitschaufeln händisch befestigt werden können. Durch den Innendurchmesser $d_{I,R}$ mit 0,2346 m wird auf eine Rohrleitungslänge von 2,1114 m eine Umdrehung der Schraublinie beendet. In Tabelle 1 sind die relevanten Werte aufgelistet und in Abbildung 7 im Detail dargestellt.

Tabelle 1: Relevante Variablen des Versuchsrohrs

Variable	Bezeichnung	Wert	Einheit
l_R	Rohrlänge	1500	mm
$d_{I,R}$	Innendurchmesser Rohr	234,6	mm
$r_{I,R}$	Innenradius Rohr	117,3	mm
$d_{A,R}$	Außendurchmesser Rohr	250	mm
b_R	Wandstärke	7,7	mm
$A_{I,R}$	Fläche Rohrquerschnitt	43226	mm ²
$U_{I,R}$	Umfang	743,3	mm

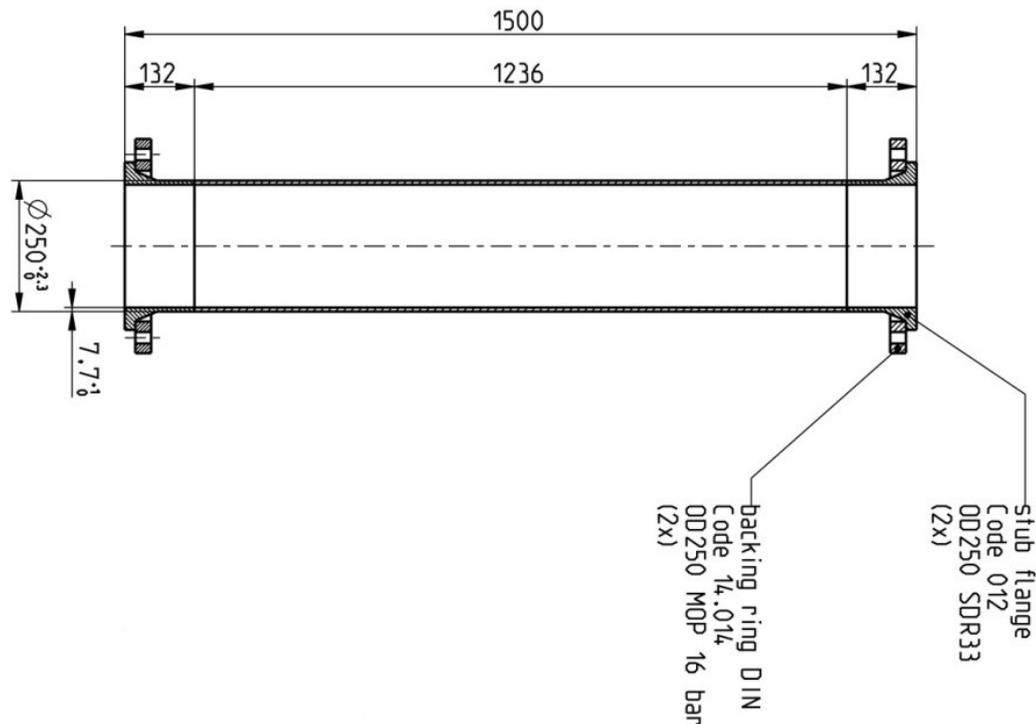


Abbildung 7: Detailplan des Rohrs (AGRU, 2011)

Als Verbindungssystem wurde ein Vorschweißbund mit Losflansch gewählt, um bei Bedarf Änderungen vornehmen zu können.

Der Rauigkeitsbeiwert k für Thermoplastics pipes wurde von der Firma AGRU Kunststofftechnik mit 0,001 - 0,0015 mm angegeben. (AGRU, 2008)

3.2 Leitschaufel

Im österreichischen Patent Nr. 134543 wird die Leitschaufel (LS) in drei Zeichnungen beschrieben, siehe Abbildung 1.

„...Fig. 2 eine einzelne Leitschaufel mehr von oben und vorne entgegen der Strömungsrichtung und in Fig. 3 in der Rohrumfangsrichtung gesehen. ... Die Fig. 5 veranschaulicht einen Querschnitt durch eine mit in der Richtung der Wasserströmung drallartig verlaufenden Nuten versehene Leitschaufel.“
(SCHAUBERGER, 1933)

Es wurden zwei Leitschaufeln geplant, hergestellt, montiert und im Versuche getestet. Alle festgelegten Maße der Variablen beziehen sich auf den Innenradius r_{IR} des Rohres. Die beiden Leitschaufeln werden in Draufsicht, Seitenansicht und Frontansicht dargestellt und beschrieben. Als Überblick dient die in Abbildung 8 dargestellte perspektivische Ansicht der LS 1.

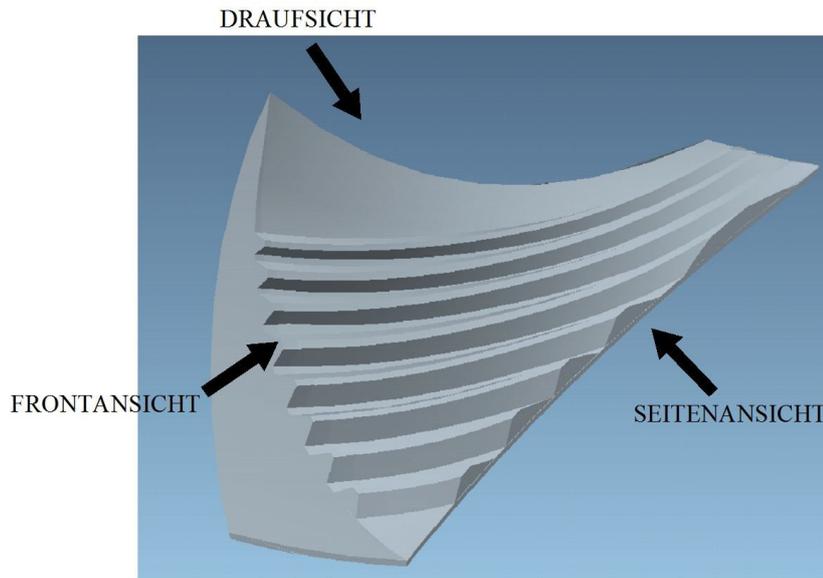


Abbildung 8: Übersicht der Ansichten

3.2.1 Leitschaufel 1

Für die Konstruktion der Leitschaufel sind Fig. 2, Fig. 3 und Fig. 5 von Bedeutung, darüber hinaus gibt Fig. 1 die Richtung der Schraubkurve an. Leitschaufel 1 bewegt sich auf einer in Strömungsrichtung linksgängigen Schraubkurve.

Die Leitschaufel 1 wurde mit Hilfe der parametrischen 3D-CAD-Software Pro/ENGINEER der Firma Parametric Technology Corporation (PTC) konstruiert. Diese Software wird vor allem im Bereich des Maschinenbaus verwendet.

SEITENANSICHT LS 1

Die Seitenansicht aus Fig. 3 (Abbildung 9) kann direkt aus dem Patent rekonstruiert werden. Mithilfe der in Abbildung 5 festgelegten Leitschaufelhöhe h_{LS} können die Länge der Leitschaufel 1 l_{LS1} und die beiden Radien $r_{R,LS1}$ und $r_{L,LS1}$ abgeleitet werden. Abbildung 10 zeigt die Variablen in der Seitenansicht - in Tabelle 2 werden die Werte dafür festgelegt.

„...Fig. 3 in der Rohrumfangsrichtung gesehen...In den Fig.2 und 3, die eine einzelne Leitfläche mehr von vorn und oben bzw. von der Seite gesehen darstellen, zeigt der strichlierte Pfeil die Strömungsrichtung im glatten Rohr, während der voll ausgezogene Pfeil 5 den durch die Leitfläche abgedrängten Verlauf der Stromfäden darstellt.“ (SCHAUBERGER, 1933)

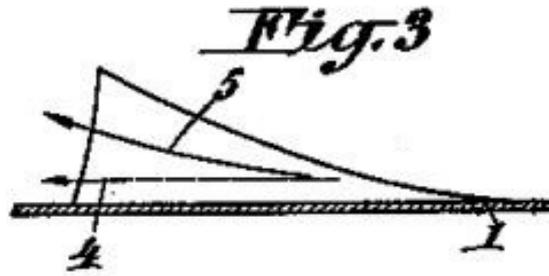


Abbildung 9: Seitenansicht der Leitschaufel laut Patent (SCHAUBERGER, 1933)

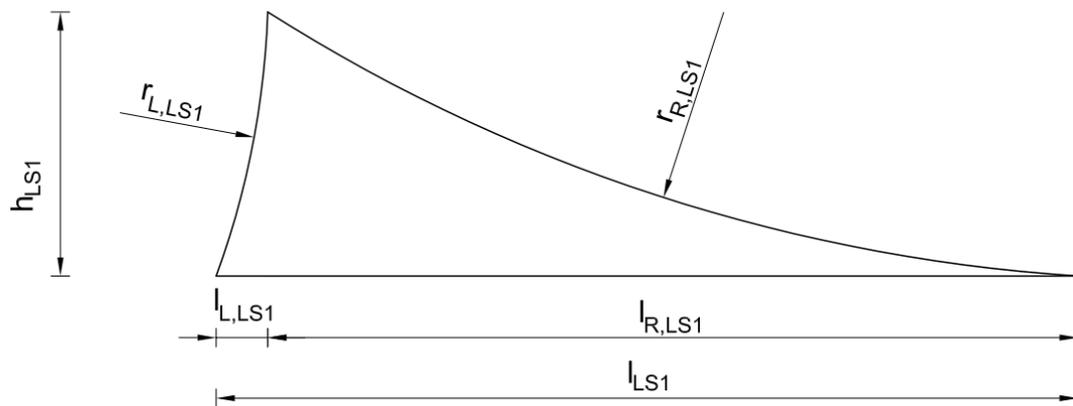


Abbildung 10: Seitenansicht mit Variablen, LS 1

Tabelle 2: Variablen der Seitenansicht, LS 1

Variable	Bezeichnung	Wert	Einheit
h_{LS1}	Höhe Leitschaufel 1	37	mm
l_{LS1}	Länge Leitschaufel 1	116	mm
$r_{L,LS1}$	Radius links Leitschaufel 1	116	mm
$r_{R,LS1}$	Radius rechts Leitschaufel 1	230	mm
$l_{L,LS1}$	Länge links Leitschaufel 1	8	mm
$l_{R,LS1}$	Länge rechts Leitschaufel 1	108	mm

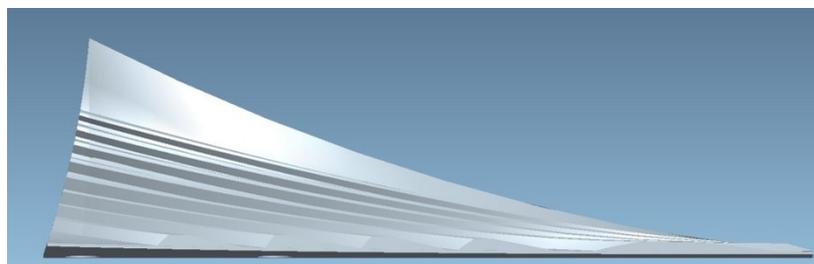


Abbildung 11: Seitenansicht der konstruierten LS 1

In Abbildung 11 wird eine Seitenansicht der im Programm Pro/ENGINEER konstruierten Leitschaufel dargestellt. Im oberen Drittel befinden sich keine Nuten, diese wurden aufgrund ihrer geringen Größe weggelassen.

FRONTANSICHT LS 1

Eine Frontansicht der LS 1 musste im Vorhinein für die Konstruktion einer 3D Oberfläche festgelegt werden. Im Patent 134543 gibt es in Fig. 2 (Abbildung 12) und 5 (Abbildung 13) eine ungefähre Andeutung einer Frontansicht, es sind jedoch beide Abbildungen in Perspektive gezeichnet und widersprechen sich eindeutig in der LS Oberkante. In Fig. 2 wird die Oberkante in Form einer Wanne ausgeführt und in Fig. 5 als Kuppe.

„In den Fig.2 und 3, die eine einzelne Leitfläche mehr von vorn und oben bzw. von der Seite gesehen darstellen, zeigt der strichlierte Pfeil die Strömungsrichtung im glatten Rohr, während der voll ausgezogene Pfeil 5 den durch die Leitfläche abgedrängten Verlauf der Stromfäden darstellt.“
 ((SCHAUBERGER, 1933))

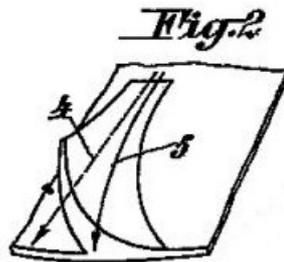


Abbildung 12: Ansicht von vorne und oben (SCHAUBERGER, 1933)

„Die Schaufel nach Fig. 5 ist auf ihrer Leitfläche mit drallartigen Nuten 6 versehen, durch welche die Fortbewegung des Wassers im Zuge einer Drallbewegung auch in vertikaler Richtung unterstützt wird.“
 (SCHAUBERGER, 1933)

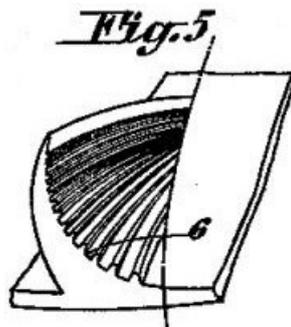


Abbildung 13: Leitschaufel mit Nuten (SCHAUBERGER, 1933)

Die Nuten in Abbildung 13 nehmen in Richtung Leitschaufelspitze in ihrer Größe ab. In Abbildung 14 werden die Frontansicht der LS 1 mit ihren Radien $r_{I,LS1}$, $r_{A,LS1}$ und die Anordnung der Nuten visualisiert. In Tabelle 3 sind die dazugehörigen Werte zu finden. Als Grundlage für die Position der Nuten wurde Fig. 5 (Abbildung 13), für die Geometrie der Leitschaufel Fig. 2 (Abbildung 12) verwendet.

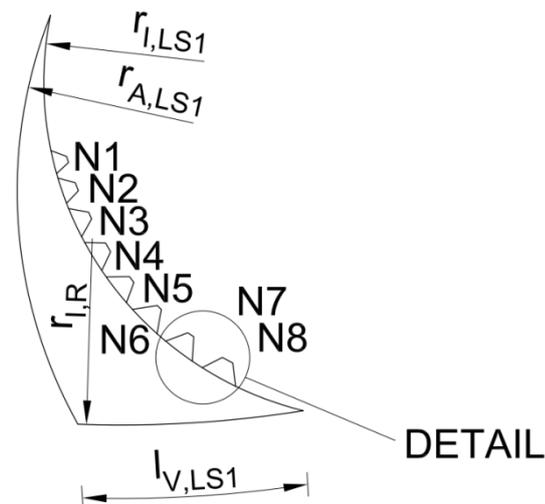


Abbildung 14: Frontansicht mit Variablen, LS 1

Tabelle 3: Variablen der Frontansicht, LS 1

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
$r_{I,LS1}$	Innenradius Leitschaufel 1	35	mm
$r_{A,LS1}$	Außenradius Leitschaufel 1	50	mm
$r_{I,R}$	Innenradius Rohr	117,3	mm
$l_{V,LS1}$	Länge vorne Leitschaufel 1 (in Bogenmaß)	24	mm

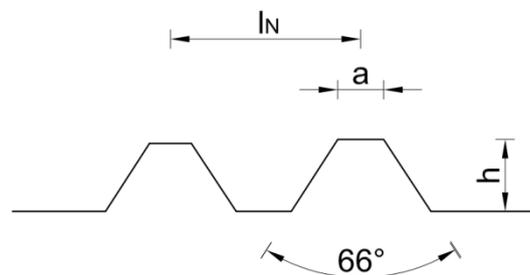


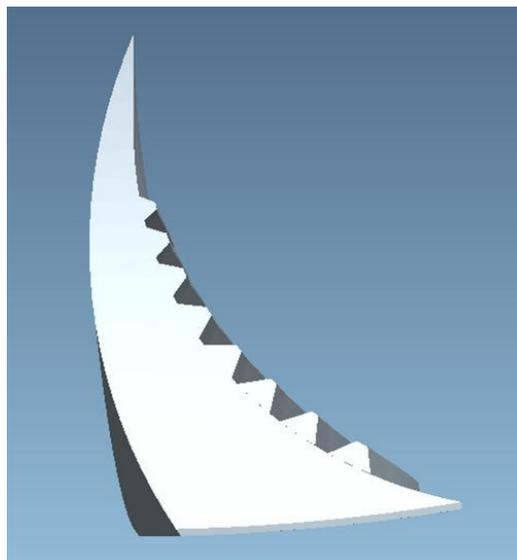
Abbildung 15: Detail der Abbildung 14

In Abbildung 15 sind die Variablen des Details aus Abbildung 14 visualisiert und in Tabelle 4 die entsprechenden Werte der Variablen angeführt. Der Abstand l_N beschreibt die Länge von der vorgehenden Nut zur aktuellen Nut, die Höhe h_N den Abstand zwischen Nutoberkante und der Leitschaufeloberfläche. Die einzelnen Nuten sind unter einem gleichschenkeligen Trapez mit einem Winkel von $\alpha_N = 66^\circ$ angeordnet. Die Variable a_N definiert die Länge der Oberkante der Nut.

Tabelle 4: Anordnung und Geometrie der Nuten, LS 1

Bezeichnung	a_N in mm	h_N in mm	α_N in Grad	l_N in mm
Leitschaufelspitze	-	-	-	-
N1	0,6	1,4	66	15
N2	0,9	1,5	66	3,0
N3	0,8	1,6	66	3,3
N4	1,0	1,7	66	3,8
N5	0,8	1,8	66	4,1
N6	0,6	1,9	66	4,1
N7	0,7	2,0	66	4,3
N8	1,2	2,1	66	4,6
Leitschaufel Unterkante	-	-	-	9,4

Die konstruierte Leitschaufel 1 in Abbildung 16 zeigt die Frontansicht gegen die Strömungsrichtung.

**Abbildung 16: Frontansicht der LS 1 aus Pro/ENGINEER**

DRAUFSICHT LEITSCHAUFEL 1

Im Patent Nr. 134543 wurde keine Draufsicht dargestellt. Um die Leitschaufel jedoch besser beschreiben zu können, wurde ebendiese für die 3D-Konstruktion definiert. Die Fließrichtung ist für Abbildung 17 von rechts nach links angenommen, in Tabelle 5 sind die Größen der einzelnen Variablen festgelegt. Der Radius $r_{GI,LS1}$ wurde nach eigenem Ermessen ohne Anhaltspunkte bestimmt und in Tabelle 5 mit einem Wert belegt.

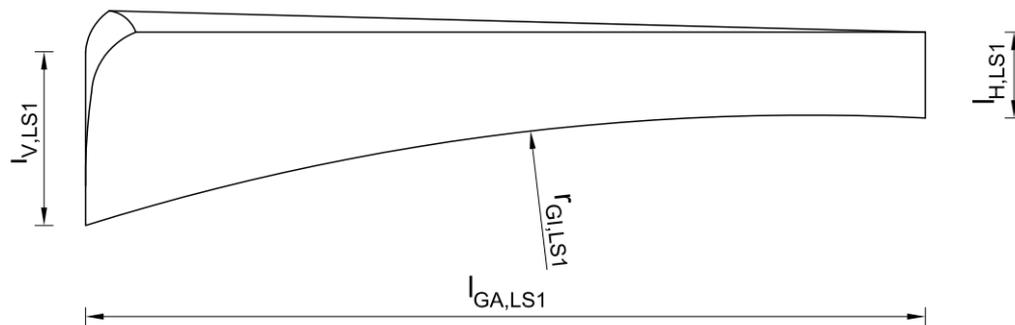


Abbildung 17: Draufsicht mit Variablen, LS 1

Tabelle 5: Variablen der Draufsicht, LS 1

Parameter	Bezeichnung	Wert	Einheit
$l_{GA,LS1}$	Länge Grundriss außen Leitschaufel 1	116	mm
$r_{GI,LS1}$	Radius Grundriss innen Leitschaufel 1	330	mm
$l_{H,LS1}$	Länge Bogenmaß hinten Leitschaufel 1	12	mm
$l_{V,LS1}$	Länge Bogenmaß vorne Leitschaufel 1	24	mm

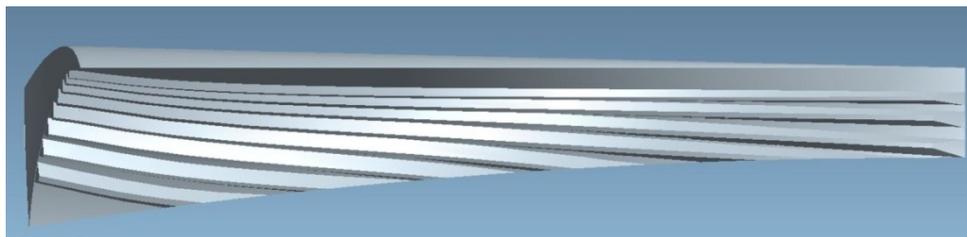


Abbildung 18: Draufsicht im Pro/ENGINEER

Abbildung 18 zeigt die bereits mit acht Nuten versehene 3D-Oberfläche. Hierbei handelt es sich um die endgültige Version der LS 1, welche hergestellt und eingebaut wurde. Am rechten Ende der Leitschaufel wurden die Nuten 1 bis 3 mit 30° abgeschrägt. Die Nuten 4 bis 8 wurden bündig und im rechten Winkel mit der Leitschaufeloberfläche gekappt.

3.2.2 Leitschaufel 2

Leitschaufel 2 ist eine Überarbeitung und Weiterentwicklung von LS 1. Sie wurde mit Hilfe des 3D-CAD Programms CATIA (Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application) der Firma Dassault Systèmes konstruiert, welches, wie auch Pro/ENGINEER, im Bereich des Maschinenbaus zum Einsatz kommt. Der Wechsel des Konstruktionsprogramms hatte für die Planung der Leitschaufel keine Relevanz.

Bei LS 2 wurde größeres Augenmerk auf die Lage in der Rohrleitung und die Anpassung an die Schraubkurve gelegt. Im Gegensatz zu Leitschaufel 1 wurde die Konstruktion mit einer rechtsgängigen (im Uhrzeigersinn) Schraubkurve begonnen (in Strömungsrichtung). Die vordere Leitschaufellänge wurde von 24 mm auf 18mm verringert, durch die schmalere Grundplatte änderte sich der Radius $r_{A,LS2}$. Die Länge $l_{GA,LS1}$ führte durch die

stärkere Verdrehung zum Radius $r_{GA,LS2}$, gleiches geschah aus analogem Grund auch bei $r_{GI,LS1}$.

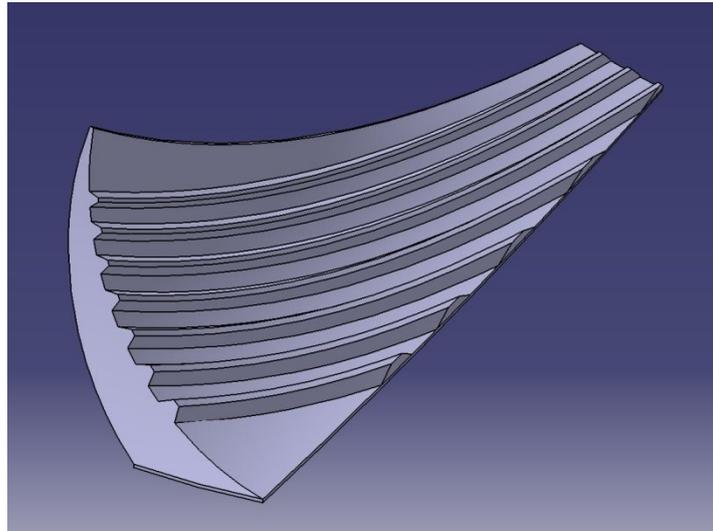


Abbildung 19: Perspektive der LS 2 von rechts oben

Bis auf die erwähnten Änderungen bleibt die Leitschaufel unverändert. Alle weiteren Variablen und deren Größen können aus Tabelle 2, Tabelle 3, und Tabelle 5 aus Kapitel 3.2.1 verwendet werden. Das Endergebnis in perspektivischer Ansicht ist in Abbildung 19 zusehen.

SEITENANSICHT LS 2

In der Seitenansicht der Leitschaufel 2 bleiben Geometrie (Abbildung 10), Variablen und Werte (Tabelle 2) mit den in Kapitel 3.2.1 festgelegten Daten ident. Durch die Anpassung an die Schraublinie ist die Ansicht jetzt leicht gewunden (siehe Abbildung 20).

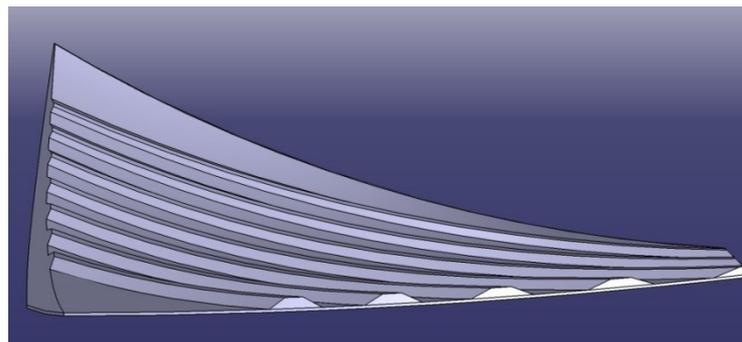


Abbildung 20: Seitenansicht der LS 2 in CATIA

FRONTANSICHT LS 2

Die Länge der Leitschaufel 1 vorne $l_{V,LS1}$ (in Bogenmaß) wurde von 24mm auf 18mm verkleinert um die Leitschaufel 2 schlanker (hydraulisch günstiger) auszuführen. Der Radius $r_{I,LS2}$ entspricht $r_{I,LS1}$, $r_{A,LS2}$ wurde mit 60mm neu verifiziert. Die Auflistung der Variablen ist in Tabelle 6 ersichtlich. Die achte Nut wurde eingespart, da diese nicht von essentieller Bedeutung ist.

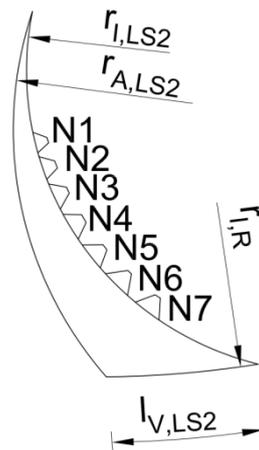


Abbildung 21: Frontansicht mit Variablen, LS 2

Tabelle 6: Variablen der Frontansicht, LS 2

Variable	Bezeichnung	Wert	Einheit
$r_{I,LS2}$	Innenradius Leitschaufel 2	35	mm
$r_{A,LS2}$	Außenradius Leitschaufel 2	60	mm
$r_{I,R}$	Innenradius Rohr	117,3	mm
$l_{V,LS2}$	Länge vorne Leitschaufel 1 (in Bogenmaß)	18	mm

Tabelle 7: Anordnung und Geometrie der Nuten, LS 2

Bezeichnung	a_N in mm	h_N in mm	Winkel α_N in Grad	Abstand l_N in mm
Leitschaufelspitze	-	-	-	-
N1	0,6	1,2	66	10,0
N2	0,65	1,3	66	4,2
N3	0,7	1,4	66	4,5
N4	0,8	1,5	66	4,8
N5	0,9	1,6	66	5,1
N6	1,0	1,7	66	5,4
N7	1,1	1,8	66	5,7
Leitschaufel Unterkante	-	-	-	11,3

Für die Leitschaufel 2 sind in Tabelle 7 die Abmessungen der Nuten festgelegt. Die markanteste Änderung zu LS 1 betrifft a_N , da die Länge der Oberkante stetig bei LS 2 zunimmt. Die Frontansicht in Abbildung 21 wird normal zur Leitschaufel betrachtet. Die in Abbildung 22 abgebildete Frontansicht der LS 2 ist gegen die Strömungsrichtung betrachtet und es ist ein deutlicher Unterschied zu LS 1 (vergleiche Abbildung 16) zu sehen.

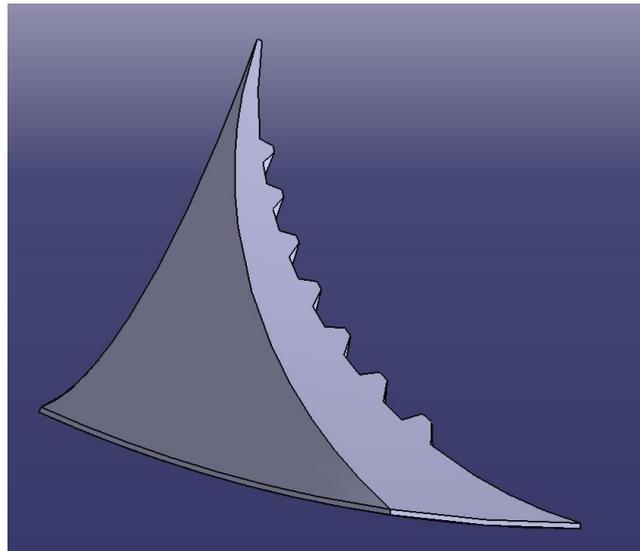


Abbildung 22: Frontansicht der LS 2 in CATIA

DRAUFSICHT LEITSCHAUFEL 2

Die Fließrichtung für die Draufsicht der LS 2 in Abbildung 23 ist von rechts nach links definiert. Die in Tabelle 8 festgelegten Abmessungen der einzelnen Variablen beziehen sich auf den Innenradius $r_{I,R}$ der Rohrleitung. Der Radius $r_{GI,LS2}$ des Grundrisses wurde durch die bessere Anpassung an die Schraublinie von 330mm auf ca. 700mm verändert. Der Radius $r_{GA,LS2}$ entsteht anstelle der Geraden $l_{GA,LS1}$ durch die zusätzliche Verdrehung der LS 2 gegenüber der LS 1.

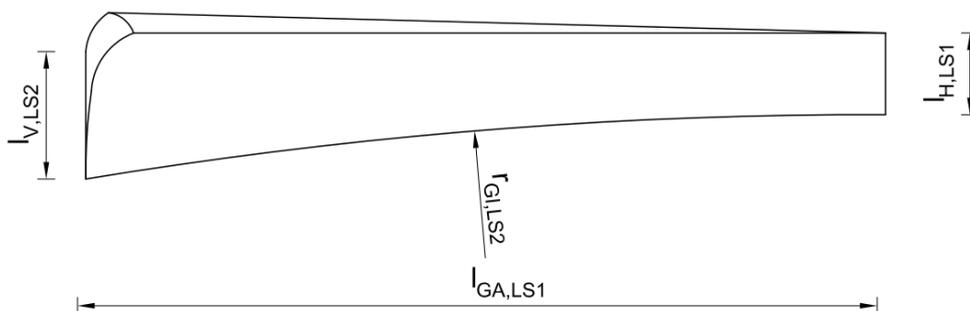


Abbildung 23: Draufsicht mit Variablen, LS 2

Tabelle 8: Variablen der Draufsicht, LS 2

Variable	Bezeichnung	Wert	Einheit
$l_{GA,LS1}$	Länge Grundriss außen Leitschaufel 1	116	mm
$r_{GI,LS2}$	Radius Grundriss innen Leitschaufel 2	ca. 700	mm
$l_{H,LS1}$	Länge hinten Leitschaufel 1 (in Bogenmaß)	12	mm
$r_{GA,LS2}$	Radius Grundriss außen Leitschaufel 2	ca.1000	mm
$l_{V,LS2}$	Länge vorne Leitschaufel 2 (in Bogenmaß)	18	mm

In der Draufsicht der Abbildung 24 ist die Verdrehung aufgrund der Schraublinienanpassung zu sehen.

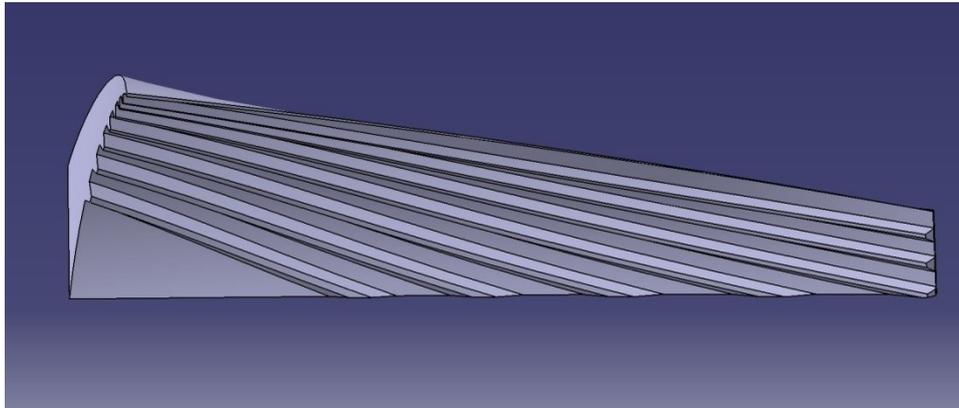


Abbildung 24: Draufsicht der LS 2 in CATIA

3.2.3 Herstellung der Leitschaufeln

Bei der Herstellung der Leitschaufeln stellte sich die Frage nach dem Material und der Fertigungsmethode. Aufgrund der finanziell begrenzten Möglichkeiten wurde Rapid Prototyping (herstellen eines Prototypen) und anschließendes Rapid Manufacturing (herstellen einer kleinen Serie mit demselben Verfahren) gewählt. Eine weitere Möglichkeit - nach der Herstellung eines Prototyps eine Gussform anzufertigen (mit dem Vorteil die Leitschaukel aus verschiedenen Materialien herstellen zu können) - wurde aufgrund der zu hohen Kosten wieder verworfen. Unter den verschiedenen Rapid Prototyping Verfahren wurde das Verfahren SLS - Selektives Lasersintern (Kunststoff) ausgewählt. Aus den Programmen CATIA und Pro/ENGINEER wird eine Datei im STL-Format generiert und von der Software der Sinterstation verarbeitet. Anschließend wird das Kunststoffpulver in einzelnen Schichten aufgeschmolzen und in bis zu 0,1 mm starken Schichten aufgetragen. Die Prozessstufen der Sinterstation wurden mit 0,25 mm von der Firma RPD GmbH angegeben. Als Material für das Kunststoffpulver wurde Polyamid (PA) Duraform verwendet. Für die Fertigung wurde die Firma RPD – Rapid Prototyping Development in Kapfenberg beauftragt. Als Sinterstation wurde das Modell DTM 2500 der Firma DTM GmbH mit einem Bauraum von 330 x 280 x 390 mm (X, Y, Z) gewählt. (RPD GmbH, 2011)

ANSICHTEN DER HERGESTELLTEN LEITSCHAUFELN

Die fertigen Prototypen aus PA werden in den folgenden Abbildungen gegenübergestellt, um die Unterschiede der beiden Leitschaufeln am gefertigten Produkt nochmals zu veranschaulichen. Wie ersichtlich, ist bei Leitschaukel 1 die Spitze abgebrochen.

In Abbildung 25 sind beide Leitschaufeln in der Seitenansicht zu sehen. In weiterer Folge sind die Leitschaufeln um die Längsachse 180° gedreht dargestellt, wodurch jeweils an der Unterseite die Gewindeeinsätze erkennbar sind (Abbildung 26). Abbildung 27 zeigt die Frontansicht, wobei LS 2 mehr gerundet ist als LS 1. Die Perspektive in Abbildung 28 visualisiert den Verlauf der einzelnen Nuten. In der Draufsicht der Abbildung 29 wird das Auskragen der LS 2 dargestellt. Die Ansicht in Fließrichtung ist in Abbildung 30 zu sehen.



Abbildung 25: Seitenansicht LS 2 (oben) und LS 1 (unten)



Abbildung 26: Darstellung der in Abbildung 25 verdeckten Seite, LS 1 oben, LS 2 unten



Abbildung 27: Frontansicht LS 1 (links) und LS 2 (rechts)



Abbildung 28: Frontansicht mit Perspektive, LS 2 (links), LS1 (rechts)

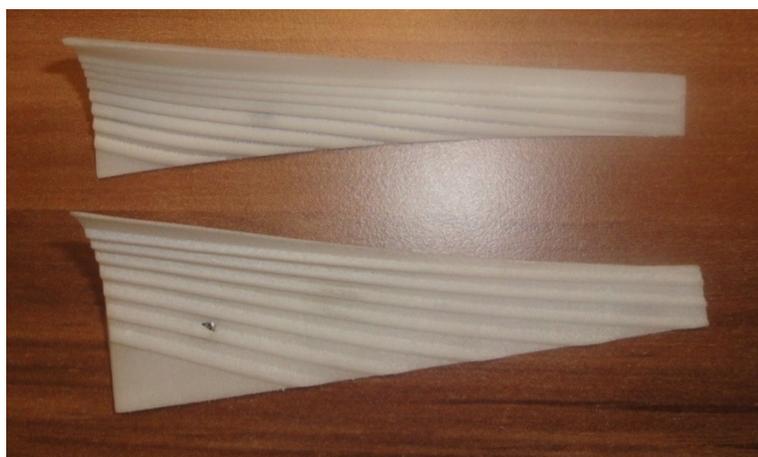


Abbildung 29: Draufsicht der LS 1 (oben) und der LS 2 (unten)

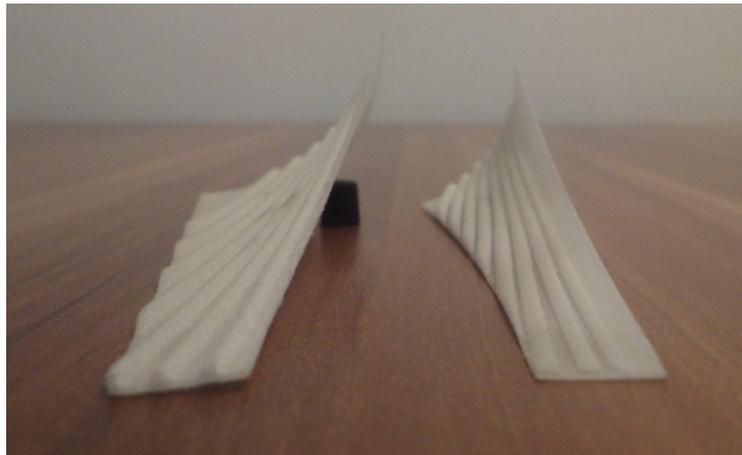


Abbildung 30: Ansicht in Fließrichtung, LS 2 links, LS1 rechts

4 HYDRAULISCHER VERSUCH

4.1 Versuchshalle und Infrastruktur

Der hydraulische Versuch wurde in der Hydraulikhalle der Wasserwirtschaftsinstitute der Universität für Bodenkultur Wien in 1190 Wien aufgebaut und durchgeführt. Die Versuchsstrecke wurde an die fix installierte Ringleitung angeschlossen, welche mit dem Hochbehälter verbunden ist. Der Hochbehälter befindet sich ca. 5 m über der horizontalen Versuchsstrecke. Die Ringleitung besteht aus Stahlrohren mit einem Nenndurchmesser DN250. Das Wasser wird nach der Versuchsstrecke in ein Rigol geleitet, welches mit dem Tiefbehälter verbunden ist. Durch Pumpen vom Tiefbehälter wird der Wasserkreislauf zwischen diesem und dem Hochbehälter geschlossen. In Abbildung 31 ist der Wasserkreislauf schematisch dargestellt.

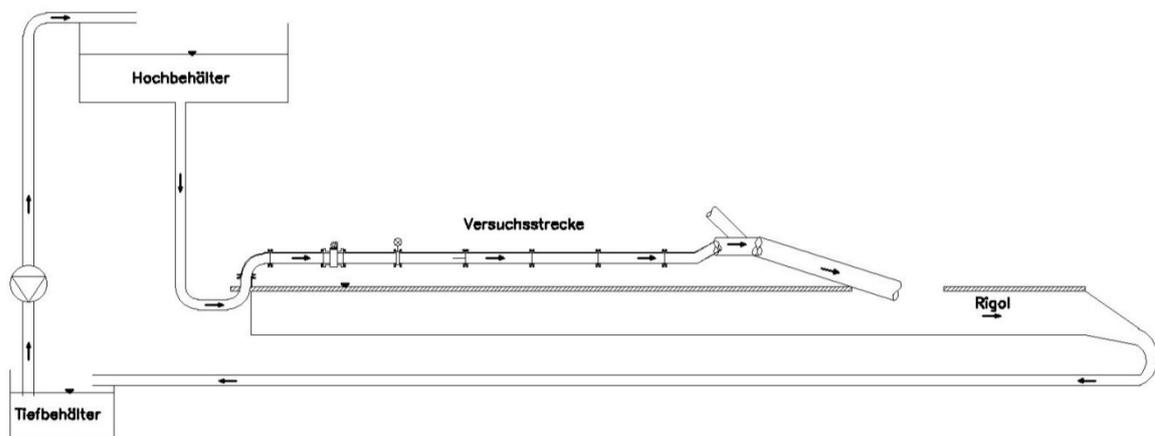


Abbildung 31: Schematischer Wasserkreislauf des Versuchs

4.2 Beschreibung des Versuchsstandes

Der Anschluss an die Versorgungsleitung wurde mit Rohr 1 (R1) an das Stahlrohr DN 250 hergestellt. Bei R1 handelt es sich um einen 90° Bogen aus PE mit Loseflansch. R2 (L = 1250 mm) dient als Beruhigungstrecke für das nachgeschaltete magnetisch-induktive Durchfluss-Messsystem (IDM). Dem IDM folgt eine weitere Beruhigungstrecke mit R3 (L = 1250 mm), welche in den Plattenschieber mündet. Dieser dient zur Regelung der Durchflussmenge und um den Umbau der Versuchsrohre zu gewährleisten. In Richtung Rohr 3 steht der Plattenschieber permanent unter dem Druck des Hochbehälters. Im weiteren Verlauf folgt eine Beruhigungsstecke R4 (L=1500 mm), auf der sich der erste Messpunkt (MP 1) befindet. R5 und R6 ergeben gemeinsam ein Versuchsrohr, es kann sich dabei um Versuchsrohr 0 oder 1 handeln. Nachstehend folgt R7 mit Messpunkt 2 (MP 2). Der 30° Bogen von R8 hat die Aufgabe, die Versuchsstrecke permanent unter Wasser zu halten. Das Verbindungsrohr DN 400 ermöglicht mit seinem 45° Anschluss (DN 300) die Belüftung um den Sog einfluss zu verringern. Das Ablaufrohr DN 450 leitet das Wasser schließlich in das Rigol. (siehe Abbildung 32 und Tabelle 9)

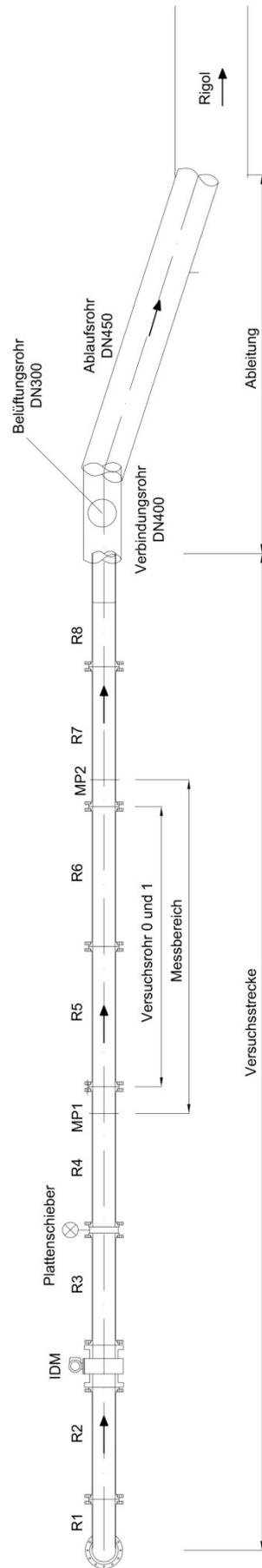


Abbildung 32: Übersicht des Versuchsstands (Draufsicht, Fließrichtung von unten nach oben)

Tabelle 9: Komponenten des Versuchsstands

Abkürzung	Bezeichnung	Aufgabe
VERSUCHSSTRECKE		
R1	Rohr 1, 90° Bogen, PE, DN 250	Richtungsänderung von vertikal nach horizontal
R2	Rohr 2, L = 1250 mm, PE, DN 250	Beruhigungsstrecke
IDM	Induktive Durchflussmessung	Durchflussmessung
R3	Rohr 3, L = 1250 mm, PE, DN 250	Beruhigungsstrecke
Plattenschieber	Plattenschieber DN 250	Regelung der Durchflussmenge
R4	Rohr 3, L = 1500 mm, PE, DN 250	Beruhigungsstrecke
MESSBEREICH		
MP 1	Messpunkt 1	Differenzdruckmessung
R5	Versuchsrohr 0, 1; 1500 mm	-
R6	Versuchsrohr 0, 1; 1500 mm	-
MP 2	Messpunkt 2	Differenzdruckmessung
R7	Rohr 7, L = 1500mm, PE, DN 250	Beruhigungsstrecke
R8	Rohr 8, 30° Bogen, PE, DN 250	Wasserstand halten
WASSERABLEITUNG		
Verbindungsrohr DN 400	DN 400, mit 45° Bogen DN 300	Wassertransport und Belüftung
Belüftungsrohr DN 300	DN 300, PVC L = 1000 m	Belüftung
Ablaufrohr DN 450	DN 450, 4500 mm	Ableitung in Rigol

In Abbildung 33 ist links der Anschluss an die Ringleitung zu sehen. In der Mitte des Bildes sind in blau der IDM und der Plattenschieber erkennbar. Rechts ist der erste Teil des Versuchsrohrs in Form von R5 ersichtlich. Der weitere Verlauf ist in Abbildung 34 veranschaulicht - beginnend mit dem Plattenschieber (oben) und endend mit dem 30° Bogen R8 (unten). Die Schläuche die von MP 1 und MP 2 Richtung Differenzdruckaufnehmer verlaufen, sind in der Bildmitte zu sehen.



Abbildung 33: Versuchsstrecke vom Anschluss an die Ringleitung bis Rohr 5



Abbildung 34: Versuchsstrecke vom Plattenschieber bis Rohr 8 (30° Bogen), Versuchsstreckenende



Abbildung 35: Wasserableitung ab Rohr 8 bis Rigol (Versuchsnr. 0.1.1, 0.2.1, 1.1, 1.2)



Abbildung 36: Wasserableitung ab Rohr 8 bis Rigol (Versuchsnr. 0.1.2, 0.2.2, 2.1, 2.2)

Am Rohr 8 wird das Verbindungsrohr DN 400 angebracht und durch Kunststoffbänder abgedichtet, analog dazu wird dies auch beim Ablaufrohr DN 450 mit dem Verbindungsrohr durchgeführt. Das Belüftungsrohr muss entsprechend ausgeführt werden um einen Wasseraustritt zu vermeiden (siehe Abbildung 35).

Aufgrund anderer Versuche musste die Wasserleitung nach Abschluss der Versuchsreihe mit Leitschaufel 1 abgebaut werden und wurde zwei Monate später für die Messungen mit Leitschaufel 2 wieder aufgebaut (Abbildung 36).

4.3 Vorarbeiten an den Rohren

4.3.1 Bearbeiten der Rohre

Bei der Herstellung der Rohre entsteht durch den Schweißbund ein Schweißfalz an der Innenseite. Um diese Unebenheiten zu vermeiden, wurde dieser bei den Rohren 4, 5, 6, 7 und 8 mit einem Messer entfernt (Abbildung 37 und Abbildung 38).



Abbildung 37: Schweißfalz Entfernung mit Messer



Abbildung 38: Einsicht ins Rohr ohne Schweißfalz

4.3.2 Befestigung der Leitschaufeln

Das Versuchsrohr 0 bestand aus Messrohr R5 und R6 ohne Leitschaufeln. Für Versuchsrohr 1 wurden R5 und R6 mit Leitschaufeln ausgestattet, jeweils mit LS 1 und LS 2. Insgesamt wurden 18 Leitschaufeln mit jeweils zwei Schrauben befestigt, drei in einem Querschnitt bei sechs Querschnitten im Versuchsrohr 1. Im Zuge der Planung von Leitschaufel 1 wurden Bohrungen mit 5,4 mm Durchmesser und einer Tiefe von 6 mm vorgesehen, bei Leitschaufel 2 wurde der Durchmesser bei identer Tiefe auf 4,1 mm verringert (aufgrund der schlankeren Leitschaufeln erforderlich).

Zur Befestigung der beiden Leitschaufeln wurden zwei Dünnwand-Gewindeinsätze des Herstellers Kerb-Konus in diese geschraubt. Für Leitschaufel 1 wurde ein Gewindeeinsatz mit Außendurchmesser M6 und Innendurchmesser M4, für LS 2 einer mit Außendurchmesser M4 und Innendurchmesser M3 desselben Typs verwendet. Das gewählte Fabrikat Ensaf-SD, Werknorm 303, ist selbstschneidend und mit Schneidschlitz ausgeführt. Es ist besonders für dünne Restwandungen bei Kunststoffen geeignet. Der Gewinde-Einsatz besteht aus Stahl, der verzinkt und chromatiert ist (KERB-KONUS, 2011).

Nach Einbau der Gewindeinsätze wurden je Querschnitt sechs Bohrungen im Versuchsrohr 1 hergestellt – (zwei Bohrungen / Leitschaufel bei drei Leitschaufeln / Querschnitt) für LS 1 mit \varnothing 5 mm, für LS 2 mit \varnothing 4 mm. Die einzelnen Leitschaufeln wurden von außen durch zwei Schrauben mit Muttern und Beilagscheiben, wobei die Beilagscheibe direkt am Rohr auflag, befestigt (Abbildung 39). Bei LS 1 wurden M4 Schrauben verwendet und bei LS 2 M3. Das Dichtmittel wurde zwischen Bohrung und Beilagscheibe aufgetragen.



Abbildung 39: Bohrungen und Einpassen der Leitschaufel

In Abbildung 40 ist die Rohrrinnenansicht des Versuchsrohrs 1 mit LS 1 in Fließrichtung zu sehen. Abbildung 41 zeigt das Rohr mit LS 2 gegen die Fließrichtung, Abbildung 42 mit LS 2 in Fließrichtung.

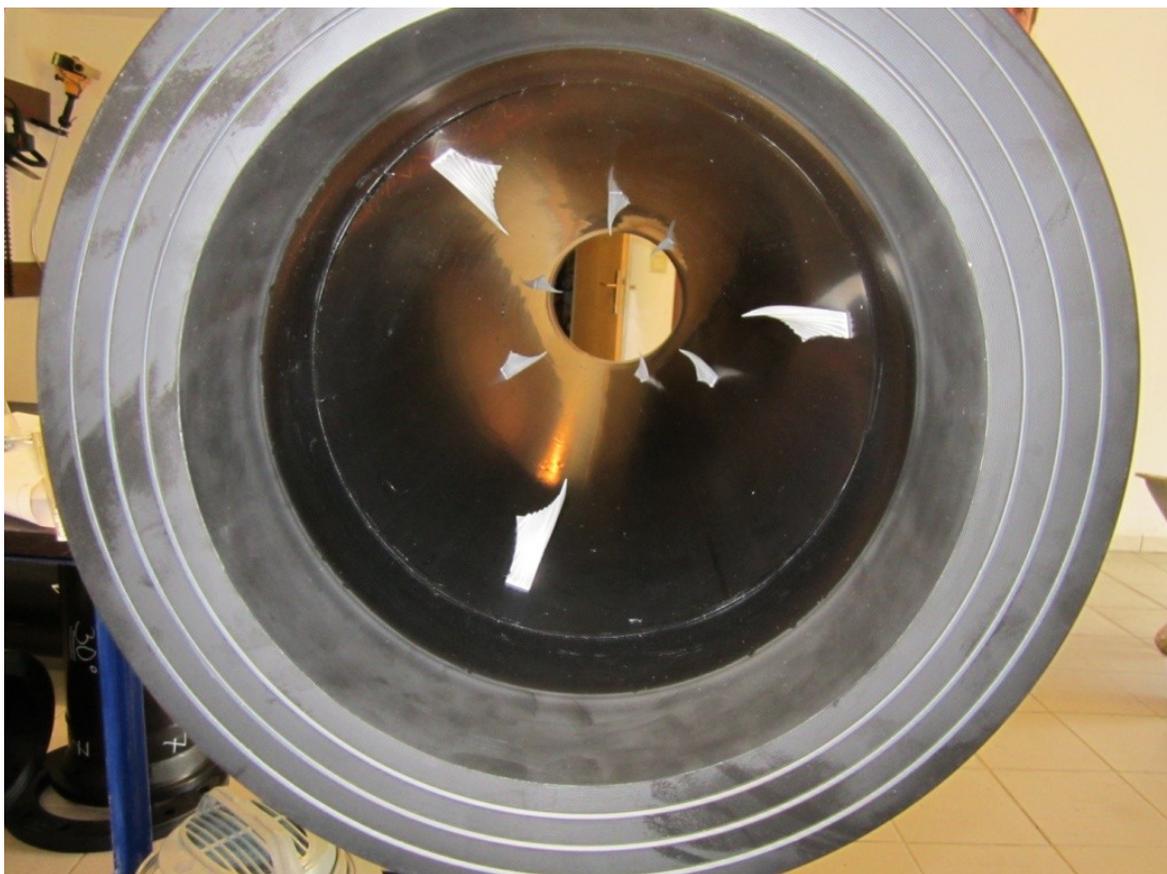


Abbildung 40: LS 1, Einsicht ins Versuchsrohr 1 in Fließrichtung

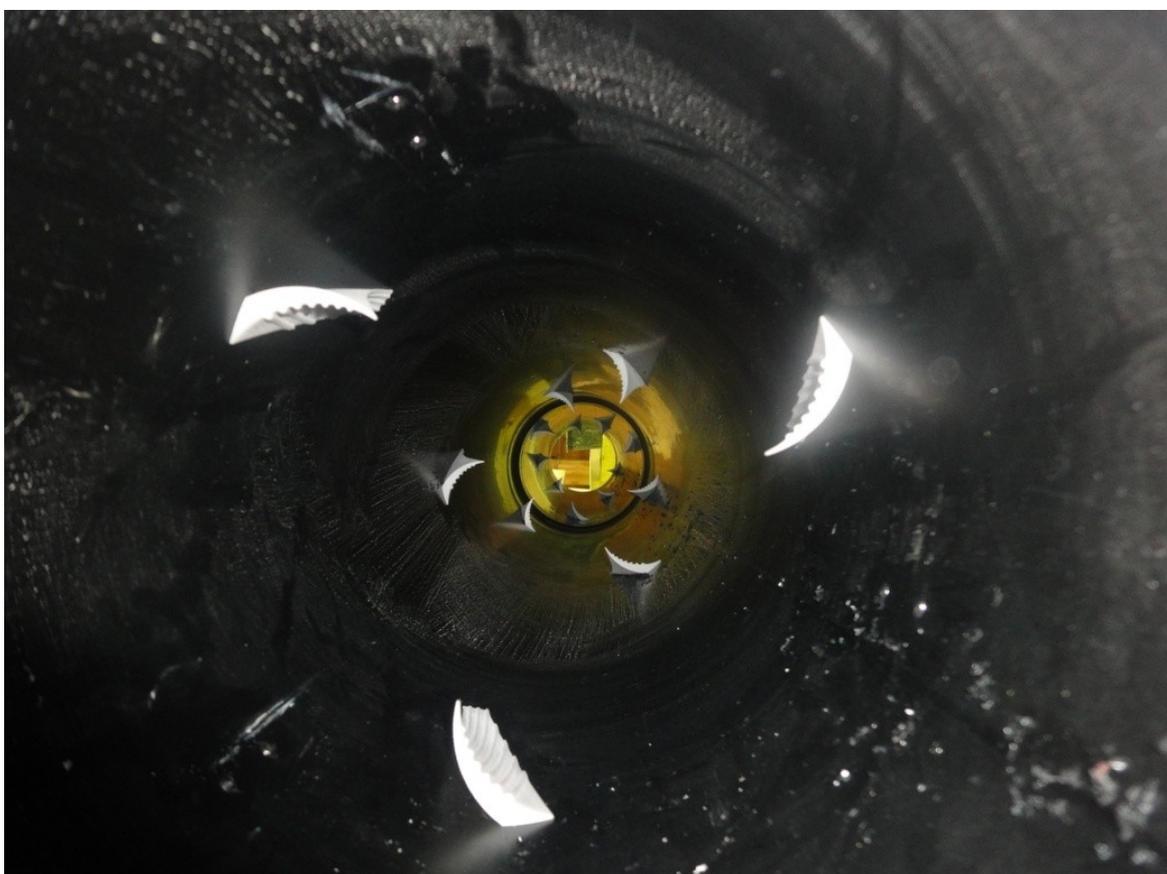


Abbildung 41: LS 2, Einsicht ins Versuchsrohr 1 gegen die Fließrichtung



Abbildung 42: LS 2, Einsicht ins Versuchsrohr 1 in Fließrichtung

4.3.3 Einrichten des Messpunkte 1 und 2

Für die Messpunkte 1 und 2 wurde jeweils an vier Punkten im Querschnitt ein Anschlusspunkt hergestellt, um den Mittelwert des Drucks im Querschnitt messen zu können. In die Bohrungen wurde ein M6 Gewinde eingedreht, in welches eine M6 Innensechskantschraube mit einer Bohrung von 1,5 mm entlang der Längsachse dicht geschraubt wurde. Der Messquerschnitt ist in Abbildung 43 visualisiert. Messpunkt 1 befindet sich 30 cm vor dem Versuchsrohr (R5), also auf R4, Messpunkt 2 nach dem Versuchsrohr auf R7, ebenfalls 30 cm nach R6. Daraus resultiert ein Messbereich mit einer Länge von 3,60 m ($0,30 + 3,00 + 0,30$).

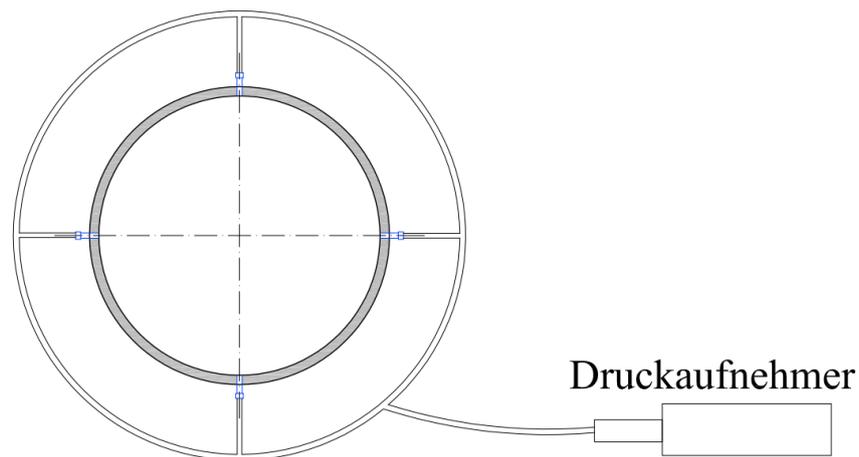


Abbildung 43: Messquerschnitt mit vier Anschlüssen zur Druckmessung

4.4 Messtechnik

Für die experimentelle Untersuchung wurden Differenzdruckmessungen zwischen den beiden Messpunkten (MP) 1 und 2 ermittelt und Durchflussmessungen durchgeführt. Die Anordnung der Messquerschnitte ist in Abbildung 32 (Versuchsstand) ersichtlich.

4.4.1 Durchflussmessungen

Zur Durchflussmessung wurde das magnetisch-induktive Durchfluss-Messsystem (IDM) zwischen den Rohren 2 und 3 mit einem Nenndurchmesser von DN 250 eingebaut. Zum Einsatz kam ein PROMAG 50W der Firma Endress+Hauser. Die Messgenauigkeit bis 10m/s beträgt $\pm 0,5\%$. Bei der Einlaufstrecke ist für diese Messgenauigkeit eine Einhaltung von $\geq 5 \times DN$ und für die Auslaufstrecke $\geq 2 \times DN$ nötig. Dies wurde bei der Einlaufstrecke mit einer Länge von 1250 mm und bei der Auslaufstrecke mit 1250mm eingehalten. (ENDRESS+HAUSER, 2009)

Nach den Vorversuchen wurde die Abtastrate für die Durchflussmessung mit 10 Werten pro Sekunde und einer Messzeit von 60 Sekunden je Durchflusseinstellung durch den Plattenschieber verifiziert.

4.4.2 Differenzdruckmessung

Die Druckdifferenz wurde zwischen MP 1 und MP 2 gemessen. Der Abstand zwischen den beiden Messquerschnitten betrug 3,60 m. Die vier Messanschlüsse im Querschnitt (Abbildung 43) wurden durch eine Ringleitung aus Plastikschläuchen miteinander verbunden, um die Druckschwankungen im jeweiligen Querschnitt auszugleichen. Die Ringleitung in MP 1 und MP 2 wurde den beiden Anschlüssen des Differenzdruckaufnehmers zugeordnet (Abbildung 44). Zur Druckdifferenzmessung wurde der induktive Differenzdruckaufnehmer PD1 der Firma HBM, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, verwendet. Der Nenndruck PN wurde vom Hersteller mit 50 bar und einem Δp von 0,1 bar angegeben. Der absolute Druck wurde nicht aufgezeichnet.



Abbildung 44: Differenzdruckaufnehmer

4.4.3 Temperatur

Die Wassertemperatur in der Hydraulikhalle beträgt durchschnittlich 20° Celsius mit einem Schwankungsbereich von +/- 1°. Das Wasser ist durch andere Untersuchungen mit Sedimenten und Schwebstoffen geringfügig verunreinigt. Die kinematische Viskosität wurde mit $\nu = 1,03E-6 \text{ m}^2/\text{s}$ (bei 20° Celsius) aus LOISKANDL und NOLZ 2010 festgelegt, um die Verlusthöhe zu berechnen.

4.5 Versuchsablauf

Zur experimentellen Untersuchung wurde der Differenzdruck bei verschiedenen Durchflüssen erfasst. Bevor mit den Messungen begonnen wurde, mussten der IDM und der Differenzdruckaufnehmer kalibriert werden - dies geschah vor den Vorversuchen. Für die Erprobung der Leitschaufel 1 wurden vier Vorversuche (ver1 bis ver4), für Leitschaufel 2 zwei Vorversuche (ver9 und ver10) durchgeführt (Tabelle 10). Ziel der Vorversuche war es, die Dichtheit des Versuchsstandes und die korrekte Datenaufzeichnung zu kontrollieren.

Tabelle 10: Vorversuche

Versuch	Datum	Uhrzeit	Dauer in min	Beschreibung
ver1	22.08.11	13:45	39	Fehlerhafte Datenaufzeichnung
ver2	22.08.11	14:37	20	Undichtheit vor und nach Verbindungsrohr
ver3	23.08.11	12:19	28	Undichtheit vor Verbindungsrohr
ver4	24.08.11	15:41	34	Versuchsstrecke und Datenaufzeichnung OK
ver9	08.11.11	16:45	54	Undichtheit nach Verbindungsrohr
ver10	08.11.11	17:39	53	Versuchsstrecke und Datenaufzeichnung OK

Die Hauptversuche wurden in drei Versuchsgruppen unterteilt: in die Versuchsgruppe 0 ohne Leitschaufeln, sowie in die Versuchsgruppen 1 und 2 mit Leitschaufeln.

- **Versuchsgruppe 0 (VG 0):** Nullversuche, ohne Leitschaufel
- **Versuchsgruppe 1 (VG 1):** Versuche mit Leitschaufel 1
- **Versuchsgruppe 2 (VG 2):** Versuche mit Leitschaufel 2

Insgesamt wurden 8 Hauptversuche gefahren (Tabelle 11). Bei jedem Messdurchgang wurden die Werte für 29 Einstellungen am Plattenschieber über einen Zeitraum von je ≥ 60 Sekunden aufgezeichnet (siehe Tabelle 12 bis Tabelle 19 im Anhang). Ein Datensatz beginnt mit dem geschlossenen Schieber (Ausnahme: Versuchsnr. 0.2.2), der in weiterer Folge stufenweise bis zur Vollöffnung bewegt wird. Anschließend wird der Plattenschieber geschlossen und der Datensatz endet.

Die Versuchsnummer (Tabelle 11) besteht aus zwei bzw. drei Zahlen, wovon die erste die Versuchsgruppe angibt und die zweite den Durchgang (*1* steht für den ersten Durchgang, *2* für die Wiederholung des ersten Durchgangs). Bei den Nullversuchen kommt eine dritte Zahl hinzu, welche Auskunft darüber gibt, zu welcher Versuchsreihe der Nullversuch gehört.

Tabelle 11: Übersicht der Hauptversuche

Versuch	Datum	Uhrzeit	Dauer in min	Versuchsnr.	Beschreibung
ver5	25.08.11	09:46	46	1.1	VG 1, erster Durchgang
ver6	25.08.11	10:45	45	1.2	VG 1, Wiederholung
ver7	29.08.11	10:51	47	0.1.1	VG 0, erster Durchgang, zu LS 1
ver8	29.08.11	11:39	36	0.2.1	VG 0, Wiederholung, zu LS 1
ver11	14.11.11	09:54	35	0.1.2	VG 0, erster Durchgang, zu LS 2
ver12	14.11.11	11:10	36	0.2.2	VG 0, Wiederholung, zu LS 2
ver13	14.11.11	14:48	49	2.1	VG 2, erster Durchgang
ver14	14.11.11	15:53	49	2.2	VG 2, Wiederholung

4.6 Datenauswertung

Die Daten wurden im Datalogger (Notebook) mit dem Programm Catman 3.0 aufgezeichnet. Die entstandenen Rohdaten wurden mit der Kalibrierfunktion umgerechnet. Mithilfe des Tabellenkalkulationsprogrammes Microsoft Excel 2007 wurden sie ausgewertet. In Abbildung 45 werden der Durchfluss und die Druckdifferenz über die Zeit dargestellt. Der Durchfluss wurde vom geschlossenen Plattenschieber bis zur Vollöffnung stufenweise geöffnet und anschließend wieder geschlossen. Die einzelnen Öffnungsstufen sind gut zu erkennen (stufenweiser Anstieg der Linie). Bei der Druckdifferenz ist durch die Schwankungen nur ein Anstieg erkennbar.

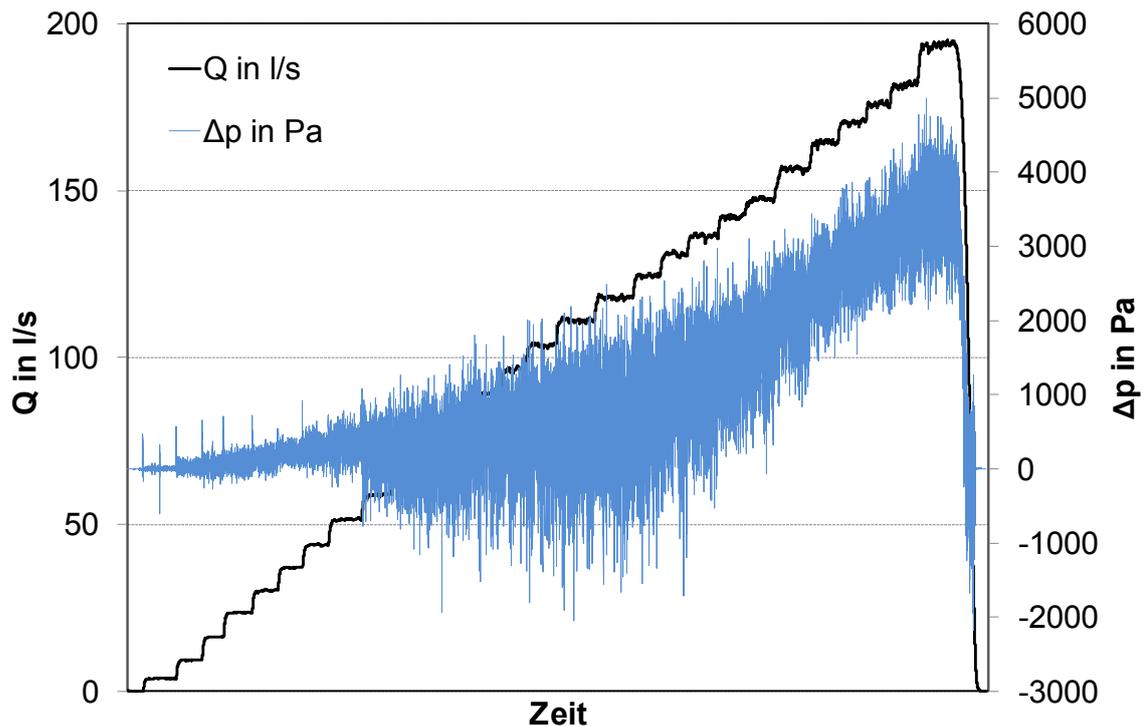


Abbildung 45: Messverlauf ver13

Für jede Messreihe wurden für die 29 verschiedenen Einstellungen am Plattenschieber die Mittelwerte bestimmt. Wie bereits in Kapitel 4.5 erwähnt, wurde je Einstellung eine Messdauer von ≥ 60 Sekunden festgelegt. Nach dem Einstellen einer Durchflussmenge wurden die Daten erst nach einer Verweilzeit von ≥ 10 Sekunden verwendet. Am Ende jeder Einstellung wurden ≥ 5 Sekunden nicht berücksichtigt. Unter diesen Randbedingungen konnte ein Messzeitraum von ≥ 20 Sekunden zur Mittelwertbestimmung sichergestellt werden. Dieser wurde visuell anhand des Durchflussverlaufs festgelegt. Die beschriebene Methode wurde für alle Versuchsgruppen und Schiebereinstellungen einzeln durchgeführt. Die festgelegten Zeiträume wurden analog für die Mittelwertbestimmung der Druckdifferenz verwendet. Zur Übersicht wurde die visuelle Ermittlung beispielhaft in Abbildung 46 dargestellt. Der Differenzdruck wurde aufgrund der Gleichungen (2-6 bis 2-8) in Kapitel 2 ausgewertet und in Pascal angegeben. Zur Mittelwertbildung wurde das arithmetische Mittel herangezogen.

ARITHMETISCHES MITTEL

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4-1)$$

x_iMesswert

nAnzahl der Messungen

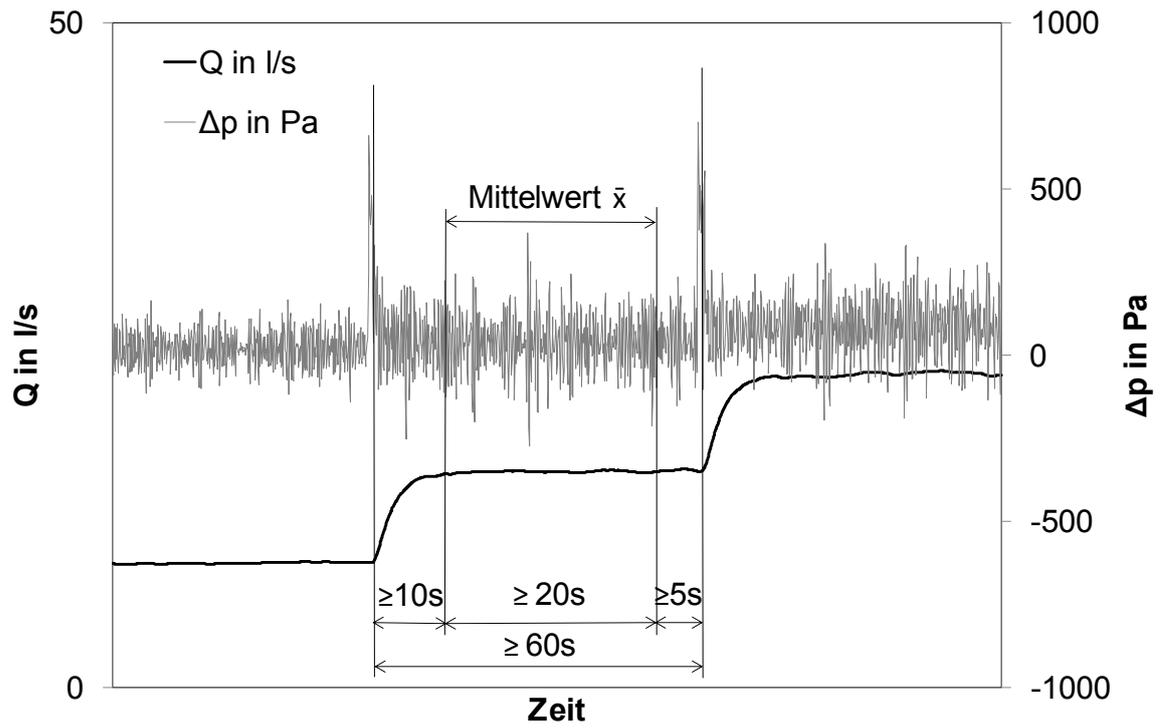


Abbildung 46: Visuelle Ermittlung des Zeitraums zur Mittelwertbestimmung

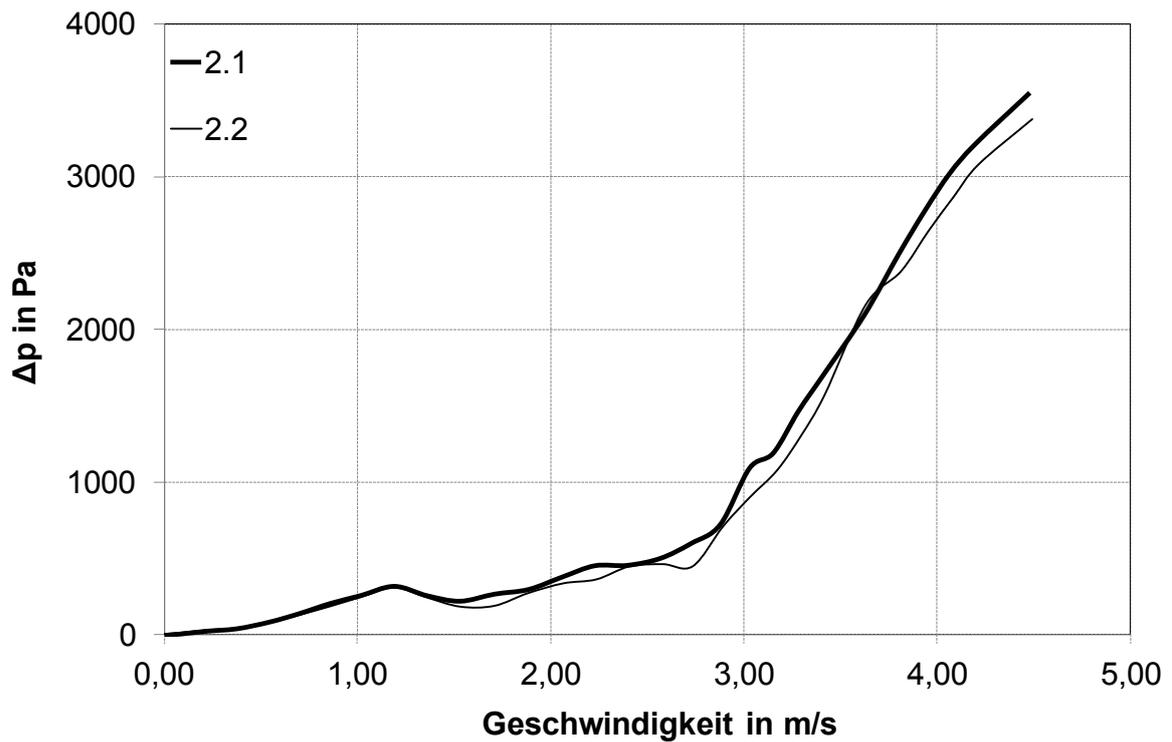


Abbildung 47: Grafische Gegenüberstellung VG 2 erster Versuch und Wiederholung

In Abbildung 47 ist beispielhaft die Versuchsgruppe 2 mit Erstversuch und Wiederholung veranschaulicht. Sie zeigt, dass die beiden Messungen zwar kleine Abweichungen aufweisen, jedoch ohne Ausreißer verlaufen.

5 ERGEBNISSE

In Abbildung 48 wurden die Versuche gegenübergestellt nachdem der erste Versuch mit der Wiederholung der jeweiligen Versuchsgruppe gemittelt wurde. Das Diagramm veranschaulicht, dass die Versuchsgruppe 0 bei beiden Versuchen und jeder getesteten Geschwindigkeit über einen geringeren Differenzdruck als die Versuchsgruppen 1 und 2 ergab. Die Versuchsgruppe 2 weist ab einer Geschwindigkeit von 1 m/s einen deutlich höheren Differenzdruck auf als die VG 1 und VG 0.

Der nicht erklärable Druckverlust zwischen 1 m/s und 3 m/s ist vermutlich auf einen systematischen Fehler in der Druckaufzeichnung zurückzuführen. Diese Annahme wird auch unterstützt, dass der gemessene maximale Wert deutlich niedriger ist als der berechnete Wert (vgl. Abbildung 48 und Abbildung 49). In jedem Fall gibt es keine Überschneidung der einzelnen Kurven bzw. eine stetige Zunahme der Druckverluste.

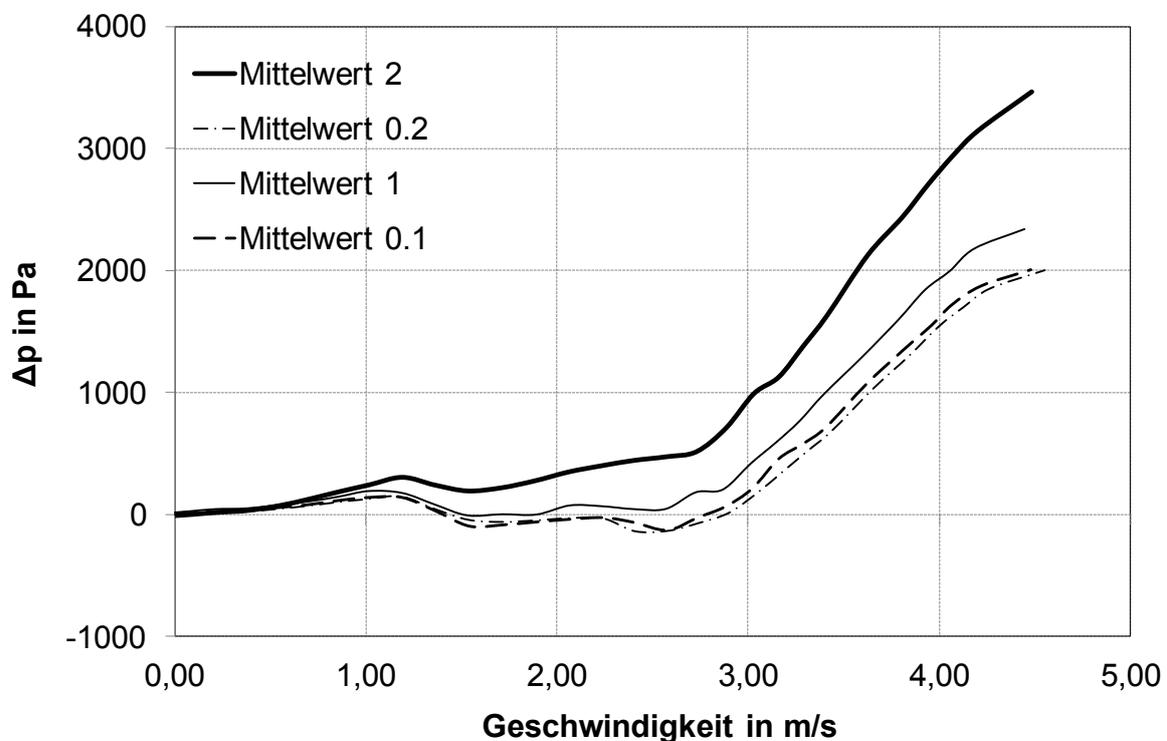


Abbildung 48: Vergleich der Versuchsgruppen

Zur besseren Darstellung der Ergebnisse wurden die ungewollten Messeinflüsse mit Hilfe der Verlusthöhenberechnung eliminiert. Mit den in Kapitel 2 angegebenen Gleichungen konnte dieses Vorhaben in Microsoft Excel 2007 umgesetzt werden.

Die Geschwindigkeit wurde für den Bereich von 0 bis 200 l/s, in 10 l/s Schritten errechnet. Darauffolgend wurden, unter der in Kapitel 4.4.3 angegebenen kinematischen Viskosität, die dazugehörigen Reynoldsen Zahlen (2-1) kalkuliert. Als nächsten Schritt wurde unter Verwendung von Moody (2-2) die Grenze zwischen Übergangsbereich und rauem Bereich ermittelt. Daraus resultierte für 10, 20, 30 l/s die Verwendung der Übergangsbereichsgleichung (2-3) und von 40 – 200 l/s die Anwendung der Gleichung (2-4) des rauhen

Bereiches zur Errechnung von λ . Nun konnten die Verlusthöhen für die einzelnen Geschwindigkeiten mit der Formel (2-5) berechnet werden.

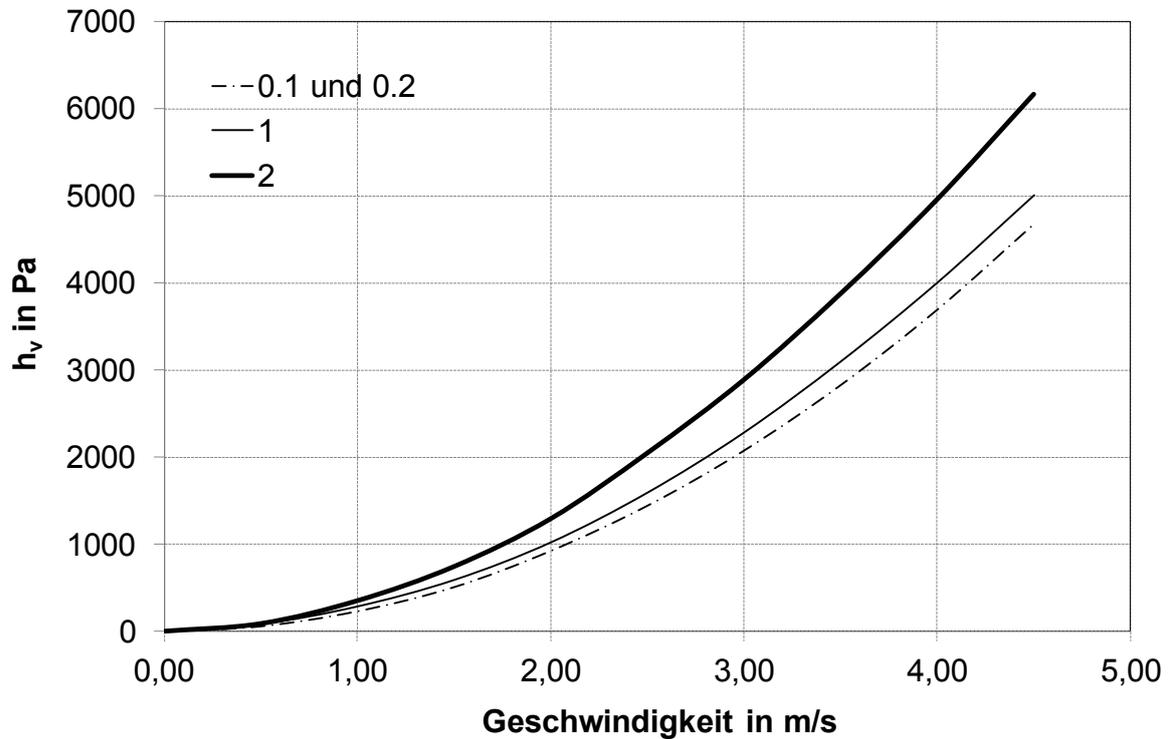


Abbildung 49: Endergebnis des Versuchs

Das Ergebnis der Berechnung ist in Abbildung 49 zu sehen. Zusätzlich wird in dieser Abbildung, wie auch schon in Abbildung 48, der größere Differenzdruck der Leitschaufel 2 über den gesamten Geschwindigkeitsbereich ersichtlich. Die Leitschaufel 1 verursacht durch ihre Positionierung der Längsachse in Fließrichtung einen geringeren Verlust, jedoch immer noch mehr als die VG 0.

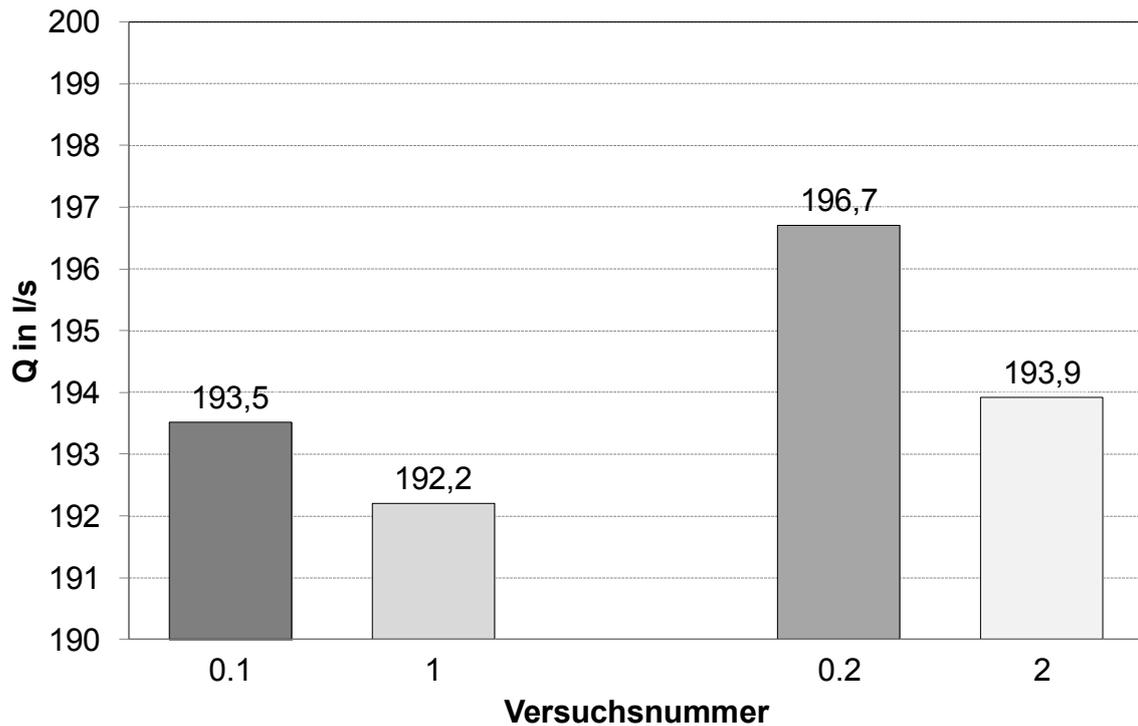


Abbildung 50: Darstellung der maximalen Durchflüsse der jeweiligen Versuchsgruppen

In Abbildung 50 werden die maximalen Durchflüsse bei Vollöffnung des Plattenschiebers dargestellt. Die Versuchsgruppe 0 (0.1 und 0.2) hat jeweils größere Maximaldurchflüsse als die dazugehörigen VG 1 und VG 2. Die höheren Werte bei den Versuchsnummern 2 und 0.2 sind auf eine bessere Abdichtung im zweiten Versuchsaufbau, welche einen größeren Sogeeinfluss bewirkte, zurückzuführen. In beiden Fällen (VG 1, VG 2) ist der Druckverlust mit Leitschaufeln größer.

6 ZUSAMMENFASSUNG / AUSBLICK

In der vorliegenden Arbeit werden die Differenzdrücke von Rohrleitungen mit unterschiedlichen Leitschaufeln mit Rohrleitungen ohne Leitschaufeln verglichen. Es konnte durch den Einbau der Leitschaufeln in eine Rohrleitung **KEIN** verminderter Druckverlust festgestellt werden (gültig für Leitschaufel 1 und 2). Die ermittelten Ergebnisse sind nur für den beschriebenen Versuchsaufbau (Lage der Messpunkte, 0° Neigung, Messbereich, Materialien, Position der Leitschaufeln, Geometrie der Leitschaufeln und Rohrleitungsverlauf) gültig.

In der Versuchsreihe wurde ein Abschnitt von 3,60 m Länge mit 18 Leitschaufeln erprobt. Eine sinnvolle Ausweitung des Versuchs über eine größere Länge und verschiedenen Neigungen konnte aufgrund begrenzter finanzieller Mittel und des zu hohen Aufwandes nicht durchgeführt werden.

Heutzutage besteht die Möglichkeit unter Verwendung von moderner CFD (Computational Fluid Dynamics) Software strömungsmechanische Probleme mit numerischen Methoden zu lösen (Wikipedia, 2012). Dadurch kann die Länge vervielfacht, das Gefälle der Leitung und die Lage der Leitschaufeln variiert und die Größe der Leitschaufeln verändert werden. Dies hat den Vorteil, dass man Änderungen am Versuch - ohne finanziellen Aufwand - am Computer vornehmen kann, im Gegensatz zu einem realen Versuch. Ein weiterer großer Pluspunkt ist, dass man das Rohr von Innen betrachten kann und somit eine allfällige Wirbelbildung ersichtlich wird. Es macht daher Sinn, neben den Laborversuchen eine numerische Behandlung der Problemstellung durchzuführen.

Mögliche zukünftige Arbeiten:

- Leitschaufel 2 über eine längere Versuchsstrecke (> 10 m) und unterschiedlichen Neigungen numerisch zu modellieren;
- Leitschaufel 2 mit doppelter Größe im Verhältnis zum Rohrdurchmesser numerisch modellieren;
- Rekonstruieren der Leitschaufeln des Patents „Wasserführung – Zusatzpatent zum Patent 143543“ von Viktor Schauburger (siehe dazu Abbildung 51), anschließend ebenfalls bei verschiedenen Neigungen numerisch modellieren;
- Wenn es bei der Modellierung zu einer Wirbelbildung kommt: Durchführung eines „realen“ Versuchs.

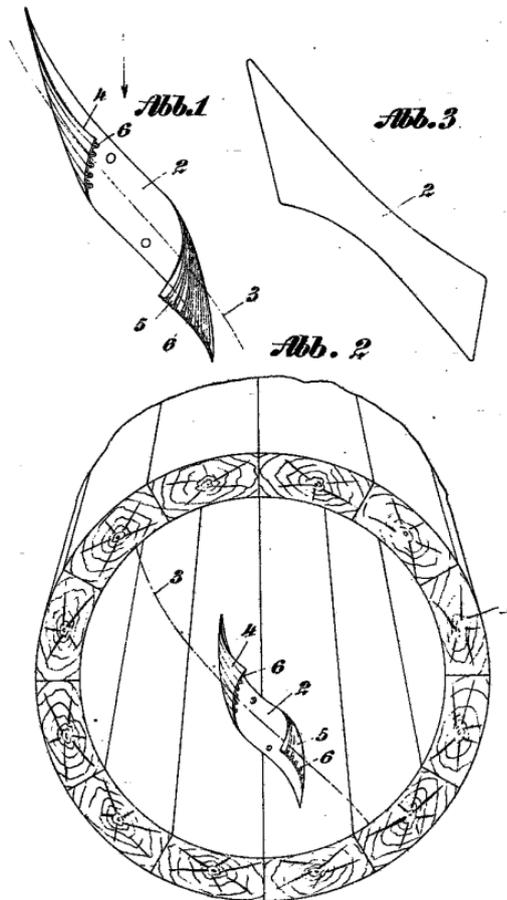


Abbildung 51: Grafischer Teil des österr. Patents 138296 (SCHAUBERGER, 1934)

Beim österr. Patent 138296 „Wasserführung – Zusatzpatent zum Patent 143543“ handelt es sich um eine weitere Ausbildung einer leitschaufelartigen Fläche. Ziel dieses Patents ist es die Kernwasserzone gegenüber der Randzone zu begünstigen und somit schneller abzutransportieren (SCHAUBERGER, 1934).

7 LITERATURVERZEICHNIS

AGRU, Kunststofftechnik GmbH (2008): Hydraulic calculation, Index of roughness of pipes; per E-Mail vom 15. 06. 2011.

AGRU, Kunststofftechnik GmbH (2011): Detailplan Rohr PE DN250. per E-Mail vom 06. 06. 2011.

BOLLRICH, G. (2007): Technische Hydrodynamik 1 - Grundlagen. 6. Auflage. Verlag für Bauwesen. Berlin.

ENDRESS+HAUSER, GmbH (2009): Technische Information, Proline Promag 50W, 53W; Ausgabe 11/2009

GRADER, R. (2004): Konstruktive Behandlung von Schraub- und Spiralfächen mit CAD-Software anhand ausgewählter Beispiele für den Schulunterricht. Diplomarbeit, Technische Universität Wien.

KERB-KONUS, Vertriebs GmbH (2011): Gewinde-Einsätze für Kunststoffe und Holz. Technische Druckschrift Nr. 30. S.11 <http://www.kerbkonus.de/> vom 12.12.2011

LOISKANDL, W., NOLZ,R. (2010): Studienunterlagen zur Vorlesung *Hydrodynamik* an der Universität für Bodenkultur Wien

SCHAUBERGER, V. (1933): Wasserführung in Rohren und Gerinnen, Patentschrift Nr. 143543, Österreichisches Patentamt, Ausgegeben am 25.08.1933.

SCHAUBERGER, V. (1934): Wasserführung – Zusatzpatent zum Patent 143543, Patentschrift Nr. 138296, Österreichisches Patentamt. Ausgegeben am 10.07.1934.

INTERNETQUELLEN:

RPD GmbH

<http://www.rpd.at/rapid-prototyping.php#sls> vom 12.12.2011

Wikipedia, Numerische Strömungsmechanik

http://de.wikipedia.org/wiki/Numerische_Str%C3%B6mungsmechanik vom 09.05.2012

VERWENDETE SOFTWARE:

- AutoCAD 2010
- CATIA V5 R18
- Catman 3.0
- Microsoft Word, Excel 2007
- Pro/ENGINEER

8 ANHANG

- Österreichisches Patent Nr. 134543
- Niederschrift der Versuche 5-8 und 11-14

Klasse 47 f.**Ausgegeben am 25. August 1933.**

ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT.
PATENTSCHRIFT N^{R.} 134543.

VIKTOR SCHAUBERGER IN WIEN.

Wasserführung in Rohren und Gerinnen.

Angemeldet am 12. August 1931. — Beginn der Patentdauer: 15. April 1933.

Gegenstand der Erfindung ist eine Wasserführung, die bezweckt, die Durchflußmenge des Wassers gegenüber glatten Wasserführungen, Gerinnen, Rohrleitungen u. dgl. zu vergrößern.

Nach der der Erfindung zugrunde liegenden Ansicht des Erfinders werden Turbulenzerscheinungen in den gebräuchlichen Wasserführungen zum Teil durch Temperaturunterschiede in den verschiedenen 5 Wasserschichten mitverursacht, hauptsächlich jedoch dadurch, daß die an den Wandungen entlang gleitenden Wassermassen wesentlich andere Geschwindigkeiten besitzen als diejenigen nahe der Mitte, wodurch an der Übergangsschicht Wälzvorgänge auftreten.

Um Sedimentationen zu verhindern, ist es bekannt, in die Wasserführung von der Wandung gegen die Mitte ragende, leitschaufelartig gekrümmte Flächen einzubauen, deren jede einzelne derart gekrümmt 10 ist, daß sie das Wasser von der Wandung gegen die Mitte der Wasserführung drängen. Es ist auch bekannt, die Innenwand von Rohren mit schraubenförmigen Erhöhungen zu versehen, um dem Wasser eine kreisende Bewegung zu erteilen.

Die Erfindung betrifft nun eine weitere Durchbildung dieser Maßnahmen zu dem eingangs angeführten Zwecke.

15 In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand in Ausführungsbeispielen dargestellt. Fig. 1 zeigt schaubildlich die Einsicht in das Rohr, Fig. 2 eine einzelne Leitschaufel mehr von oben und vorne entgegen der Strömungsrichtung und in Fig. 3 in der Rohrumfangsrichtung gesehen. Fig. 4 zeigt ein Gerinne gemäß der Erfindung. Die Fig. 5 veranschaulicht einen Querschnitt durch eine mit in der Richtung der Wasserströmung drallartig verlaufenden Nuten versehene Leitschaufel.

20 In die Rohrleitung 1 sind die leitschaufelartigen Flächengruppen 2, 2', 2'' eingebaut. Jede Gruppe der Flächen 2, 2' und 2'' liegt in dem Verlauf eines Dralles 3 bzw. 3' und 3'', wie er durch die punktierten Schraubenlinien angedeutet ist.

Die Leitflächen selbst sind im Sinne des Dralles pflugscharartig gekrümmt und steigen in der Strömungsrichtung so an, daß sie das Wasser gegen die Rohrmitte drängen und ihm eine Drehung um 25 die Rohrachse erteilen.

In den Fig. 2 und 3, die eine einzelne Leitfläche mehr von vorn und oben bzw. von der Seite gesehen darstellen, zeigt der strichlierte Pfeil die Strömungsrichtung im glatten Rohr, während der voll ausgezogene Pfeil 5 den durch die Leitfläche abgedrängten Verlauf der Stromfäden darstellt.

Analoge Leitflächen können auch in Gerinnen angebracht werden. In diesem Falle stehen die 30 einzelnen Leitflächen natürlich nicht im Drall, sondern gerade hintereinander und sind, wie Fig. 4 zeigt, zu beiden Seiten der lotrechten Mittelebene zueinander symmetrisch angeordnet.

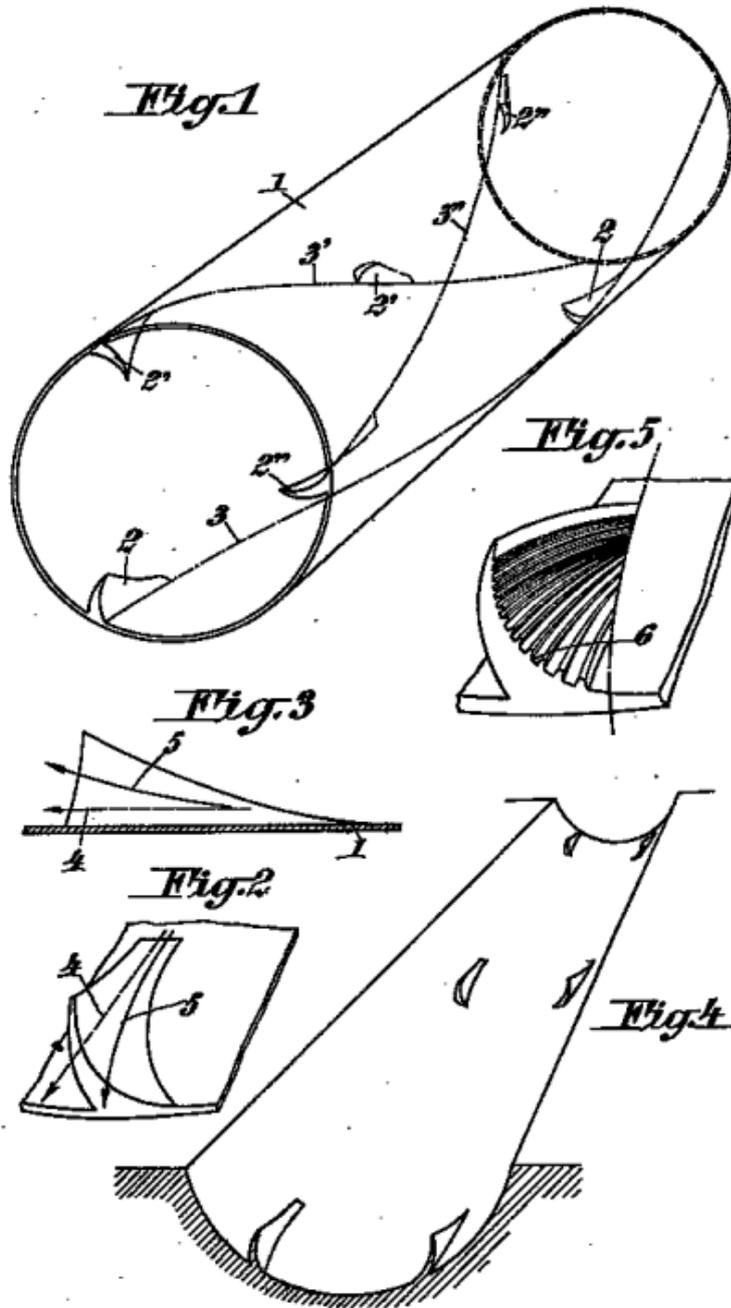
Die Schaufel nach Fig. 5 ist auf ihrer Leitfläche mit drallartigen Nuten 6 versehen, durch welche die Fortbewegung des Wassers im Zuge einer Drallbewegung auch in vertikaler Richtung unterstützt wird. Die mit derart ausgestalteten Schaufeln versehenen Rohre eignen sich besonders für die Beför- 35 derung von Gütern schwerer als Wasser, z. B. von Erzen u. dgl.

PATENT-ANSPRÜCHE:

1. Wasserführung in Rohren und Gerinnen mit eingebauten, von der Wand gegen die Mitte ragenden leitschaufelartigen Flächen, deren jede so gekrümmt ist, daß sie das Wasser von der Wand gegen die Mitte der Wasserführung drängt, dadurch gekennzeichnet, daß die leitschaufelartigen Flächen bei Rohren

im Zug eines mehrgängigen Dralles und bei Gerinnen symmetrisch zu beiden Seiten der lotrechten Mittelebene des Gerinnes hintereinander angeordnet sind.

2. Wasserführung in Rohren und Gerinnen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Wasser von der Wand gegen die Mitte zu ableitenden leitschaufelartigen Flächen mit in der Strömungsrichtung des Wassers drallartig verlaufenden Nuten versehen sind.



Versuchsdatensatz: ver05
 Versuchsgruppe: 1.1
 Rohrnummer: 1

Datum: 25.08.2011
 Beginn: 9:46
 Ende: 10:32

Tabelle 12: Niederschrift der Versuchsgruppe 1.1.1

Umdrehungen (Plattenschieber)	Uhrzeit	Durchfluss in l/s
0	9:46	0,0
3	9:47	3,9
4	9:48	9,3
5	9:49	16,2
6	9:50	23,3
7	9:51	30,5
8	9:53	37,0
9	9:53	43,9
10	9:54	51,4
11	9:55	58,8
12	9:57	66,0
13	9:59	74,0
14	10:00	81,5
15	10:02	89,0
16	10:03	96,5
17	10:04	104,0
18	10:06	110,0
19	10:07	118,0
20	10:13	124,0
21	10:14	130,0
22	10:15	136,0
23	10:17	141,8
24	10:19	147,0
26	10:20	155,3
28	10:22	163,0
30	10:23	169,0
32	10:25	175,0
35	10:27	181,0
Vollöffnung	-	-

Versuchsdatensatz: ver06
 Versuchsgruppe: 1.2
 Rohrnummer: 1

Datum: 25.08.2011
 Beginn: 10:45
 Ende: 11:30

Tabelle 13: Niederschrift der Versuchsgruppe 1.1.2

Umdrehungen (Plattenschieber)	Uhrzeit	Durchfluss in l/s
0	9:46	0,0
3	9:47	3,9
4	9:48	9,3
5	9:49	16,2
6	9:50	23,3
7	9:51	30,2
8	9:53	37,0
9	9:53	43,8
10	9:54	51,6
11	9:55	58,8
12	11:00	66,0
13	11:01	74,0
14	11:03	81,6
15	11:04	89,5
16	11:05	96,5
17	11:07	104,0
18	11:08	110,4
19	11:10	118,2
20	11:11	124,0
21	11:12	130,0
22	11:14	136,0
23	11:16	141,3
24	11:18	147,0
26	11:21	155,3
28	11:22	163,5
30	11:24	170,5
32	11:25	175,0
35	11:27	180,5
Vollöffnung	11:30	190,0

Versuchsdatensatz: ver07
 Versuchsgruppe: 0.1.1
 Rohrnummer: 0

Datum: 29.08.2011
 Beginn: 10:51
 Ende: 11:38

Tabelle 14: Niederschrift der Versuchsgruppe 0.1.1

Umdrehungen (Plattenschieber)	Uhrzeit	Durchfluss in l/s
0	10:50	0,0
3	10:53	3,9
4	10:54	9,3
5	10:55	16,4
6	10:56	23,8
7	10:59	30,3
8	11:00	37,0
9	11:01	44,0
10	11:02	51,3
11	11:03	58,9
12	11:04	66,2
13	11:06	74,0
14	11:07	82,0
15	11:09	89,4
16	11:11	96,5
17	11:13	104,0
18	11:14	110,5
19	11:19	117,0
20	11:20	124,0
21	11:21	131,0
22	11:23	136,6
23	11:24	142,0
24	11:27	147,0
26	11:28	156,0
28	11:29	164,0
30	11:31	171,0
32	11:33	176,0
35	11:34	181,0
Vollöffnung	11:36	193,0

Versuchsdatensatz: ver08
 Versuchsgruppe: 0.2.1
 Rohrnummer: 0

Datum: 29.08.2011
 Beginn: 11:39
 Ende: 12:15

Tabelle 15: Niederschrift der Versuchsgruppe 0.1.2

Umdrehungen (Plattenschieber)	Uhrzeit	Durchfluss in l/s
0	11:39	0,0
3	11:40	3,9
4	11:41	9,3
5	11:42	16,2
6	11:43	23,5
7	11:44	30,3
8	11:45	36,9
9	11:46	44,0
10	11:47	51,0
11	11:48	59,0
12	11:49	66,5
13	11:50	74,0
14	11:51	81,3
15	11:52	89,0
16	11:53	96,0
17	11:54	103,5
18	11:56	111,0
19	11:57	118,0
20	11:59	124,5
21	12:00	130,5
22	12:01	136,7
23	12:02	142,0
24	12:03	147,0
26	12:04	155,9
28	12:06	164,0
30	12:07	170,5
32	12:09	176,0
35	12:11	181,0
Vollöffnung	12:13	194,0

Versuchsdatensatz: ver11
 Versuchsgruppe: 0.1.2
 Rohrnummer: 0

Datum: 14.11.2011
 Beginn: 09:54
 Ende: 10:41

Tabelle 16: Niederschrift der Versuchsgruppe 0.2.1

Umdrehungen (Plattenschieber)	Uhrzeit	Durchfluss in l/s
0	9:54	0,0
3	9:56	3,8
4	9:57	9,5
5	9:59	16,2
6	10:00	23,3
7	10:01	30,5
8	10:02	37,0
9	10:03	44,0
10	10:04	51,4
11	10:06	59,1
12	10:07	66,4
13	10:08	74,2
14	10:10	81,0
15	10:11	89,0
16	10:12	97,0
17	10:14	103,9
18	10:15	112,0
19	10:18	119,0
20	10:19	125,0
21	10:20	131,0
22	10:22	137,5
23	10:23	143,0
24	10:25	147,0
26	10:27	157,0
28	10:29	165,0
30	10:31	172,0
32	10:33	177,0
35	10:34	183,0
Vollöffnung	10:36	196,0

Versuchsdatensatz: ver12
 Versuchsgruppe: 0.2.2
 Rohrnummer: 0

Datum: 14.11.2011
 Beginn: 11:10
 Ende: 11:46

Durchfluss 66,2l/s zwei Störungen

Tabelle 17: Niederschrift der Versuchsgruppe 0.2.2

Umdrehungen (Plattenschieber)	Uhrzeit	Durchfluss in l/s
0	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
6	-	-
7	11:10	30,8
8	11:12	37,0
9	11:14	43,0
10	11:15	51,0
11	11:16	59,0
12	11:17	66,2
13	11:19	74,0
14	11:20	81,0
15	11:22	89,0
16	11:24	97,0
17	11:25	103,8
18	11:26	111,0
19	11:28	118,0
20	11:29	125,0
21	11:30	131,0
22	11:31	137,0
23	11:33	143,0
24	11:35	149,0
26	11:36	157,0
28	11:38	165,0
30	11:39	172,0
32	11:41	177,0
35	11:43	183,0
Vollöffnung	11:46	195,0

Versuchsdatensatz: ver13
 Versuchsgruppe: 2.1
 Rohrnummer: 1

Datum: 14.11.2011
 Beginn: 14:48
 Ende: 15:37

Tabelle 18: Niederschrift der Versuchsgruppe 1.2.1

Umdrehungen (Plattenschieber)	Uhrzeit	Durchfluss in l/s
0	14:48	0,0
3	14:50	3,8
4	14:51	9,5
5	14:53	16,2
6	14:55	23,5
7	14:56	30,3
8	14:57	37,0
9	14:58	43,0
10	14:59	51,6
11	15:01	59,0
12	15:03	66,0
13	15:05	74,0
14	15:07	81,0
15	15:08	88,5
16	15:10	97,0
17	15:11	104,0
18	15:13	110,0
19	15:15	118,0
20	15:17	125,0
21	15:19	131,0
22	15:21	137,0
23	15:23	143,0
24	15:24	147,5
26	15:26	157,0
28	15:28	164,0
30	15:29	170,0
32	15:32	175,0
35	15:35	181,0
Vollöffnung	15:37	194,0

Versuchsdatensatz: ver14
 Versuchsgruppe: 2.2
 Rohrnummer: 1

Datum: 14.11.2011
 Beginn: 15:53
 Ende: 16:42

Tabelle 19: Niederschrift der Versuchsgruppe 1.2.2

Umdrehungen (Plattenschieber)	Uhrzeit	Durchfluss in l/s
0	15:53	0
3	15:55	3,8
4	15:58	9,3
5	15:59	16,2
6	16:00	23,5
7	16:01	30,0
8	16:03	37,0
9	16:04	43,0
10	16:05	51,0
11	16:07	54,0
12	16:08	66,3
13	16:10	73,8
14	16:11	81,0
15	16:12	84,0
16	16:15	97,0
17	16:18	104,0
18	16:19	111,0
19	16:20	118,0
20	16:22	125,0
21	16:23	131,0
22	16:25	137,5
23	16:26	143,0
24	16:27	148,0
26	16:29	157,0
28	16:31	165,0
30	16:33	171,0
32	16:36	176,5
35	16:38	183,0
Vollöffnung	16:42	194,0