

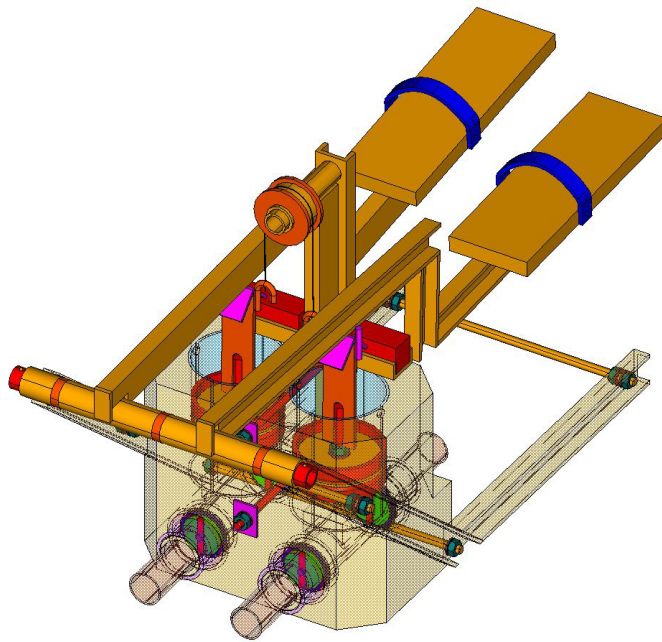


Berner Fachhochschule

Diplomarbeit 2005

Abteilung Maschinenbau

# Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“



Ducret Maurice  
&  
Hofer Patrick

Ort, Datum: Bern, 22.12.2004

Dozent: Prof. Karol Malach

**Diplomarbeit 2005****Inhaltsverzeichnis**

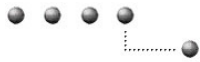
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>6</b>
1.1	Die Idee für diese Aufgabe .....	6
1.2	SE3WE/TAT .....	6
1.3	Dankung .....	7
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>8</b>
2.1	Ausgangslage .....	8
2.2	Aufgabe .....	8
2.3	Teilaufgaben .....	8
2.4	Abgrenzung der Aufgabe .....	8
<b>3</b>	<b>Pedalpumpe</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Kenndatenermittlung der S/D Pumpe „Luzerna“</b> .....	<b>12</b>
4.1	Vorbereitungen .....	12
4.2	Pumpenbediener .....	13
4.3	Reibungsverlust .....	13
4.4	Maximale Durchflussrate .....	15
4.5	Mögliche Gesamthöhen und Volumenströme .....	16
4.6	Mechanischer Wirkungsgrad .....	19
4.7	Maximale Saughöhe .....	20
<b>5</b>	<b>Konkurrenzpumpen Vergleich</b> .....	<b>22</b>
5.1	Saug/Druck Wasserpumpen anderer Hersteller .....	22
5.2	Kenndatenvergleich .....	25
5.3	Maximale Durchflussrate .....	26
5.4	Maximale Saughöhe .....	27
5.5	Mechanischer Wirkungsgrad .....	27
5.6	Erkenntnisse .....	28
<b>6</b>	<b>Pumpenteile Optimierung</b> .....	<b>29</b>
6.1	Betonsockel (M. Du) .....	29
6.2	Rahmengeometrie (M. Du) .....	30
6.3	Pedale (M. Du) .....	31
6.4	Rollenaufnahme (M. Du) .....	32
6.5	Kolbendichtung (P. Ho) .....	33
6.6	Ventile (P. Ho) .....	33
6.7	Waage/Rolle (P. Ho) .....	34
<b>7</b>	<b>Profil Verwendbarkeit</b> .....	<b>35</b>
7.1	Aktuelle Situation .....	35
7.2	Vorhandene Profile .....	35
7.3	Vorhandene Widerstandsmomente .....	36
<b>8</b>	<b>Ergonomische Pumpengestaltung (M. Du)</b> .....	<b>39</b>
8.1	Pedalgestaltung .....	39
8.2	Haltemöglichkeit .....	41
8.3	Sitzmöglichkeit .....	42
<b>9</b>	<b>Zeichnungserstellung</b> .....	<b>44</b>
<b>10</b>	<b>Alternative Kraftquellen (P. Ho)</b> .....	<b>45</b>
10.1	Solarantrieb .....	45
10.2	Windenergie .....	46
10.3	Antrieb durch Tiere .....	46

**Anhang** siehe beigelegtes Dokument

**CAD-Zeichnungen** siehe beigelegtes Dokument

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1 PP8000 "Luzerna" .....	9
Abb. 3-2 Prinzip Saugpumpe [6, S.11] .....	10
Abb. 3-3 Prinzip Saug/Druck Pumpe .....	11
Abb. 4-1 Schema Reibungsverlust .....	13
Abb. 4-2 Testaufbau Reibungsverlust .....	13
Abb. 4-3 Armaturen Reibungsverlust.....	14
Abb. 4-4 Diagramm Reibungsverlust.....	14
Abb. 4-5 Schema Maximale Durchflussrate .....	15
Abb. 4-6 Testaufbau Maximaler Durchfluss.....	15
Abb. 4-7 Schema Gesamthöhen und Volumenströme .....	16
Abb. 4-8 Testaufbau Gesamthöhen und Volumenströme .....	17
Abb. 4-9 Diagramm Q in Abhängigkeit von P <sub>in</sub> und H.....	18
Abb. 4-10 Gemittelte Kenndaten .....	18
Abb. 4-11 Schema keine Anschl. 0m.....	19
Abb. 4-12 Schema 0m .....	19
Abb. 4-13 Schema 4m .....	20
Abb. 4-14 Schema Saughöhe Manometer .....	20
Abb. 4-15 Schema Saughöhe Schlauch.....	20
Abb. 4-16 Testaufbau Maximale Saughöhe .....	21
Abb. 5-1 Compact Suction Pressure Pump .....	22
Abb. 5-2 Suction Pressure Pump .....	23
Abb. 5-3 Shoroma Pump .....	23
Abb. 5-4 Super MoneyMaker.....	24
Abb. 5-5 Platform Pump .....	24
Abb. 5-6 Swazi Pump .....	25
Abb. 5-7 Maximale Durchflussrate.....	26
Abb. 5-8 Mechanischer Wirkungsgrad.....	27
Abb. 5-9 Druckverlauf .....	28
Abb. 6-1 Betonsockel.....	29
Abb. 6-2 Gussform.....	30
Abb. 6-3 Rahmengeometrie.....	31
Abb. 6-4 Pedale .....	31
Abb. 6-5 Fusspedal.....	32
Abb. 6-6 Rollenaufnahme .....	32
Abb. 6-7 Kolbendichtung .....	33
Abb. 6-8 Ventil .....	33
Abb. 6-9 Rolle .....	34
Abb. 7-1 Materiallager .....	35
Abb. 8-1 Pedalübersetzung .....	40
Abb. 8-2 Fusswinkel .....	40
Abb. 8-3 Haltung.....	41
Abb. 8-4 Optimierter Haltegriff.....	42
Abb. 8-5 Sitzmöglichkeit .....	43
Abb. 10-1 Lösungsvariante.....	45
Abb. 10-2 Antriebswelle.....	45
Abb. 10-3 Savonius-Rotor .....	46
Abb. 10-4 Antrieb durch Tiere.....	46



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1 Pumpenbediener .....	13
Tabelle 4-2 Messung Reibungsverlust .....	14
Tabelle 4-3 Messung Maximale Durchflussrate.....	16
Tabelle 4-4 Messung Mögliche Gesamthöhen und Volumenströme .....	17
Tabelle 4-5 Messung Mechanische Effizienz .....	20
Tabelle 4-6 Messung Maximale Saughöhe .....	21
Tabelle 5-1 Konkurrenzpumpen .....	22
Tabelle 5-2 Kenndatenvergleich .....	25
Tabelle 5-3 Vergleich Maximale Durchflussrate .....	26
Tabelle 5-4 Vergleich Maximale Saughöhe .....	27
Tabelle 5-5 Vergleich Mechanischer Wirkungsgrad .....	27
Tabelle 7-1 Profiltabelle .....	36
Tabelle 8-1 Abhängigkeit KolbenØ , $\Delta H$ .....	40
Tabelle 10-1 Tierdaten.....	47



## **Literaturverzeichnis**

[1] Organisation SE3WE/TAT: Homepage

<http://www.se3we.ch>

[2] Looser, Juerg und Jack Schoch: Treadle Pump for BRD- Engineering Wadeville, Johannesburg South Africa, Februar 2001

[3] F. Chancellor und D. O'Neill: The role of treadle pumps in changing the working and economic environment of women irrigators

[4] Dr. T.H. Thomas: Working Paper No.39, October 1993

[5] Vakant: Working Paper No.34, The Treadle Pump, 1991

[6] Tom Brabben: Treadle pumps for irrigation in Africa, iptrid, October 2000

[7] Karl Kroemer: Ergonomics, Prentice Hall, ISBN: 0-13-278359-2

[8] Peter Fraenkel: Water Pumping Devices, ISBN: 1-85339-346-0

[9] Carl Bielenberg and Hugh Allen: How to make and use the treadle irrigation pump, ISBN 1-85339-312-6

# 1 Einleitung

## 1.1 Die Idee für diese Aufgabe

Die Aufgabenstellung für die Diplomarbeit erhielten wir von der HTI-Bern. Die Idee für diese Arbeit, Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“, stammt jedoch von der SE3WE/TAT.

## 1.2 SE3WE/TAT

Die SE3WE (Senior Experts for the Third World) und die TAT (Team für angewandte Technologien) bilden eine ehrenamtliche Non-Profit-Organisation aktiver Senioren. Sie stellen ihr berufliches Wissen und Erfahrung in den Dienst der Menschen in der Dritten Welt.

Während mehreren Jahren hat die SE3WE/TAT eine Klein-Bewässerungspumpe (Saugpumpe „Berna“) weiterentwickelt. Heute sind diese Pumpen in Zusammenarbeit mit Hilfswerken bereits in verschiedenen Ländern Asiens, Afrikas und Südamerikas eingeführt.

Das Konzept besteht darin, aus den vorhandenen Materialien in den entsprechenden Ländern Klein-Bewässerungspumpen durch lokale Handwerker fertigen zu können. Die Konstruktionszeichnungen und eine Musterpumpe werden von der SE3WE/TAT mitgeliefert. Bei der Beratung und Instruktion sind Senioren der SE3WE/TAT vor Ort dabei.

Die Saugpumpe „Berna“ eignet sich bis Saughöhen von 8m bei einer Förderleistung bis 80 l/min., je nach Leistungsfähigkeit der pumpenden Person.

Es besteht eine Nachfrage nach einer Saug/Druck Wasserpumpe. Mit dieser Variante könnte z.B. die „Tröpfli-Bewässerung“ effizienter bewerkstelligt werden.

Die Nachfrage blieb der SE3WE/TAT nicht unerhört und es wurde mit der Entwicklung einer Saug-/Druck-Pumpe begonnen. Als Basis für die Entwicklung diente die bisher verwendete Saugpumpe. Der Prototyp der Saug-/Druck Wasserpumpe „Luzerna“ wurde im September 2004 fertiggestellt und wartet auf seine Ersterprobung.

Das Angebot ist gross und es ist ein Anliegen der SE3WE/TAT, dass ihre Saug/Druck Wasserpumpe sich behaupten kann.

Die Entwicklung der Saugpumpe von SE3WE/TAT basiert auf Erfahrungen der verschiedenen Mitgliedern und empirischen Annahmen. Dies geschah auch bei der Entwicklung des Prototypen der Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“.



## Diplomarbeit 2005

---

### 1.3 Dankung

An dieser Stelle möchten wir uns bei folgenden Personen für die Unterstützung bei dieser Diplomarbeit bedanken:

Herr Prof. Karol Malach, welcher uns bei unserer Diplomarbeit unterstützte und jederzeit nützliche Tips für uns bereithielt.

Den Mitgliedern der SE3WE/TAT, die uns Erfahrungen und nützliche Informationen für die Diplomarbeit mitgaben.

Herr Werner Weber, Leiter von der Saug/Druck Gruppe SE3WE, der die Fertigstellung und Verfügung des ersten „Luzerna“ Prototypen ermöglichte.

Herr Bruno Niklaus von der HTI Bern, der für uns Teile zur Aufnahme der Messgeräte herstellte.

Herr Paillard von der Firma Kistler, welcher uns Kraftmessgeräte zur Verfügung stellte.

Herr Roland Bubendorff, CAD Administrator von der Roche Disetronic, der uns bei CAD Problemen zur Verfügung stand.

## **2 Aufgabenstellung**

### **2.1 Ausgangslage**

Zwei schweizerische ehrenamtliche Not-Profit-Organisationen (SE3WE – Senior Experts for the Third World und TAT – Team für angewandte Technologien) stellen ihr berufliches Wissen und Erfahrung in den Dienst der Menschen in der Dritten Welt. Sie entwickeln kleine, durch Muskelkraft betriebene Bewässerungspumpen, die aus den vorhandenen Werkstoffen durch lokale Handwerker gefertigt werden können. Für Beratung und Instruktion sind die Senioren der SE3WE und TAT vor Ort dabei. Das letzte Produkt ist eine Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“, deren Prototyp bereits fertiggestellt wurde. Die Entwicklung der Pumpe basierte auf Erfahrung und empirischen Annahmen.

### **2.2 Aufgabe**

Die Saug/Druck Wasserpumpe soll bezüglich ihrer Geometrie, Gewicht, Wirkungsgrad und Bedienbarkeit optimiert werden. Die Konstruktionsteile der Pumpe sollen detailliert berechnet und Konstruktionszeichnungen erstellt werden.

### **2.3 Teilaufgaben**

- Kenndaten des Prototyps ermitteln (Saug- und Förderhöhe, Förderleistung in Abhängigkeit von verschiedenen Pumpenbedienern, bzw. ihrer körperlichen Verfassung). Vergleich der gemessenen Werte mit ähnlichen Konkurrenzpumpen.
- Einzelne Pumpenteile (Zylinder, Kolben, Ventile, Antrieb) zwecks kleinerem Arbeitsaufwand, Teilereduktion und Kostenaufwand optimieren.
- Verwendete Profile (Rohr, U, L, Vierkant, etc.) in Bezug auf Sicherheit, Festigkeit und Masse optimieren. Eine Tabelle von bisher vor Ort verwendeten und erhältlichen Profilen und minimalen Profilgrössen erstellen.
- Ergonomische Pumpengestaltung (Sitzmöglichkeit, Haltegriffe, Körperposition, Anordnung und Gestaltung der Pedale, etc.) und ihre Auswirkung auf den Anwender analysieren.
- Andere Kraftquellen als Pumpenantrieb (durch domestizierte Tiere, Windrad o.ä.) untersuchen und deren Auswirkung auf die Gestaltung des Antriebes vorschlagen.

### **2.4 Abgrenzung der Aufgabe**

In dieser Diplomarbeit werden die Kenndaten der Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“ erfasst. Es werden keine Änderungen am bestehenden Prototypen vorgenommen, sondern mögliche Optimierungen aufgezeigt und ausgearbeitet. Die Ausarbeitung reicht bis zur Erstellung der Konstruktionszeichnungen für einen Nachfolge Pumpen Prototypen. Die Erbauung des Nachfolge Pumpen Prototypen ist nicht Bestandteil dieser Diplomarbeit.



### 3 Pedalpumpe

Bei der Pedalpumpe handelt es sich um eine kleine fussbetriebene Pumpe, die es armen Bauern ermöglicht, ihre Felder zu bewässern und in der Trockenzeit eine zusätzliche Ernte einzufahren.

Eine Pedalpumpe kostet weniger als 70\$, kann im Schnitt 0,25 ha bewässern und bringt schon nach 3 Monaten ein Zusatzeinkommen von 100\$.

Noch erstaunlicher ist die Tatsache, dass andere Kleinbauern sogar über 500\$ erwirtschaften. Dies entspricht mehr als einem Dollar pro Tag, genug um eine Familie nachhaltig über die Armutsgrenze zu bringen. Die Pedalpumpe hat einen massiven Beitrag zur Armutsbekämpfung geleistet.

Eine Pedalpumpe besteht aus einer Kolben- / Zylindereinheit, Ventilen, Umlenkrolle zur Pedalrückführung und den Pedalen. Die Zylindereinheit (Zylinder, Ventileinbau) wird bei den meisten Pedalpumpen aus Metall gefertigt, andere Pumpenhersteller benutzen Beton als Zylindereinheit, die Ventile und die PVC-Zylinder werden in der Gussform eingelassen. Die Pedale bestehen aus Holz oder Metallprofilen.

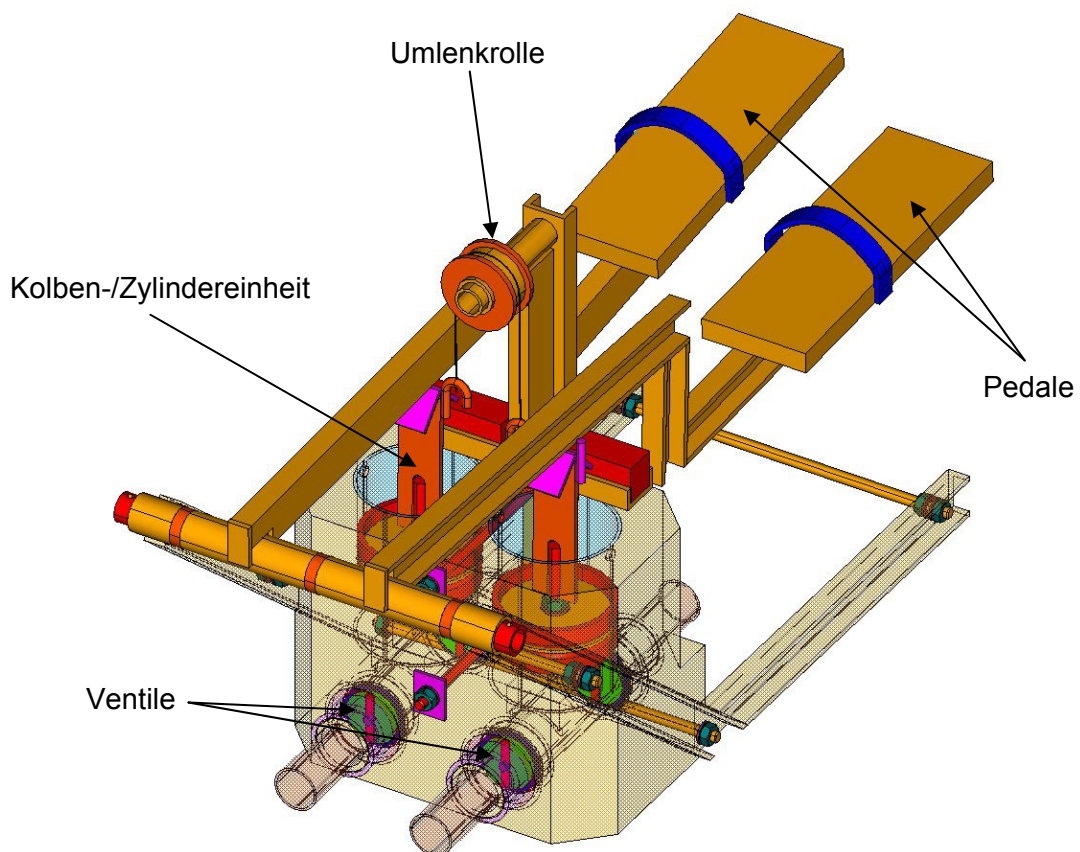


Abb. 3-1 PP8000 "Luzerna"



**Diplomarbeit 2005**

Abb. 3-3 veranschaulicht die Funktionsweise einer Saug/Druck Pumpe. Beim Heben des Kolbens öffnet sich das Einlassventil, das Auslassventil bleibt geschlossen. Wasser kann in den Zylinderraum eintreten. Beim Runterdrücken des Kolbens schliesst sich das Einlassventil und das Auslassventil öffnet sich. Das Auslassventil verhindert, dass Wasser vom Steigrohr wieder in die Pumpe zurückfliessen kann. Durch die vorhandene Wassersäule im Steigrohr bleibt das Auslassventil geschlossen.

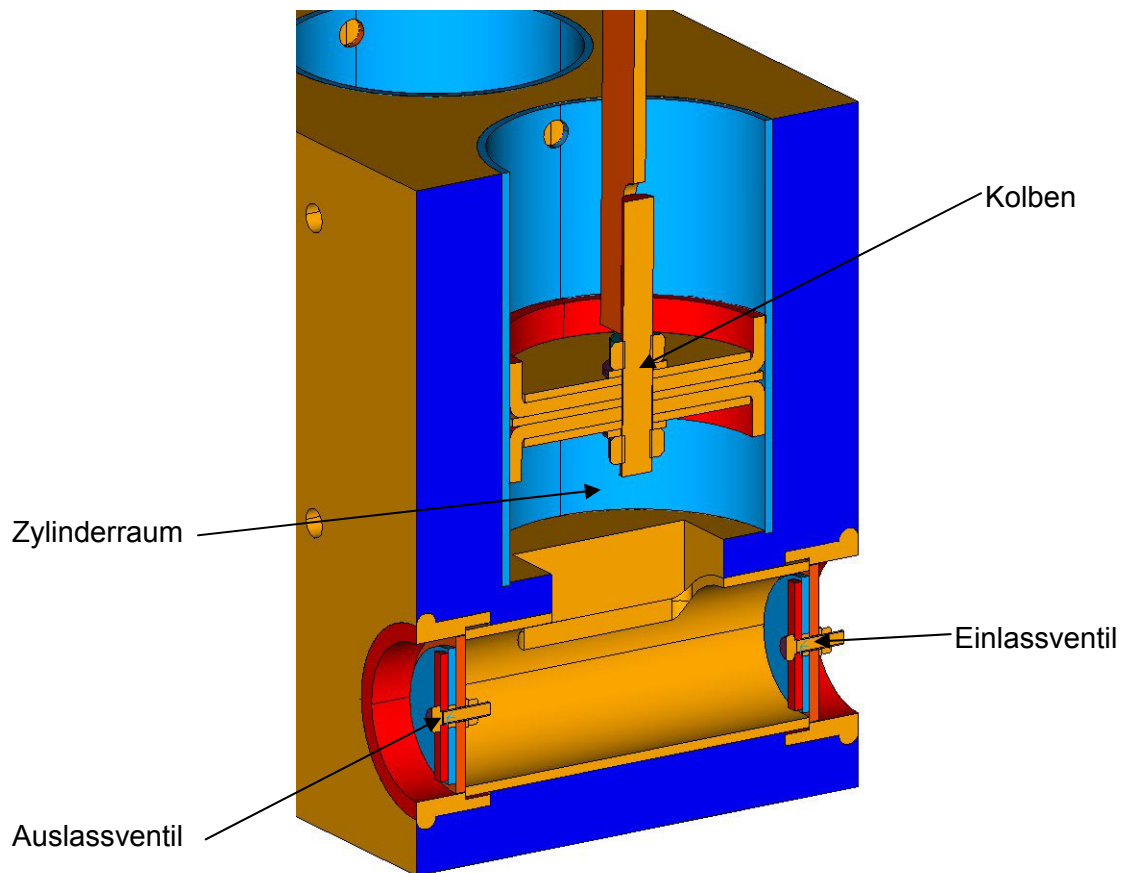


Abb. 3-3 Prinzip Saug/Druck Pumpe

## **4 Kenndatenermittlung der S/D Pumpe „Luzerna“**

Die Kenndatenerfassung des Prototypen der Saug/Druck Wasserpumpe dient zur Ist-Stand Erfassung. Die gemessenen Werte werden mit bestehenden Saug/Druck Wasserpumpen anderer Hersteller verglichen und sollen später als Vergleich für den zweiten Prototypen der Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“ dienen.

Mit der Pumpe werden folgende Tests durchgeführt:

- Reibungsverlust
- Maximale Durchflussrate
- Mögliche Druckhöhen und Volumenströme
- Mechanische Effizienz
- Maximale Saughöhe

Diese oben stehenden Testverfahren richten sich nach durchgeführten Tests aus anderen Berichten [2], [3]. Durch dieses Vorgehen sind die Ergebnisse aus den verschiedenen Tests einfacher zu vergleichen.

Sämtliche Pumpentests fanden im Maschinenlabor Burgdorf statt, welches auf einer Höhe von 555m AMSL<sup>1</sup> liegt. Das verwendete Wasser wies eine Temperatur von 16°C auf.

Die Messdaten der durchgeführten Tests befinden sich im Anhang dieses Berichtes.

### **4.1 Vorbereitungen**

Durch das sehr grosse Engagement der SE3WE/TAT Gruppe wurde der Prototyp der Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“ rechtzeitig, ende September 04, in Emmen fertiggestellt. Die Pumpe wurde anschliessend nach Bern transportiert, wo sie bezüglich der Dichtigkeit der Anschlüsse getestet wurde.

Rohre, Schläuche, Leitern und andere Utensilien wurden beschafft und für die Pumpentests vorbereitet.

Die benötigten Messgeräte, Logger, Drucksensoren und Waage wurden von Herr Bruno Niklaus zur Verfügung gestellt. Die Kraftsensoren für die Messung der eingebrachten Kraft an den Pedalen wurde von der Firma Kistler zur Verfügung gestellt.

Die verwendeten Messgeräte befinden sich im Anhang dieses Berichtes.

---

<sup>1</sup> AMSL = Above Main Sea Level

## 4.2 Pumpenbediener

Die Messungen wurden mit fünf Pumpenbedienern durchgeführt. Genauere Angaben über die Pumpenbediener sind in der Tabelle 4-1 ersichtlich. Die Pumpenbediener wurden anhand ihrer körperlichen Fitness, Gewicht und Alter ausgewählt.

Name	Patrick H.	Maurice D.	Tan T.	Reto M.	Daniela B.
Geschlecht	m	m	m	m	w
Alter	26	28	29	29	27
Gewicht [kg]	75	75	68	85	58
Grösse [m]	1.75	1.72	1.76	1.82	1.68
Ruhepuls	71	90	77	77	62

Tabelle 4-1 Pumpenbediener

## 4.3 Reibungsverlust

Für diese Messung wird an der Saugseite ein Manometer und ein Wasserschlauch für die Wasserzuführung angeschlossen. Die Druckseite bleibt frei. Die Drossel wird auf einen bestimmten Druckpegel geöffnet und es wird gemessen, wieviel Volumen Wasser aus der Druckseite der Pumpe in einer Minute hinaustritt.

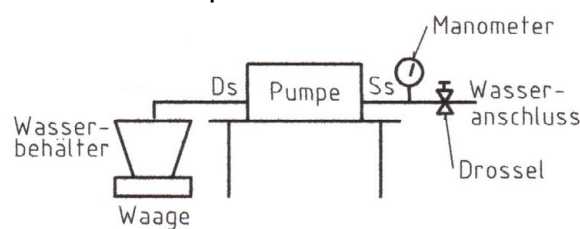


Abb. 4-1 Schema Reibungsverlust

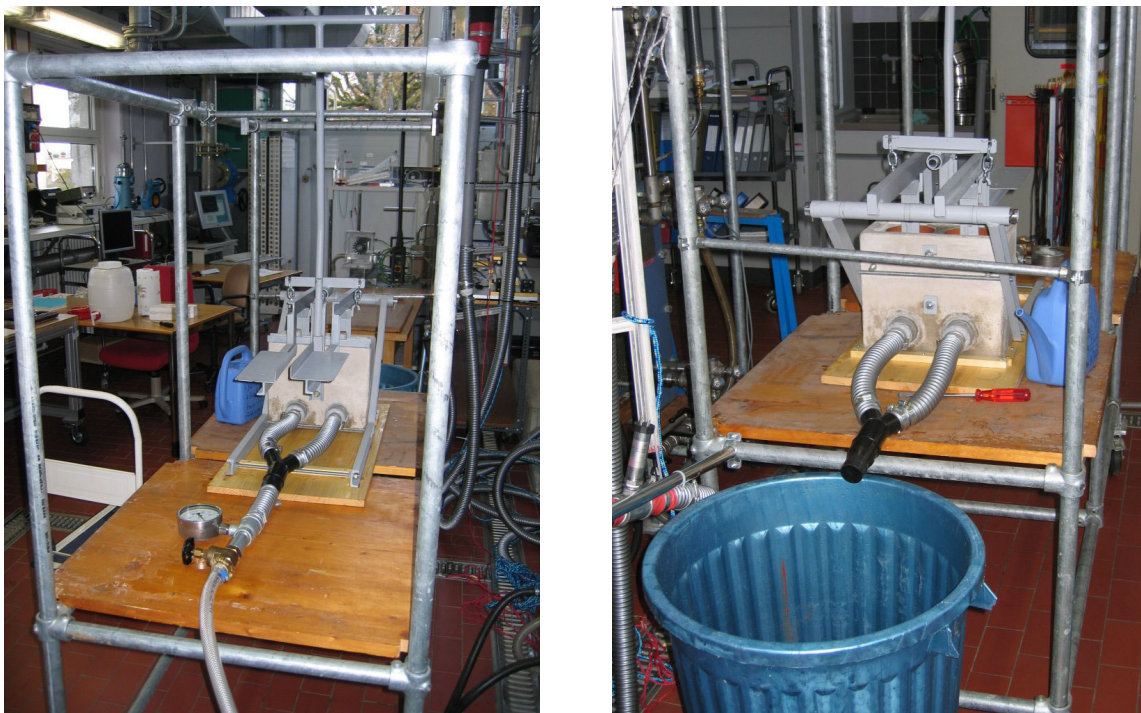


Abb. 4-2 Testaufbau Reibungsverlust

**Diplomarbeit 2005**

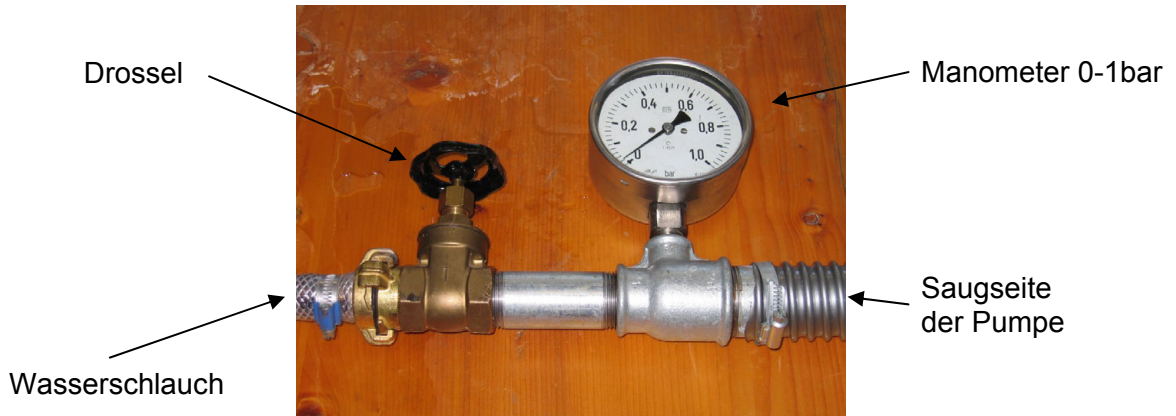


Abb. 4-3 Armaturen Reibungsverlust

Durchfluss [m <sup>3</sup> /h]	Druck [kPa]
0.282	2
0.72	4
1.638	6
2.106	8
2.712	10

Tabelle 4-2 Messung Reibungsverlust

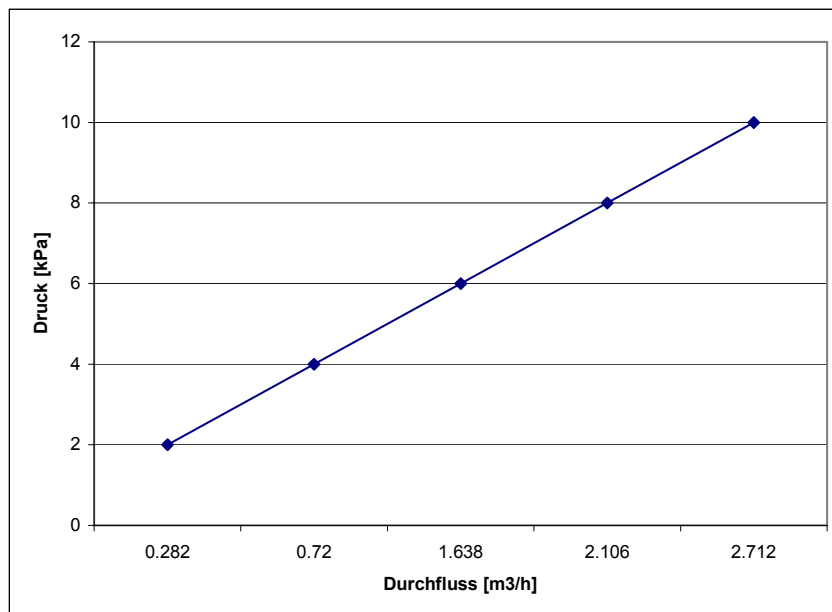


Abb. 4-4 Diagramm Reibungsverlust

Wie die gemessenen Werte in der Tabelle 4-2 zeigen, nimmt mit der Druckzunahme auch der Durchfluss zu. In Abb. 4-4 wird deutlich, dass sich der Reibungsverlust bei der Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“ linear verhält.

**Diplomarbeit 2005**

Das Wasser trat bis 4 kPa nur auf der Druckseite der Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“ hinaus, ab 6 kPa trat zusätzlich Wasser auf der Kolbenoberseite aus.

**4.4 Maximale Durchflussrate**

Es wird eine Saughöhe von 1.5m eingestellt, die Druckseite bleibt frei. Der Pumpenbediener tritt während 40 Sekunden in die Pedale. Es wird das geförderte Volumen, die Pedalkraft, der Puls und die Hubzahl erfasst.

Zur Bestimmung der maximalen Durchflussrate wird das Volumen durch die 40 Sekunden Tretzeit dividiert. Die Testpersonen führten diesen Test dreimal aus, daraus wurde die mittlere maximale Durchflussrate pro Testperson ermittelt. Es gab keine Hubzahlbegrenzung, jeder Pumpenbediener durfte so schnell treten wie er konnte.

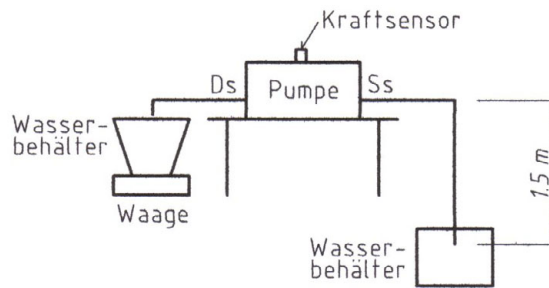


Abb. 4-5 Schema Maximale Durchflussrate



Abb. 4-6 Testaufbau Maximaler Durchfluss

## Diplomarbeit 2005

	Patrick H.			Maurice D.			Tan T.			Reto M.		
<b>Messung</b>	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Zeit [s]</b>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<b>Hübe</b>	90	90	100	87	89	96	60	81	89	89	142	94
<b>Kadenz [H/min]</b>	135	135	150	131	134	144	90	122	134	134	213	141
<b>Volumen [l]</b>	58	70	89	81	81	89	56	73	81	53	43	55
<b>Durchfluss [l/s]</b>	1.44	1.76	2.22	2.03	2.02	2.22	1.40	1.81	2.03	1.31	1.08	1.37
<b>m. Durchfl. [l/s]</b>	<b>1.80</b>			<b>2.09</b>			<b>1.75</b>			<b>1.25</b>		
<b>Pedalkraft [N]</b>	432	456	479	438	454	483	412	424	458	519	400	427
<b>Puls</b>	148	148	168	164	170	173	145	167	169	165	173	170

Tabelle 4-3 Messung Maximale Durchflussrate

In der Tabelle 4-3 ist ersichtlich, dass alle mittleren Durchflussraten nahe beieinander liegen, ausser die von Pumpenbediener Reto M. Diese Abweichung ist auf die teilweise sehr hohe Hubzahl und die unkontinuierliche Pedaltretung zurückzuführen.

### 4.5 Mögliche Gesamthöhen und Volumenströme

Die Gesamthöhen ( $\Delta H$ ) werden bei diesem Test meterweise erhöht. Die zu messenden Gesamthöhen reichen von 3m bis 9m. Während jeder Druckhöhe tritt der Pumpenbediener 1 Minute lang in die Pedale, dabei werden folgende Parameter aufgenommen:

- Kolbenhübe
- Pedalkraft gemittelt
- Puls
- Gefördertes Volumen

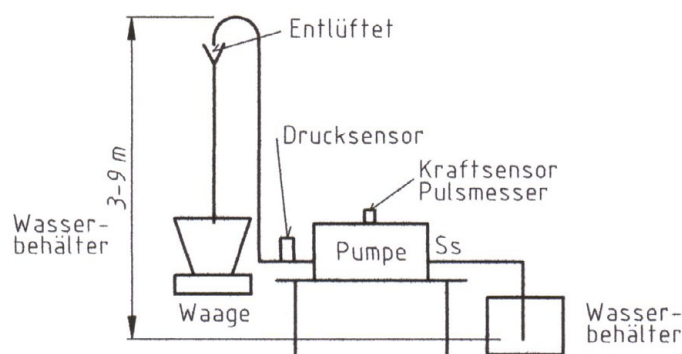


Abb. 4-7 Schema Gesamthöhen und Volumenströme

Damit die Messwerte nicht verfälscht wurden, musste die Steigleitung nach dem Scheitelpunkt entlüftet werden (siehe Abb. 4-7). Für die Bestimmung des Volumens wurde eine Waage verwendet. Für die Messung der Pedalkraft wurden Kraftsensoren, welche in Serie geschaltet waren, und ein Datenlogger zur Datenaufzeichnung verwendet.



**Diplomarbeit 2005**



Abb. 4-8 Testaufbau Gesamthöhen und Volumenströme

$\Delta H$ [m]	Hübe	Pedal Kraft [N]	Puls	Q [l/min]	Q [l/s]	P <sub>in</sub> [W]	Q [l/min] (40)	Q [l/s] (40)	P <sub>in</sub> [W] (40)	$\eta$ Pumpe [%]
3	57	419	124	45	0.75	80	31.4	0.52	56	28%
4	58.6	451	126	44	0.74	88	30.3	0.51	60	33%
5	60.4	481	131	45	0.74	97	29.6	0.49	64	38%
6	59.8	528	137	46	0.76	105	30.5	0.51	70	42%
7	57.6	550	135	44	0.73	106	30.3	0.51	73	47%
8	59.4	578	140	45	0.74	114	30.0	0.50	77	51%
9	56.8	617	143	42	0.71	117	29.9	0.50	82	53%

Tabelle 4-4 Messung Mögliche Gesamthöhen und Volumenströme

Die Tabelle 4-4 zeigt die gemittelten Messwerte aller Pumpenbediener, die Volumenströme, die zu erbringende Leistung und den Pumpenwirkungsgrad. Der Klammerwert 40 bedeutet, der Volumenstrom und die zu erbringende Leistung berechnet auf 40 Hübe.

## Diplomarbeit 2005

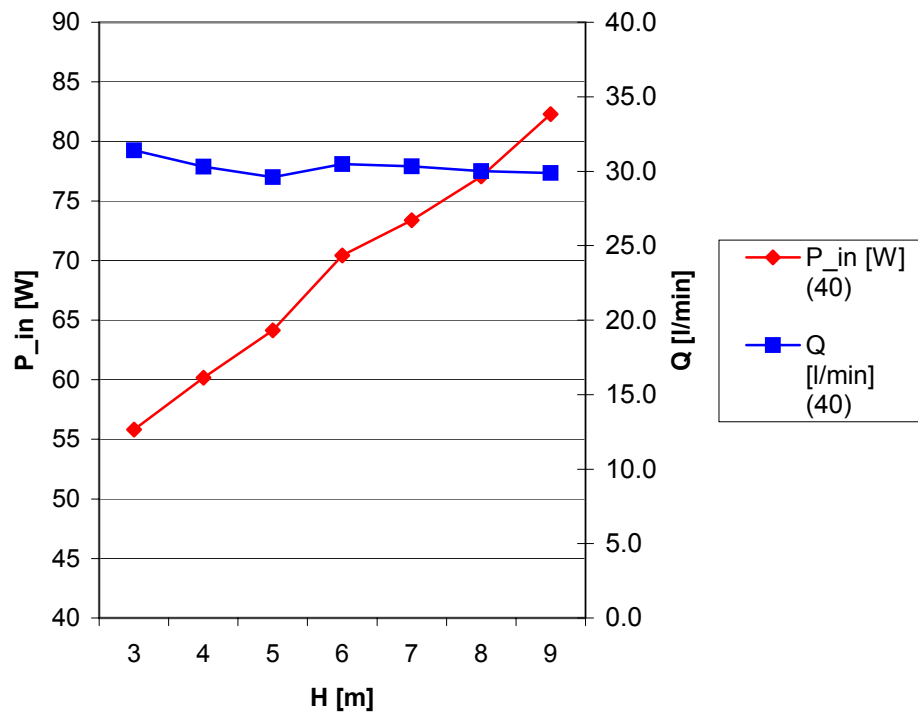


Abb. 4-9 Diagramm Q in Abhängigkeit von P\_in und H

Abb. 4-9 veranschaulicht den Volumenstrom in Abhängigkeit von der eingebrachten Leistung und der Gesamthöhe. Die Daten stammen von allen Pumpenbedienern und sind gemittelt.

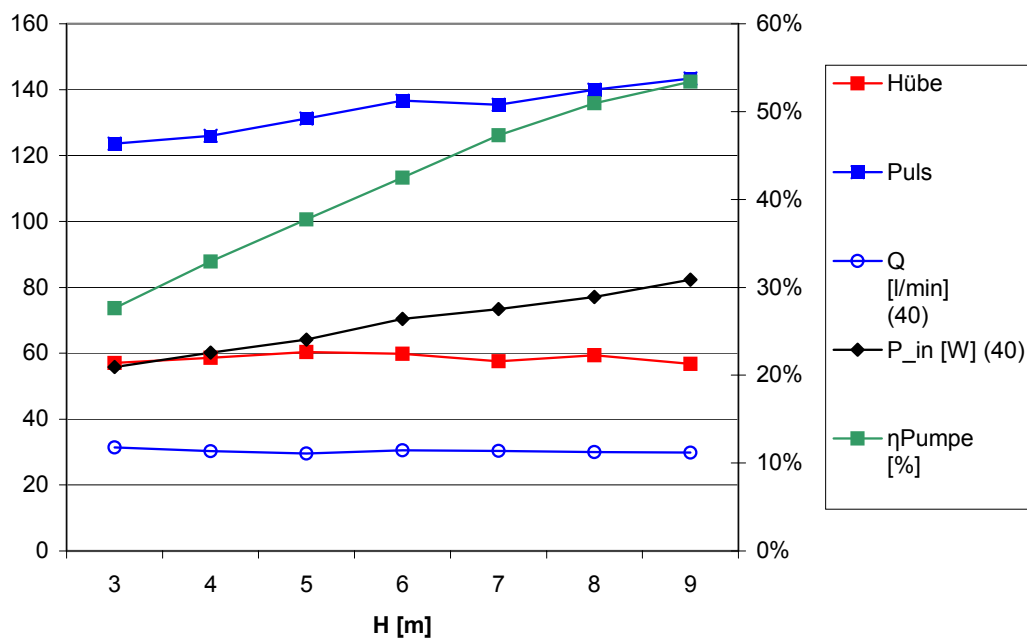


Abb. 4-10 Gemittelte Kenndaten

## Diplomarbeit 2005

Abb. 4-10 zeigt die verschiedenen Abhängigkeiten zwischen Gesamthöhe, Hüben, Puls, Volumenstrom, eingebrachter Leistung und Pumpenwirkungsgrad. Die Daten stammen von allen Pumpenbedienern und sind gemittelt. Die Hübe bleiben bei den verschiedenen Gesamthöhen konstant, dies liegt an der Vorgabe, zwischen 50 und 60 Hüben während einer Minute zu treten. Der Puls nimmt mit Zunahme der Gesamthöhe zu. Der Volumenstrom bleibt bei den verschiedenen Gesamthöhen konstant, die eingebrachte Leistung erhöht sich dabei. Die eingebrachte Leistung errechnet sich folgendermassen:

$$P_{in} := \frac{(F \cdot w \cdot h)}{60s}$$

F = Pedalkraft [N]

w = Pedalweg [m]

h = Anzahl Hübe [-]

Die Pedalkraft wurde mit Kraftmessgeräten aufgezeichnet und mit der Loggersoftware gemittelt.

Der Pumpenwirkungsgrad nimmt mit zunehmender Gesamthöhe zu, dies entspricht der Definition:

$$\eta_{pump} := \frac{(\rho \cdot g \cdot Q \cdot H)}{P_{in}}$$

$\rho$  = Dichte [kg/m<sup>3</sup>]

g = Gravitation [m/s<sup>2</sup>]

Q = Volumenstrom [l/s]

H = Gesamthöhe [m]

P<sub>in</sub> = Leistung [W]

Der Pumpenwirkungsgrad wurde im eigenen Interesse ermittelt, da bei keiner anderen Pumpe der Pumpenwirkungsgrad angegeben war. Wahrscheinlich weil die Pedalkraft nicht einfach zu ermitteln ist. Der Pumpenwirkungsgrad wird für den zweiten Prototypen der „Luzerna“ dienen.

### 4.6 Mechanischer Wirkungsgrad

Die Pedalkräfte werden in Abhängigkeit der Druckhöhe gemessen. Folgende Druckhöhen werden eingestellt: 0m, 4m und 0m ohne Saug und Druckleitung.

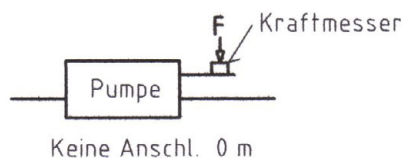


Abb. 4-11 Schema keine Anschl. 0m

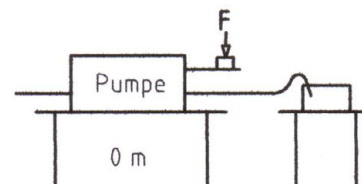


Abb. 4-12 Schema 0m

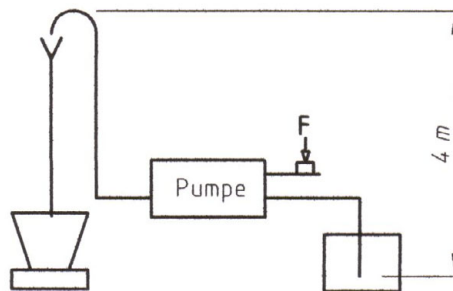
**Diplomarbeit 2005**


Abb. 4-13 Schema 4m

Der mechanische Wirkungsgrad für Pedalpumpen kann folgendermassen ermittelt werden:

$$\eta_{\text{mech}} := \frac{(F_{\text{in}} - F_f)}{F_{\text{in}}}$$

$F_{\text{in}}$  steht für die eingegebene Kraft und  $F_f$  für die Reibkraft. Für die Bestimmung von  $F_{\text{in}}$  wurde die Druckhöhe auf 4m gesetzt und die benötigte Pedalkraft wurde mit dem Kraftsensor aufgezeichnet. Für die Reibkraft wurde die Druckhöhe auf 0m gestellt und die Pedalkraft wurde gleich wie bei 4m gemessen.

keine Anschlüsse [kg]	1.73
0m [kg]	2.04
4m [kg]	15.29
Mech W'grad [%]	86.67%
Dist. Fuss zu Drehpkt. [mm]	760.00
Dist. Kolben zu Drehpkt. [mm]	262.00
Übersetzungsverhältnis	2.90

Tabelle 4-5 Messung Mechanische Effizienz

Das Übersetzungsverhältnis ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der Distanz vom Fuss zum Drehpunkt und der Distanz vom Kolben zum Drehpunkt.

## 4.7 Maximale Saughöhe

Die maximale Saughöhe wird mit zwei Testverfahren überprüft. Beim ersten Testverfahren wird ein Vakuum-Manometer und eine Drossel an der Saugseite angeschlossen, die Druckseite bleibt frei. Die Drossel wird geschlossen, der Pumpenbediener beginnt zu treten und es entsteht ein Unterdruck auf der Saugseite. Dieser Unterdruck ist mit der wahren Saughöhe vergleichbar (1m = 0.1bar).

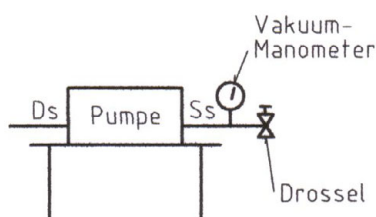


Abb. 4-14 Schema Saughöhe Manometer

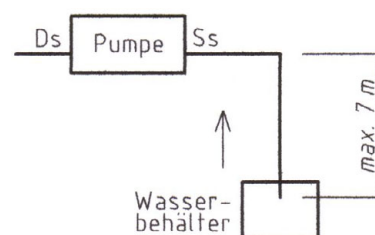


Abb. 4-15 Schema Saughöhe Schlauch

**Diplomarbeit 2005**

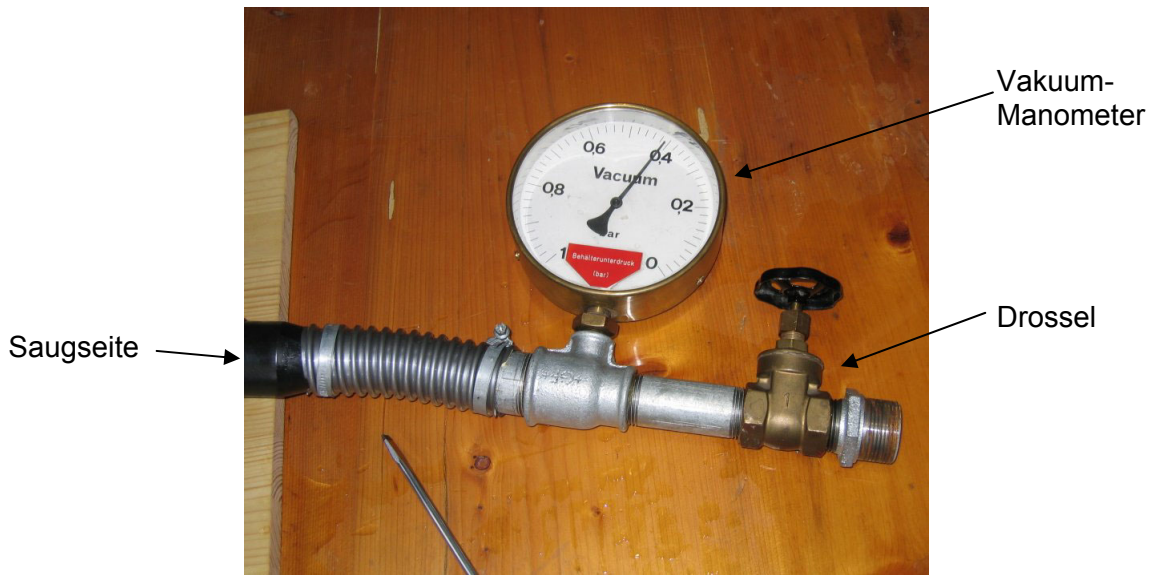


Abb. 4-16 Testaufbau Maximale Saughöhe

Beim zweiten Testverfahren wird die wahre Saughöhe ermittelt, begonnen wird mit einer Saughöhe von 7m. Pro Saughöhe wird maximal 2min getreten. Wird während dieser Zeit noch kein Wasser angesaugt, wird die Saughöhe um 1m reduziert und der Vorgang wiederholt.

Gemessener Unterdruck		Ermittelte Saughöhe	
Unterdruck [bar]		Saughöhe [m]	Ansaugzeit [s]
0.5		7	120
		6	120
		5	35

Tabelle 4-6 Messung Maximale Saughöhe

Tabelle 4-6 veranschaulicht, dass beide Testverfahren zur Bestimmung der maximalen Saughöhe verwendbar sind. Die maximale Saughöhe beträgt 5m.

## 5 Konkurrenzpumpen Vergleich

Die gemessenen Kenndaten der Saug/Druck Wasserpumpe werden mit anderen Kenndaten bestehender Saug/Druck Wasserpumpen verglichen. Die Kenndaten der anderen Saug/Druck Wasserpumpen stammen aus verschiedenen Berichten [2], [3], [4].

### 5.1 Saug/Druck Wasserpumpen anderer Hersteller

Pumpenname	Hersteller
Compact Suction-Pressure Pump	Enterprise Works Niger
Suction-Pressure Pump (standard)	Enterprise Works Senegal
Shoroma Pump	Enterprise Works Zimbabwe
Super MoneyMaker	Approtec Kenya
Platform Pump	New Dawn Engineering
Modified Masvingo (Swazi)	New Dawn Engineering

Tabelle 5-1 Konkurrenzpumpen

#### 5.1.1 Compact Suction-Pressure Pump



Die „Compact Suction-Pressure Pump“ erreicht eine Druckhöhe von 8 Metern. Die Pumpe kann nur durch eine Person bedient werden. Hergestellt wird die Pumpe in Niger, Mali und Uganda.

Abb. 5-1 Compact Suction Pressure Pump

### 5.1.2 Suction-Pressure Pump (standard)



Abb. 5-2 Suction Pressure Pump

Die „Suction-Pressure Pump“ erreicht eine Druckhöhe von 7 Metern. Die Pumpe kann durch eine oder zwei Personen bedient werden. Hergestellt wird die Pumpe in Niger, Senegal, Mali, Ivory Coast, Benin, Burkina Faso, Zimbabwe und Nigeria.

### 5.1.3 Shoroma Pump



Abb. 5-3 Shoroma Pump

Die „Shoroma Pump“ erreicht eine Druckhöhe von 7 Metern. Die Pumpe kann für Bewässerungssprinkler verwendet werden. Die Pumpe kann nur durch eine Person bedient werden. Hergestellt wird die Pumpe in Zimbabwe.

### 5.1.4 Super Moneymaker



Abb. 5-4 Super Moneymaker

Die „Super Moneymaker Pump“ erreicht eine Druckhöhe von 7 Metern. Die Pumpe kann nur durch eine Person bedient werden. Hergestellt wird die Pumpe in Kenya.

### 5.1.5 Platform Pump



Abb. 5-5 Platform Pump

Die „Platform Pump“ erreicht eine Druckhöhe von 7 Metern. Die Pumpe kann nur durch eine Person bedient werden. Der Zylinder kann je nach Druckhöhe und Körpergewicht des Pumpenbedieners in drei Positionen montiert werden. Somit sind drei verschiedene Hublängen des Kolbens möglich (104.5 mm, 105.42 mm und 70.3 mm). Ein kleinerer Hub ergibt einen grösseren Volumenstrom bei einer geringeren Druckhöhe.



### 5.1.6 Modified Masvingo (Swazi)



Die „Modified Masvingo (Swazi)“ erreicht eine Druckhöhe von 8 Metern. Die Pumpe kann durch eine Person oder zwei Personen bedient werden.

Abb. 5-6 Swazi Pump

## 5.2 Kenndatenvergleich

Pumpenname	Kolben-Ø	Kolbenweg	Gewicht [kg]	Pedalhöhe [mm]	Gesamthöhe [m]	max. Vs [m <sup>3</sup> /h] (h=1.5m)	Preis USD
Compact Suction-Pressure Pump	115	200	23	470	8	4.6	40-48
Suction-Pressure Pump (standard)	105	300	26	700	7	7.3	70
Shoroma Pump	115	100	20	450	7	n/a	60
Super Moneymaker	120	120	16	300	7	2	50
Platform Pump	104	n/a	51	600	8	6.01	n/a
Modified Masvingo (Swazi)	104	n/a	47	540	8	7.81	n/a
"Luzerna"	103	100	45	300	9	7.52	n/a

Tabelle 5-2 Kenndatenvergleich

## Diplomarbeit 2005

Die Kolbendurchmesser sind in etwa alle gleich. Die Kolbenwege weisen verschiedene Grössen auf, der Bereich liegt zwischen 100 und 300mm. Die Gewichte variieren zwischen 16 und 51kg, die „Luzerna“ gehört somit zu den schwereren Pumpen. Die Pedalhöhen liegen zwischen 300 und 700mm, hier weist die „Luzerna“ die tiefste Pedalhöhe auf. Der operationelle Arbeitsbereich, die Gesamthöhe, ist bei allen Pumpen in etwa gleich. Der maximale Volumenstrom bei 1.5m Saughöhe liegt zwischen 2 und 7.81m<sup>3</sup>/h, die „Luzerna“ schneidet hier als Zweitbeste ab. Die Verkaufspreise liegen zwischen 40 und 70USD, Ziel sollte es sein, die „Luzerna“ für maximal 50USD zu verkaufen. Bei weiterem Recherchieren stellte sich heraus, dass die angegebenen Preise nicht dem wahren Verkaufspreis entsprechen. Viele Pumpenhersteller werden von Hilfsorganisationen subventioniert.

### 5.3 Maximale Durchflussrate

Messung	"Luzerna"			Platform			Swazi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Zeit [s]	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Hübe	87	89	96	74	92	83	55	88	88
Kadenz [H/min]	131	134	144	111	138	125	82.5	132	132
Volumen [l]	81.1	80.8	88.7	78	67	56	82	101	77
Vs [l/s]	2.03	2.02	2.22	1.95	1.67	1.40	2.05	2.53	1.93
mittlerer Vs [l/s]	2.09			1.67			2.17		

Tabelle 5-3 Vergleich Maximale Durchflussrate

Bei der Maximalen Durchflussrate hat sich gezeigt, dass die „Luzerna“ im Mittelfeld liegt. Die Hubzahlen liegen, ausser einer der Swazi Pumpe, im selben Bereich. Erstaunlich ist, dass die Swazi Pumpe mit 55 Hüben einen Volumenstrom von 2.05 l/s aufweist, wahrscheinlich wurde aber immer der volle Hubweg ausgenutzt. Um eine hohe Durchflussrate zu erhalten, muss die optimale Kadenz eingehalten werden. Die optimale Kadenz muss pro Pumpentyp ermittelt werden. Bei der „Luzerna“ liegt die optimale Kadenz bei ca. 150.

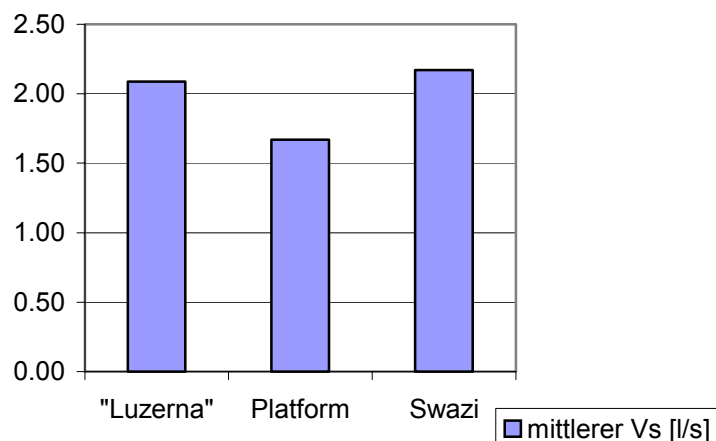


Abb. 5-7 Maximale Durchflussrate

## 5.4 Maximale Saughöhe

	"Luzerna"	Platform	Swazi
maximale Saughöhe [m]	5	3	4

Tabelle 5-4 Vergleich Maximale Saughöhe

Die „Luzerna“ weist mit 5m die höchste maximale Saughöhe auf, gefolgt von der Swazi mit 4m. Bei der Platform Pumpe liegt die niedrige Saughöhe von 3m wohl daran, dass zum Ansaugen der Kolbenweg verlängert werden musste, dadurch aber die benötigte Hubzahl nicht mehr erreicht werden konnte.

## 5.5 Mechanischer Wirkungsgrad

	"Luzerna"	Platform	Swazi
keine Anschlüsse [kg]	1.73	8.76	2.50
0m [kg]	2.04	10.46	10.90
4m [kg]	15.29	27.92	17.21
Mech W'grad [%]	<b>87%</b>	<b>63%</b>	<b>37%</b>
Dist. Fuss zu Drehpkt. [mm]	760.00	452.00	934.00
Dist. Kolben zu Drehpkt. [mm]	262.00	355.00	1026.00
Übersetzungsverhältnis	2.90	1.27	0.91

Tabelle 5-5 Vergleich Mechanischer Wirkungsgrad

Der Mechanische Wirkungsgrad sollte bei nicht mehr neuwertigen Pumpen einen Wert von 90% aufweisen, Thomas [4, S.5]. Da die „Luzerna“ zum Zeitpunkt dieses Tests schon etliche Tests hinter sich hatte, wird sie auch nicht mehr unter neuwertig klassiert. Weiter wird ersichtlich, dass sowohl die Platform wie auch die Swazi bei weitem nicht den geforderten Wert von 90% erreichen.

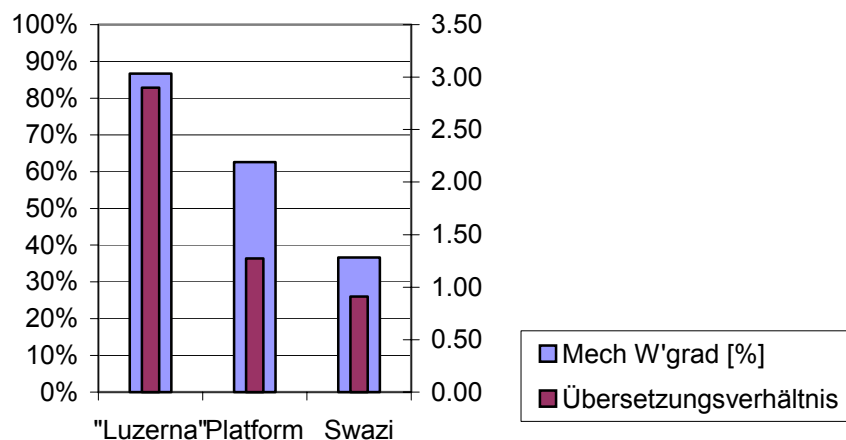


Abb. 5-8 Mechanischer Wirkungsgrad

## 5.6 Erkenntnisse

Während den Test wurde ersichtlich, dass sowohl die Ventile wie auch der Kolben schon bei geringen Druckhöhen nicht dichten. Zu Beginn trat erst bei 7m Druckhöhe Wasser über den Kolben, gegen Ende der Tests konnte diese Eigenschaft schon bei 3m Druckhöhe beobachtet werden. Dies ist auf der Abb. 5-9 sichtbar. Bei einer Druckhöhe von 9m strebt der Druck nach 5min gegen 0bar.

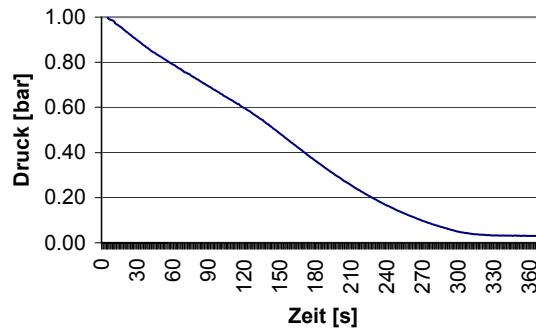


Abb. 5-9 Druckverlauf

Während den Tests hat sich gezeigt, dass die Pedale am unteren Anschlag einen zu grossen Winkel aufweisen, dies führt zu einer grossen Belastung des Fussgelenkes und zu starken Rückenlage. Der Pumpenbediener muss dies mit dem Haltegriff ausgleichen.

Die Waage, die zur Pedal Koordination dient, verschiebt sich während dem Betrieb axial. Dies führt zu unangenehmen Geräuschen und unnötigem Verlust.

## 6 Pumpenteile Optimierung

Bei der Pumpenteile Optimierung fließen Erkenntnisse aus den Pumpentests und den Interviews mit den Pumpenbedienern ein. Die Teile wurden bezüglich Effizienz, Gewichtsverminderung, Kostenersparnis und Lebensdauer optimiert.

Die erarbeiteten Varianten und die entsprechenden Überlegungen und Bewertungen befinden sich im Anhang dieses Berichtes.

Die entstandenen Varianten sollen der SE3WE/TAT zur weiteren Erarbeitung von zukünftigen Pumpenmodellen dienen.

### 6.1 Betonsockel (M. Du)

Der Betonsockel des aktuellen Prototypen ist 26kg schwer. Ziel der Optimierung ist, das Gewicht des Betonsockels um 15-20% zu minimieren. Dies kann durch Neuplatzierung der Ventile und Einbringen von Anfasungen und Führungsnuten realisiert werden.

Im weiteren soll der Betonsockel so gestaltet werden, dass der PVC-Zylinder ausgetauscht werden kann. Dies wird nach einer gewissen Zeit notwendig (2-3 Jahre), da der Zylinder durch unsauberes Wasser und Reibung der Kolbendichtung Verschleiss an der Mantelfläche aufweist.

Der optimierte Betonsockel weist ein Gewicht von 21.3kg auf. Die PVC-Zylinder lassen sich austauschen. Entsprechende Versuche zur Zylinderaustauschbarkeit befinden sich im Anhang dieses Berichtes. Die Rahmengeometrie lässt sich durch die eingebrachten Führungsnuten genau positionieren und ist vor Verschiebung geschützt.

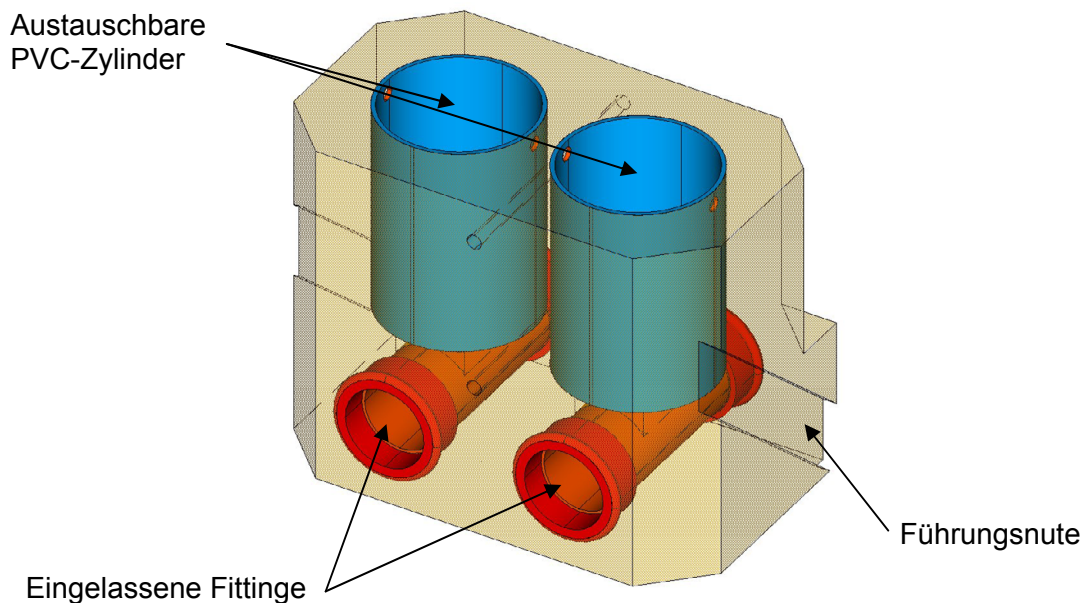


Abb. 6-1 Betonsockel

Die Fittinge für die Aufnahme der Ventile werden in die Gussform des Betonsockels eingelassen.

## Diplomarbeit 2005

Durch die neue Betonsockelgestaltung wird die Gussform vereinfacht. Die Vertiefung auf der oberen Seite des Betonsockels entfällt. Da die Kolbendichtungen neu aus Leder bestehen, wird diese Vertiefung überflüssig. Es werden keine Gewindestangen zur Rahmengeometrie Positionierung eingelassen.

Neu werden Holzprofile oder Styroporprofile für die Fassung und Metallplatten oder Holzstäbe für die Führungsnuten eingelegt.

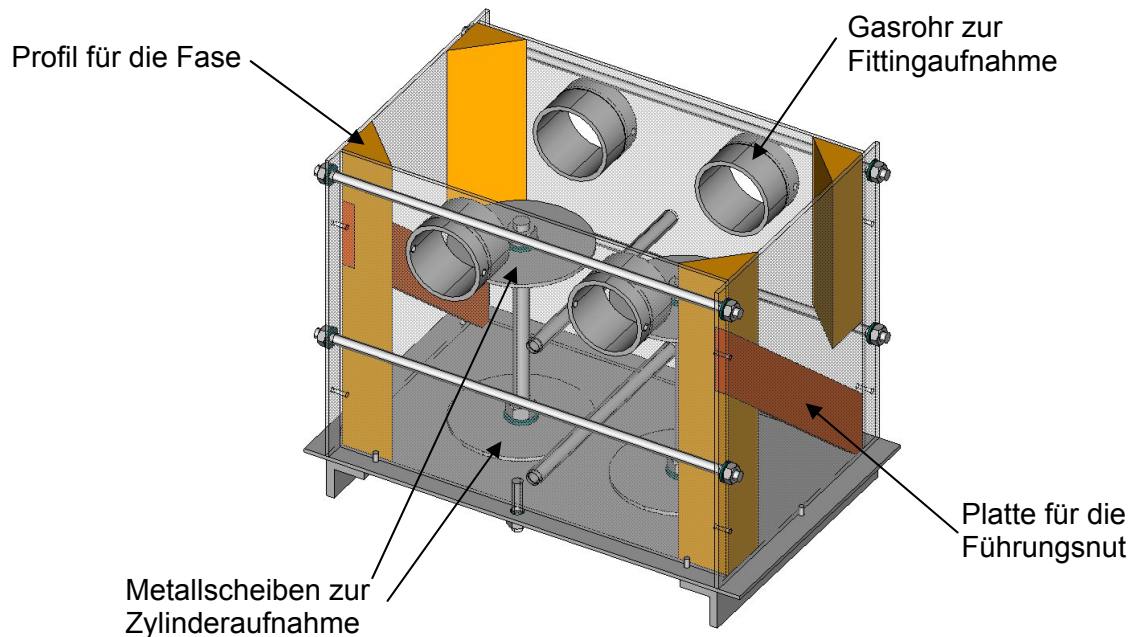


Abb. 6-2 Gussform

Die Fittinge für die Ventile werden mit Gasrohren in der Gussform positioniert. Die Zylinder werden mit Metallscheiben, die mit Gewindestangen verbunden sind, positioniert. Beim Einbau werden die Zylinder mit Folie umwickelt, so lässt sich ihre Austauschbarkeit realisieren.

Die Seitenplatten und die Bodenplatte werden aus Metallplatten gefertigt. Da die Gussform zur Serienproduktion dient, können die Platten nicht aus Holz gefertigt werden. Holz würde sich nach kurzer Zeit verziehen und die Gussform unbrauchbar machen.

### 6.2 Rahmengeometrie (M. Du)

Die Rahmengeometrie des aktuellen Prototypen besteht aus U-Profilen 40x20x5 und G1"x60 Gasrohre für die Pedalaufnahme. Das Gewicht der Rahmengeometrie beträgt 5.3kg.

Die optimierte Rahmengeometrie weist einen anderen Winkel (41,3°, früher 45°) zwischen den verschweissten U-Profilen auf. Diese Winkeländerung bezieht sich auf die geänderte Betonsockelhöhe, somit bleiben die Übersetzungsverhältnisse (Pedaldrehpunkt, Kolbenweg) gleich. Die Rahmengeometrie wird neu in die Führungsnuten des Betonsockels eingelassen, somit kann sie sich während dem Betrieb oder bei unsachgemäßem Transport der Pumpe nicht mehr zum Betonsockel verschieben.

**Diplomarbeit 2005**

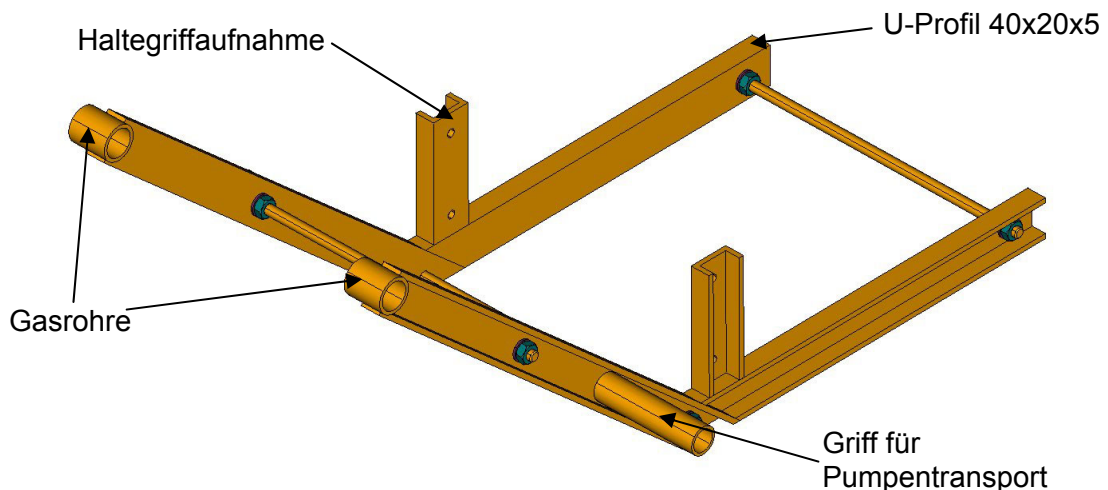


Abb. 6-3 Rahmengeometrie

An der modifizierten Rahmengeometrie sind Haltegriffaufnahmen und Griffe zur Pumpen Verschiebung angebracht worden.

**6.3 Pedale (M. Du)**

Die optimierten Pedale weisen einen anderen Pedalwinkel auf. Der Winkel wurde um 5° geändert, somit stellt sich beim unteren Pedalanschlag ein besserer Fussgelenkwinkel ein. Genauere Angaben sind dem Kapitel Ergonomische Pumpengestaltung zu entnehmen. Es wurden verschiedene Pedal Varianten erarbeitet, diese sind im Anhang ersichtlich und dienen für zukünftige Pumpenprojekte der SE3WE/TAT.

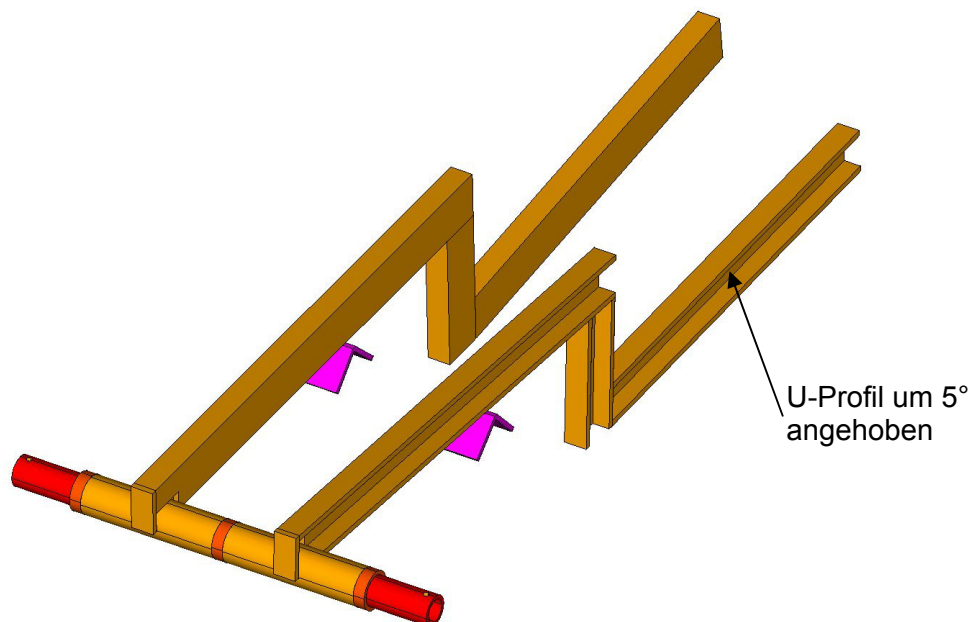


Abb. 6-4 Pedale

Die Fusspedale wurden bezüglich der Herstellbarkeit vereinfacht. Keine komplizierte Blechform mehr, sondern ein einfaches Stück Holz. Die Gefahr des Abrutschens wurde durch einen Lederriemen vermindert.

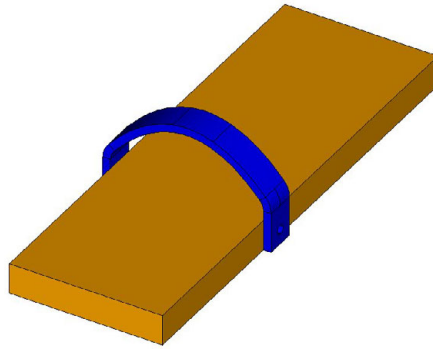


Abb. 6-5 Fusspedal

### 6.4 Rollenaufnahme (M. Du)

Die Achse der Rollenaufnahme wurde um 72mm erhöht. Dies wird durch den Einsatz der Rolle notwendig, damit kein Konflikt zwischen den Pedalen, Seil und der Rolle entstehen kann. Das U-Profil auf der Rückseite liegt nun stirnseitig auf dem Gasrohr auf, dies dient zur höheren Steifigkeit. Das horizontale U-Profil wurde durch die Betonsockeländerung um 100mm verkürzt. Als Pedalauflage dienten früher Korkzapfen, die in Gasrohren eingelassen waren, jetzt werden Klötze aus Gummi oder Holz verwendet, die im U-Profil eingeklemmt sind.

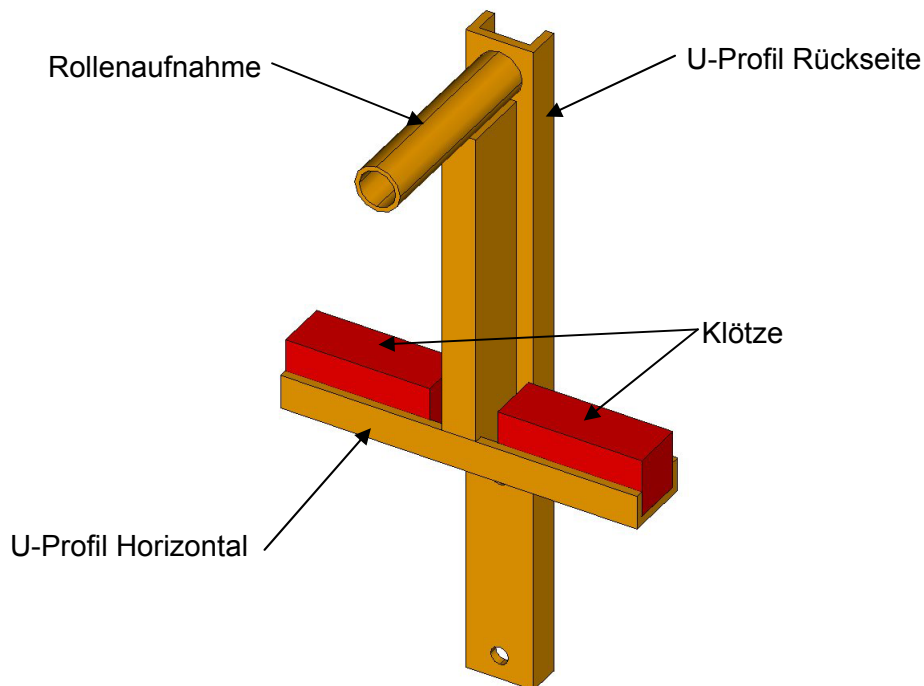


Abb. 6-6 Rollenaufnahme



## 6.5 Kolbendichtung (P. Ho)

Die bestehende Kolbendichtung wurde von der Saugpumpe übernommen, bei welcher das Wasser nach dem Ansaugvorgang durch den Kolben hindurch geführt werden musste. Da bei der Saug/Druck Pumpe das Wasser immer unterhalb des Kolbens bleibt, sollte die Kolbendichtung möglichst dicht sein. Hierbei fiel die Wahl auf eine Lederdichtung. Dies bringt neben einer verbesserten Dichtwirkung auch den Vorteil eines geringeren Verschleisses der Zylinder. Die Dichtwirkung wird hierbei auf der Unterseite durch den Wasserdruck und auf der Oberseite durch den Atmosphärendruck verstärkt.

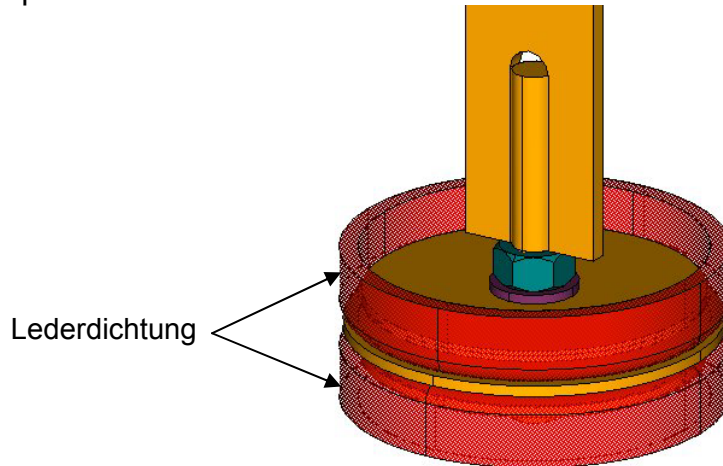


Abb. 6-7 Kolbendichtung

## 6.6 Ventile (P. Ho)

Das bestehende Ventil aus einer Lochplatte und einer Gummischeibe, welche mittig mit der Lochplatte verschraubt ist, konnte durch eine optimierte Variante ersetzt werden. Dabei wurde das Augenmerk auf eine definierte Verformung der Gummischeibe gelegt, welche nun nicht mehr mittig, sondern durch einen vertikalen Balken befestigt wird. Weiter wurde die Lochscheibe durch eine Platte mit vier Fenstern ersetzt und erhält dadurch einen um 18% vergrößerten Strömungsquerschnitt.

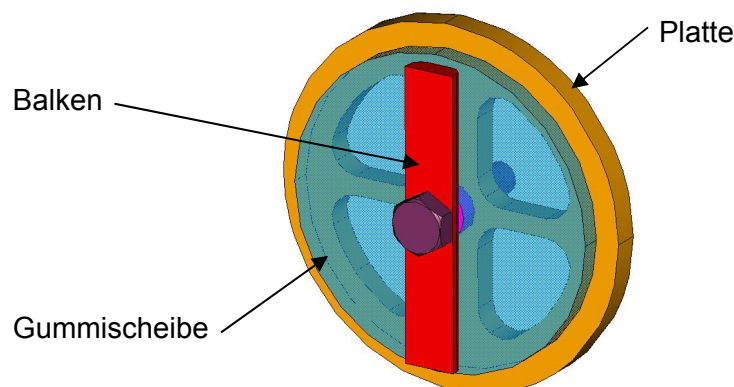


Abb. 6-8 Ventil

### **6.7 Waage/Rolle (P. Ho)**

Neu wird anstelle der Waage eine Rolle verbaut und die Pedalkoordination durch einen Seilzug erreicht. Dies bringt den Vorteil, dass keine Querkräfte auf den Kolben einfließen. Weiter gestaltet sich die Herstellung der Rolle wesentlich einfacher als die der bestehenden Waage.

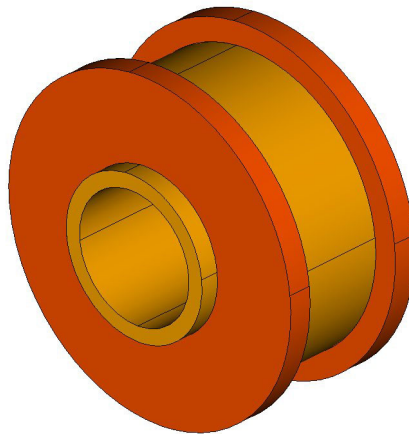


Abb. 6-9 Rolle

## **7 Profil Verwendbarkeit**

### **7.1 Aktuelle Situation**

Vor einem Einsatz im Ausland wird der lokalen Organisation vor Ort eine Materialliste übergeben, um die Verfügbarkeit der benötigten Profile zu gewährleisten.

Beim letzten Einsatz in Burkina Faso (2003) mussten die Entwicklungshelfer trotz dieser Massnahme Zeichnungsänderungen vornehmen, was eine unerwünschte Belastung und Verzögerung des Projektes nach sich zieht.

Nach diesem Vorfall hat die SE3WE/TAT beschlossen, vor einem definitiven Einsatz die Materialverfügbarkeit durch einen Entwicklungshelfer vor Ort sicherzustellen.



Abb. 7-1 Materiallager

Der Entwicklungshelfer sendet eine Liste mit den verfügbaren Profilen und Materialien in die Schweiz. Die Materialliste wird in der Schweiz überprüft und bei Bedarf werden die Konstruktionszeichnungen angepasst.

### **7.2 Vorhandene Profile**

Die Tabelle 7-1 zeigt eine Auswahl an erhältlichen Profilen in den verschiedenen Ländern. Die Informationen über die Profile stammen von Mitgliedern der SE3WE/TAT.

## Diplomarbeit 2005

Profile [mm]	Widerstandsmoment [cm <sup>3</sup> ]	kg/m	Preis CH [sFr./m]	Preis Ausland [FCFA/m]
<b>U-Profil</b>				
41.5x21x6	3.92	2.91	2.27	1000
40x20x5	3.79	2.87	3.40	1500
<b>L-Profil</b>				
40x40x4.5	1.62	2.98	2.27	1000
40x40x4	1.56	2.42	2.27	1000
30x30x5	1.04	2.18	2.27	1000

Tabelle 7-1 Profiltabelle

Die angegebene Währung FCFA = Franc de la Communauté Financière Africaine ist mit Vorsicht zu geniessen, da sie grossen Kursschwankungen ausgesetzt ist. Es wird aber sichtbar, dass die Profilauswahl den Materialkostenpreis minimal beeinflusst.

### 7.3 Vorhandene Widerstandsmomente

Damit abgeschätzt werden kann, welche Profile eingesetzt werden können, wird das erforderliche Widerstandsmoment an dem Pedal und die zusammengesetzte Normalspannung an der Rahmengeometrie berechnet. Folgende Annahmen werden getroffen:

- Fusskraft auf Pedal 80kg
- Druckhöhe 10m, Saughöhe 6m, ergibt eine Gesamthöhe von 15m
- U-Profil 40x20x5
- Profil Material S235 warm gewalzt
- Widerstandsmoment  $W_x = 3.79 \text{ cm}^3$
- Querschnitt  $A = 3.66 \text{ cm}^2$
- Wirkungslinie  $F$  geht durch den Schubmittelpunkt des Profils

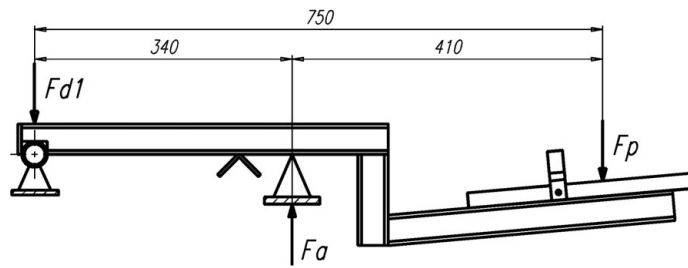
#### 7.3.1 Widerstandsmomente Pedal

Die Berechnung der erforderlichen Widerstandsmomente sind im Anhang des Berichtes zu entnehmen.

#### Fall1

Das Pedal liegt am Pedalanschlag auf, das Pedal wird mit einer Fusskraft von 80kg betätigt.

**Diplomarbeit 2005**

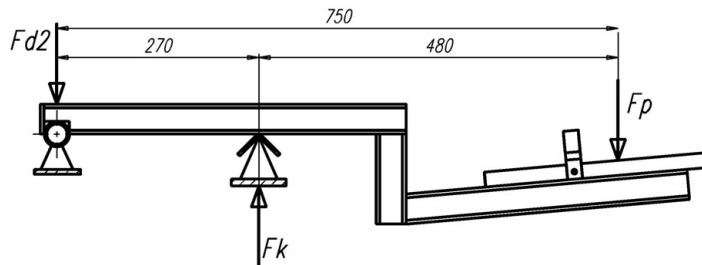


$$W_{\text{erf}} = 1.67 \text{ cm}^3$$

$$W_{\text{erf}} < W_x \text{ i.O.} \quad S = 1:2.3$$

**Fall2**

Das Pedal wird mit 10m Druckhöhe und 6m Saughöhe beaufschlagt.

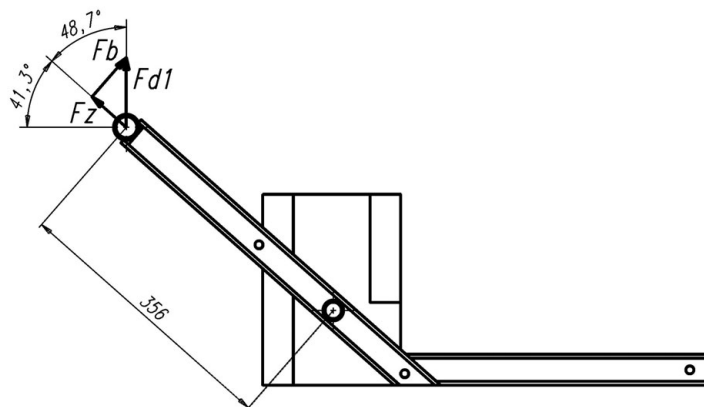


$$W_{\text{kerf}} = 1.2 \text{ cm}^3$$

$$W_{\text{kerf}} < W_x \text{ i.O.} \quad S = 1:3.1$$

**7.3.2 Zusammengesetzte Normalspannung Rahmengeometrie**

Die Rahmengeometrie wird durch die Führung des Betonsockels gestützt. Es interessiert nur der Bereich vom Drehpunkt zur Mitte der Führungsnut des Betonsockels.



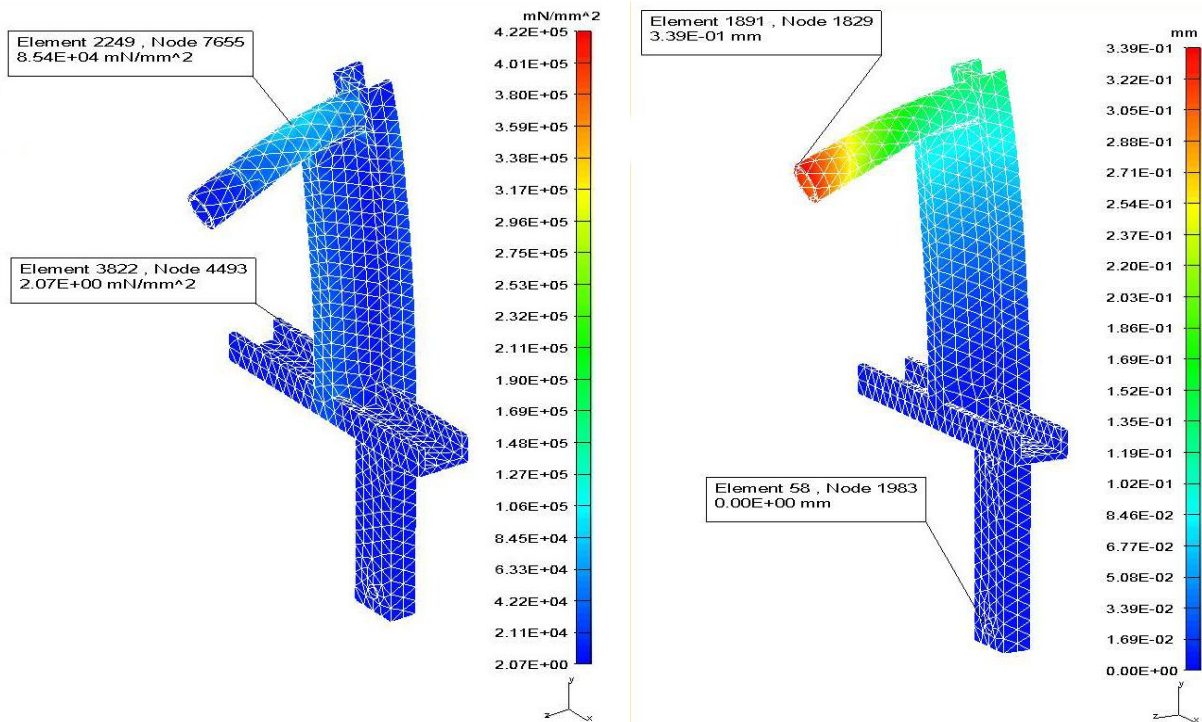
$$\delta_z = 69.8 \text{ N/mm}^2 \quad \delta_{\text{zul}} = 196 \text{ N/mm}^2$$

$$\delta_z < \delta_{\text{zul}} \text{ i.O.} \quad S = 1:2.8$$

### 7.3.3 Spannung und Deformation Rollenaufnahme

Bei der Rollenaufnahme wurde die erforderliche Spannung und die Deformation ermittelt. Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Pumpenbediener mit einem Gewicht von 80kg, auf beiden Pedalen stehend
- Profil Material S235 warm gewalzt
- Schweissnähte vernachlässigt
- $\bar{\delta}_{zul} = 196\text{N/mm}^2$



$$\bar{\delta} = 85.4\text{N/mm}^2 \quad \bar{\delta}_{zul} = 196\text{N/mm}^2$$

$$\bar{\delta} < \bar{\delta}_{zul} \text{ i.O.} \quad S = 1:2.3$$

Bei dieser Belastung neigt sich die Rollenaufnahme um 0.33mm.

## **8 Ergonomische Pumpengestaltung (M. Du)**

Für die Bedienung einer Pedalpumpe ist es sehr wichtig, dass sich der Pumpenbediener während der Pumparbeit nicht überbelastet und dass er die Fusskraft optimal auf das Pedal abgeben kann. Bei nicht korrekter ergonomischer Gestaltung kann es zu frühzeitiger Übermüdung, Muskelschmerzen oder gar Haltungsstörungen führen. Um dem vorzubeugen, wird an der Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“ die Pedalgestaltung und die Haltemöglichkeit optimiert.

### **8.1 Pedalgestaltung**

#### **8.1.1 Pedalweg**

Der Pedalweg ist die vertikale Distanz zwischen den Pedalen in ihrer maximalen Auslenkung. Ist der Pedalweg zu kurz, ermüden die Muskeln zu schnell, ist er zu lang, kann es zu Muskelzerrungen führen.

Bei einem Fahrrad entspricht die Pedalkurbel einer Länge von ca. 170mm, dies ergibt eine komfortable und effiziente Bewegung und ist äquivalent zu 340mm Pedalweg einer Pedalpumpe.

Der Pedalweg sollte zwischen 100-350mm liegen. Der Pumpenbediener wird den Pedalweg normalerweise gemäss der Gesamthöhe ( $\Delta H$ ) auswählen. Bei einer hohen Gesamthöhe wird er einen kleinen Pedalweg auswählen und bei einer kleinen einen grossen Pedalweg. Diese Angaben stammen aus Vakant [5,S.7].

Der Pedalweg der „Luzerna“ liegt bei 200mm, dieser Pedalweg wurde von den Pumpenbedienern während den Pumpentests als angenehm empfunden.

#### **8.1.2 Kadenz**

Die Kadenz ist die Frequenz, mit welcher die Pedale hinunter und herauf bewegt werden. Eine Kadenz von 60 Hüben pro Minute wird als komfortabel betrachtet. Angaben aus Vakant [5,S.8].

#### **8.1.3 Fusskraft**

Für lang andauernde Pumpperioden sollte die Fusskraft 50% des Körpergewichtes nicht überschreiten. Für kurze Pumpperioden kann 70% des Körpergewichtes beansprucht werden. Die Pedale sollten so ausgelegt werden, dass die Fusskraft 15-50kg über den Gesamthöhenbereich ( $\Delta H$ ) nicht überschreitet.

Eine Pedalpumpe wird fast immer für eine spezifische Gesamthöhe ( $\Delta H$ ) eingesetzt, somit kann für eine geeignete Fusskraft ein entsprechender Kolbendurchmesser ausgewählt werden.

## Diplomarbeit 2005

KolbenØ [mm]	$\Delta H$ [m]
75	> 8
100	3 - 8
150	< 3

 Tabelle 8-1 Abhängigkeit KolbenØ ,  $\Delta H$ 

Die Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“ wird bei einer Gesamthöhe von 6-8m eingesetzt und weist einen Kolbendurchmesser von 104mm auf. Der Kolbendurchmesser wurde gemäss Tabelle 8-1 richtig ausgewählt.

### 8.1.4 Pedalübersetzung

Der Pumpenoperator kann die auf den Kolben wirkende Kraft variieren, während die Fusskraft konstant bleibt. Diese Eigenschaft zeigt sich als Vorteil für den Pumpenbediener, ein schwerer Pumpenbediener wird einen andern Abstand zum Drehpunkt einnehmen als ein leichter Pumpenbediener. Der Pumpenbediener wählt diesen Abstand selber aus und zwar nach der ihm am angenehmsten Pedalkraft. Während dem Treten kann der Abstand verändert werden. Diese Abstandsveränderungen während dem Treten sind weniger ermüdend als konstante Pedalkräfte. Angaben aus Vakant [5,S.8].

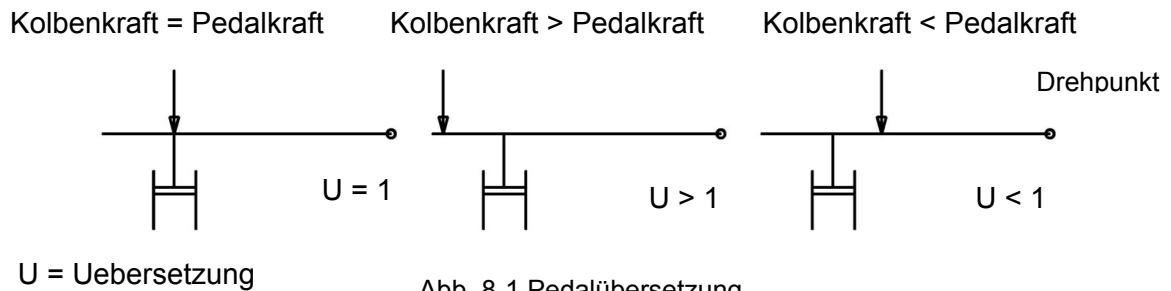


Abb. 8-1 Pedalübersetzung

### 8.1.5 Pedalwinkel

Beim Prototypen der PP8000 „Luzerna“ sind die Pedale so ausgelegt, dass in Neutralstellung der Fuss zum Unterschenkel einen Winkel von ca.  $90^\circ$  bildet. Während dem Treten wird das Fussgelenk positiv und negativ ausgelenkt. Dieser Wechsel vom positive ins negative führt zu einer Überbeanspruchung des Fussgelenkes. Als Vergleich dazu der Fahrradfahrer, sein Fusswinkel ändert während dem Treten nur minimal.

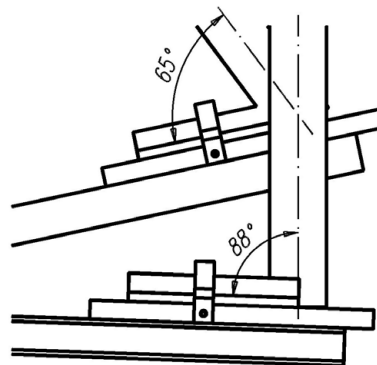


Abb. 8-2 Fusswinkel



## Diplomarbeit 2005

Um dieser Überbeanspruchung entgegenzuwirken, werden die Pedalwinkel verändert und zwar so, dass im unteren Totpunkt des Pedales der Fusswinkel einen Winkel von  $85-95^\circ$  einnimmt. Der Fusswinkel ändert zwar immer noch von ca.  $65^\circ-95^\circ$ , das Gelenk wird aber im unteren Anschlag nicht mehr so belastet. Im oberen Anschlag ist ein Fusswinkel kleiner als  $85^\circ$ , das Fussgelenk erfährt aber eine kleinere Belastung als im unteren Anschlag.

### 8.2 Haltemöglichkeit

Der Haltegriff beim Prototypen der PP8000 „Luzerna“ ist wie ein Fahrradlenker gestaltet. Während den Pumpentests hat sich herausgestellt, dass die meisten Pumpenbediener nur zu Beginn den Haltegriff benutzten, während dem Treten wechselten fast alle auf das Gestänge des Malergestells. Das Gestänge des Malergestells war aber auch nicht optimal, da es zu tief war. Die Pumpenbediener kamen in Rückenlage und konnten die Beine im unteren Totpunkt nicht mehr voll durchstrecken.

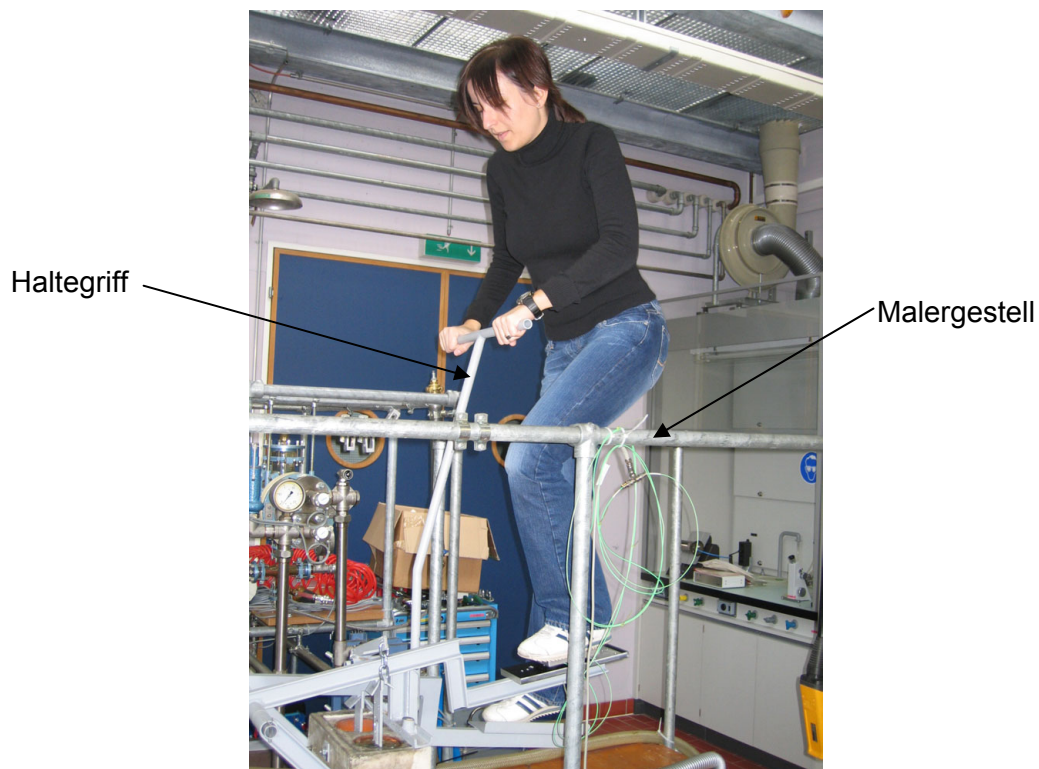


Abb. 8-3 Haltung

Bei der Benutzung des Haltegriffs konnten die Pumpenbediener keine aufrechte Haltung einnehmen, dies wird in Abb. 8-3 ersichtlich.

Während dem Treten ist es wichtig, aufrecht zu stehen, damit keine Verspannungen und Haltungsschäden entstehen können. Es ist auf die Bewegungsfreiheit der Arme zu achten. Die Griffhaltung ist vor dem Körper günstig, damit der Oberkörper aufgerichtet bleibt.

Der Haltegriff muss somit höher und mit mehreren Griffmöglichkeiten gestaltet werden.

## Diplomarbeit 2005

Der optimierte Haltegriff wurde so gestaltet, dass sich der Pumpenbediener an mehreren Orten festhalten kann. Die Höhe des Haltegriffs kann verstellt werden, je nach Pumpenbedienergrösse.

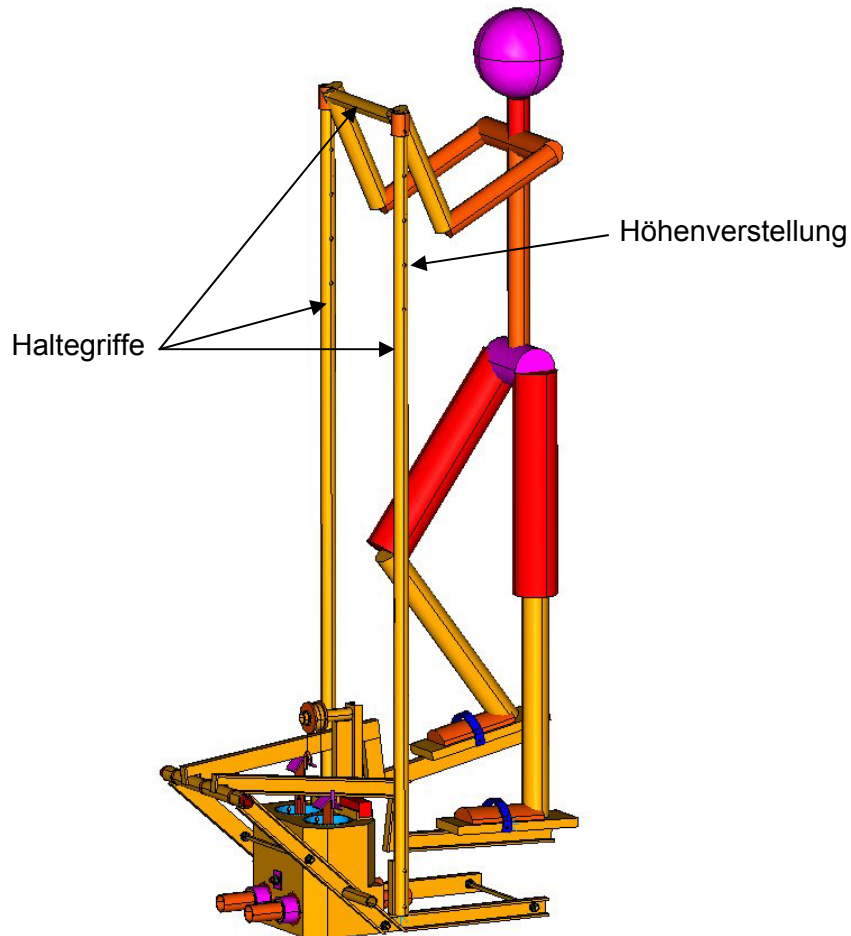


Abb. 8-4 Optimierter Haltegriff

Der Haltegriff wird beim zweiten Prototypen aus Gasrohren gefertigt, natürlich kann man auch andere Materialien wie Holz einsetzen. Wichtig ist nur, die erforderliche Haltegriffhöhe für den Pumpenbediener einzuhalten.

### 8.3 Sitzmöglichkeit

Die SE3WE/TAT möchte als zusätzliche Hilfe für den Pumpenbediener Sitzhilfen anbieten. Die Sitzhilfe soll dem Pumpenbediener das Treten erleichtern und vor vorzeitiger Ermüdung vorbeugen.

Bei den Pumpentests wurde eine Sitzhilfe zur Verfügung gestellt. Die Sitzhilfe wurde aber von keinem der Testpersonen auf Dauer benutzt. Bei der Befragung der Pumpenbediener stellte sich heraus, dass das Treten während dem Sitzen mühsamer ist als in aufrechter Haltung. Beim Treten hilft das Körpergewicht das Pedal in den unteren Totpunkt zu verschieben, dies würde beim Sitzen entfallen.

## Diplomarbeit 2005

---

Beim Treten werden vorwiegend die Beinmuskulatur, Hüft- und Gesässmuskulatur eingesetzt.

In der Literatur ist ersichtlich, dass die Beinmuskulatur während dem Sitzen nur noch etwa 60% der Muskelkraft abgeben kann [7, S.380].

Aus folgenden Punkten sollte von einer Sitzhilfe abgeraten werden:

- Mühsameres Treten
- Beeinschränkung der Hüft- und Gesässmuskulatur
- Weniger Muskelkraft (60%)
- Kein Einsatz des Körpergewichtes

Im weiteren wurden Überlegungen bezüglich einer Stützhilfe für das Gesäss und den Rücken vorgenommen. Der Pumpenbediener könnte sich während dem Treten an diese Stützhilfe anlehnen. Aber auch mit einer Stützhilfe würde der Pumpenbediener in seinen Bewegungen eingeschränkt und könnte nicht alle Muskelpartien gebrauchen. Deshalb ist auch von einer Stützhilfe abzuraten.



Abb. 8-5 Sitzmöglichkeit

## 9 Zeichnungserstellung

Bei der Zeichnungserstellung wurden folgende Vorgaben von der SE3WE/TAT beachtet:

- Übernahme des Zeichnungskopfes der SE3WE/TAT.
- Zeichnungsformat A4 (Zusammenstellungszeichnungen A3 aber auf A4 ausdrückbar). Dient zur besseren Vervielfältigung.
- Nummerierung und Benennung gemäss SE3WE/TAT.
- Sämtliche Angaben auf den Zeichnungen sind in Englischer Sprache zu verfassen.

Das 3D-Modell der PP8000 „Luzerna“ und die Konstruktionszeichnungen wurden auf I-DEAS 10 erstellt.

Die Ausgabe der Zeichnungen an die SE3WE/TAT erfolgt über Zeichnungsausdrucke auf Papier A4 und PDF Dateien. In einem späteren Zeitpunkt, nach der Diplomarbeit, wird das 3D Modell und die Zeichnungen mit DXF (2D) und STEP (3D) Schnittstelle an das CAD (AutoCAD 2000) der SE3WE/TAT übergeben.

Sämtliche Konstruktionszeichnungen der Saug/Druck Wasserpumpe „Luzerna“ befinden sich im Anhang dieses Berichtes.

## 10 Alternative Kraftquellen (P. Ho)

Um die Hubbewegung der Pumpe in eine Rotationsbewegung umzuformen, wird eine Kurbelwelle benötigt. Eine mögliche Lösungsvariante ist in Abb. 10-1 dargestellt. Die beiden Pleuelstangen werden mittels Gewindestangen mit den Pedalen verschraubt. Durch die Verwendung unterschiedlich grosser Rollen kann ein Übersetzungsverhältnis von 0.25 bis 2 erreicht werden. Die in Abb. 10-2 detailliert dargestellte Antriebswelle wird seitlich weggeführt und an die externe Kraftquelle angeschlossen.

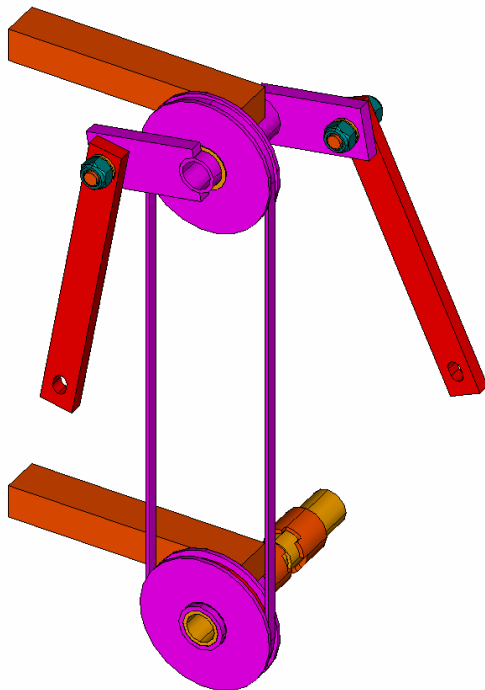


Abb. 10-1 Lösungsvariante

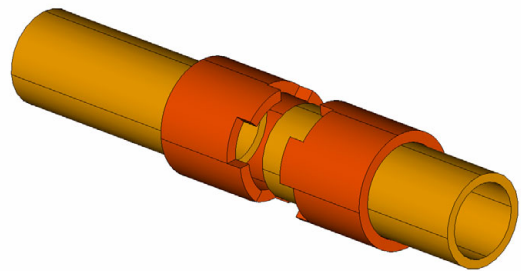


Abb. 10-2 Antriebswelle

### 10.1 Solarantrieb

Der Antrieb mit Sonnenenergie setzt einen grossen finanziellen, wie auch technischen Aufwand voraus.

Es werden folgende Komponenten benötigt:

- Solarzellen
- Elektromotor
- Getriebe
- Wechselrichter

Aufgrund der oben genannten Punkte wird diese Antriebsart nicht weiterverfolgt.

## 10.2 Windenergie

Windturbinen lassen sich in Horizontalachsenmaschinen und Vertikalachsenmaschinen einteilen. Die Vertikalachsenmaschinen haben folgende Vorteile:

- Keine Ausrichtung auf die Windrichtung erforderlich
- Die Antriebswelle kann am Boden direkt auf ein Getriebe geführt werden

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Art der Windnutzung. Dies kann nach dem Auftriebsprinzip oder nach dem Widerstandsprinzip geschehen. Hierbei sind die Windturbinen mit Widerstandsnutzung aufgrund der einfacheren Profilgeometrie billiger und einfacher in der Herstellung. Der Savonius-Rotor Abb. 10-3 erfüllt diese Bedingungen und kann als mögliche Lösung übernommen werden.

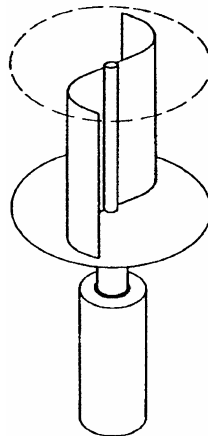


Abb. 10-3 Savonius-Rotor

## 10.3 Antrieb durch Tiere

Der Antrieb durch Tiere kann, wie in Abb. 10-4 dargestellt, realisiert werden. Aufgrund der grösseren Kraftwirkung der verwendeten Tiere können mehrere Pumpen parallel betrieben werden. Die Daten einiger möglicher Tiere sind in Tabelle 10-1 aufgelistet.

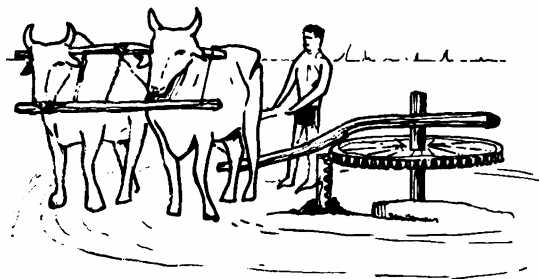


Abb. 10-4 Antrieb durch Tiere

**Diplomarbeit 2005**

<b>Tier</b>	<b>Gewicht [kg]</b>	<b>Kraft [kg]</b>	<b>Geschwindigkeit [m/s]</b>	<b>Leistung [W]</b>
Schweres Pferd	700- 1200	50- 100	0.6-1.2	500- 1000
Leichtes Pferd	400-700	45-80	0.8-1.4	400-800
Esel	350-500	40-60	0.8-1.0	300-600
Affe	150-300	20-40	0.6-0.8	75-200
Kuh	400-600	50-60	0.6-0.8	200-400
Ochse	500-900	60-80	0.5-0.7	300-500
Kamel	500- 1000	80- 100	0.8-1.2	400-700
Büffel	400-900	60- 100	0.5-1.0	600- 1000

Tabelle 10-1 Tierdaten