

Bachelor-Thesis

für Herrn cand. ing. Christopher Clemens (Matr.-Nr. 961396)

Eine einfache Methode zur Rohwasserfiltrierung für die Trinkwasserversorgung in Entwicklungsländern

Die sichere Versorgung mit Trinkwasser ist eines der Hauptprobleme in den Entwicklungsländern. Rund 660 Mio. Menschen haben derzeit keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Verschmutztes Wasser und schlechte sanitäre Versorgung kosten täglich weltweit mehreren Tausend Kindern das Leben.

In diesem Zusammenhang besteht unter den Verantwortlichen sowie Entwicklungshelfern weitgehende Einigkeit, dass eine reine Kopierung der Wasserversorgungssysteme, wie sie in Industriestaaten zu finden sind, nicht zweckdienlich ist. Vielmehr sind einfache („low tech“) Systeme gefragt, die in von den betroffenen Ländern selbst hergestellt und betrieben werden können, also zu keinen neuen Abhängigkeiten führen.

Im Rahmen vorangegangener Thesis wurde ein Verfahren zur einfachen Rohwasserdesinfektion untersucht. Dabei wird Chlor verwendet, das aus einer Salzlösung gewonnen wird. Es zeigte sich, dass aufgrund der im Rohwasser enthaltenen Feststoffe eine hohe Wiederverkeimungsgefahr besteht. Folglich liegt es nahe, der Desinfektion einen einfachen, überdrucklosen Sandfilter vorzuschalten.

Im Rahmen dieser Thesis sollen daher zunächst kurz die theoretischen Grundlagen zu dieser Thematik zusammengefasst werden sowie prinzipielle Einsatzmöglichkeiten dargestellt werden. Anschließend sind eine einfache Apparatur zur wie oben beschriebenen Rohwasserfiltration zu bauen und damit im Labor entsprechende Versuche durchzuführen, um die praktische Eignung des Verfahrens nachzuweisen.

Sämtliche Datensätze sind der Arbeit auf Datenträger beizufügen.

Trier, den 14.07.2018



Inhalt

I.	Tabellenverzeichnis	IV
II,	Abbildungsverzeichnis	V
III.	Abkürzungs- und Einheitsverzeichnis	VI
1.	Einleitung	1
2.	Trinkwasser	3
2.1	Allgemeines	3
2.2	Trinkwasseraufbereitung	3
2.3	Kiesfilter	5
2.4	Typische Trübungswerte	6
3.	Beispiel einer Pool-Sandfilteranlage mit Rückspülung	7
3.1	Funktionsweise der Sandfilteranlage	7
3.2	Filter Zyklus	8
3.3	Rückspülung	8
4.	Materialgrundlagen für den Filter	9
4.1	Steinbruch	9
4.2	Splitt	9
4.3	Schotter	9
4.4	Rheinkies	9
4.5	Quarzsand	10
5.	Materialliste der Versuchsgegenstände	11
6.	Filter-Versuche	15
6.1	Versuchsaufbau Nr.1 Skizze	16
6.1.1	Versuchsbeschreibung	18
6.1.2	Durchführung	19
6.1.3	Ergebnis	20
6.2	Versuchsaufbau Nr. 2 Skizze	21
6.2.1	Versuchsbeschreibung	22
6.2.2	Durchführung	23
6.2.3	Messwerte	24
6.2.4	Ergebnis	25
6.3	Versuchsaufbau Nr. 3 Skizze	26
6.3.1	Versuchsbeschreibung	27
6.3.2	Durchführung	27
6.3.3	Messwerte	27
6.3.4	Ergebnis	28
6.4	Versuchsaufbau Nr. 4 Skizze	29
6.4.1	Versuchsbeschreibung	30

6.4.2	Durchführung.....	30
6.4.3	Messwerte	31
6.4.4	Ergebnis	31
6.5	Versuchsaufbau Nr. 5 Skizze	32
6.5.1	Versuchsbeschreibung	33
6.5.2	Durchführung.....	33
6.5.3	Messwerte	33
6.5.4	Ergebnis	34
7.	Filtrierung bis zur Sättigung und Rückspülung	34
7.1	Versuchsaufbau Filtrierung	35
7.2	Versuchsbeschreibung.....	36
7.2.1	Durchführung.....	36
7.2.2	Messwerte	37
7.2.3	Ergebnis	43
7.3	Versuchsaufbau Rückspülung.....	44
7.3.1	Versuchsbeschreibung	45
7.3.2	Durchführung.....	45
7.3.3	Messwerte	47
7.3.4	Ergebnis	49
8.	Auswertung der Ergebnisse	50
9.	Zusammenfassung und Ausblick	51
10.	Literaturverzeichnis	53

I. Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Prozesse zur Trinkwasseraufbereitung	4
Tab. 2	typische Trübungswerte	6
Tab. 3	Messwerte Versuch Nr.2	24
Tab. 4	Messwerte Versuch Nr.2	24
Tab. 5	Messwerte Versuch Nr.3	27
Tab. 6	Messwerte Versuch Nr.4	31
Tab. 7	Messwerte Versuch Nr.5	33
Tab. 8	Filtertabelle 1	37
Tab. 9	Filtertabelle 2	38
Tab. 10	Filtertabelle 3	38
Tab. 11	Filtertabelle 4	39
Tab. 12	Filtertabelle 5	39
Tab. 13	Filtertabelle 6	40
Tab. 14	Filtertabelle 7	40
Tab. 15	Filtertabelle 8	41
Tab. 16	Filtertabelle 9	41
Tab. 17	Filtertabelle 10	42
Tab. 18	Filtertabelle 11	42
Tab. 19	Rückspülung 1	47
Tab. 20	Rückspülung 2	47
Tab. 21	Rückspülung 3	47
Tab. 22	Rückspülung 4	48
Tab. 23	Rückspülung 5	48

II, Abbildungsverzeichnis

Abb. I	Wasserknappheit 2025	2
Abb. II	Funktionsaufbau Poolfilter.....	7
Abb. III	Poolfilter und Poolfilter-Rückspülung.....	8
Abb. IV	Trübungsmessgeräte	11
Abb. V	der zerkleinerte, verwendete Lehm.....	12
Abb. VI	typische Sieblinie Kies-Schottertragschicht 0/45	12
Abb. VII	typische Sieblinie Rheinkies 8/16	13
Abb. VIII	typische Sieblinie Mischsplitt 2/5	13
Abb. IX	typische Sieblinie Quarzsand 0/1	14
Abb. X	Skizze Allgemeiner Versuchsaufbau Nr.1	16
Abb. XI	Skizze Filterschichten Versuch Nr.1	17
Abb. XII	Versuchsanlage.....	17
Abb. XIII	Abdichtung der Regentonne und Verschraubungen	18
Abb. XIV	Schotter 0/45 und Quarzsand 0/1.....	19
Abb. XV	Ergebnis des durchlässigen Kalksteinschotter	20
Abb. XVI	Skizze Filterschichten Versuch Nr.2.....	21
Abb. XVII	Filterschichten Schotter 0/45 Kies 8/16 Splitt 2/5.....	22
Abb. XVIII	Skizze Versuchsaufbau Nr.3.....	26
Abb. XIX	Trinkwasser Ertrag: links Versuch Nr.3; rechts Versuch Nr.2	28
Abb. XX	Skizze Versuch Nr.4.....	29
Abb. XXI	Versuchsaufbau mit abgedichtetem Deckel.....	30
Abb. XXII	Skizze Versuchsaufbau Nr.5	32
Abb. XXIII	Skizze Filtrierung bis zur Sättigung	35
Abb. XXIV	getrübtes Wasser im Auffangbecken	35
Abb. XXV	Lehmablagerung, die den Filter wasserundurchlässig macht.....	37
Abb. XXVI	Trübungsproben von 5,545,1000, Overrange [NTU]	42
Abb. XXVII	Skizze Rückspülung	44
Abb. XXVIII	Regentonne mit 120L Leitungswasser	45
Abb. XXIX	Abfolge des Zustands der Oberfläche während der Rückspülung.....	46
Abb. XXX	entnommene Probe des oben angespülte Schmutzwasser (Overrange).....	49

III. Abkürzungs- und Einheitsverzeichnis

%	<i>Prozent</i>
+ -	<i>Plus Minus</i>
>	<i>Vergleichszeichen größer</i>
<	<i>Vergleichszeichen kleiner</i>
AVBWasserV	<i>allgemeine Versorgungsbedingungen Wasser</i>
bzw	<i>beziehungsweise</i>
ca	<i>circa schätzungsweise</i>
cm	<i>Zentimeter</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
dm ³	<i>Kubikdezimeter</i>
EN	<i>Europäische Norm</i>
G	<i>Whitworth Rohrgewinde G=Innengewinde R=Außengewinde</i>
Geka	<i>Klauenkupplung Schlauchanschluss</i>
gG/CGr	<i>Kieskorngößenverhältnis kleinstes Grobkieskorn zu größtes Grobkieskorn</i>
ISO	<i>Internationale Organisation für Normung</i>
kg	<i>Kilogramm</i>
l	<i>Liter</i>
l/h	<i>Liter pro Stunde</i>
m	<i>Meter</i>
min	<i>Minute</i>
mm	<i>Millimeter</i>
Nr	<i>Nummer</i>
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit Nephelometrischer Trübungswert</i>
Ø	<i>Durchmesser</i>
SiO ₂	<i>Siliciumdioxid</i>
Tab	<i>Tabelle</i>
TrinkwV	<i>Trinkwasserverordnung</i>
UV	<i>Ultraviolettstrahlung</i>
z.B	<i>zum Beispiel</i>
Zoll	<i>Längeneinheit</i>

1. Einleitung

Unser blauer Planet ist zwar zu rund 70 Prozent von Wasser bedeckt. Aber nur ganze drei Prozent davon entfallen auf Süßwasservorräte – von denen mehr als zwei Drittel in gefrorener Form an den beiden Polkappen gebunden sind.

Der Wasserbedarf der Menschheit ist in den vergangenen Jahrzehnten drastisch gestiegen. Ein Grund dafür ist das Bevölkerungswachstum. Allein seit 50 Jahren hat sich die weltweite Wasserentnahme verdreifacht. Zudem fließen weltweit rund 80 Prozent des städtischen Abwassers unbehandelt in Flüsse, Seen oder ins Meer.

Sauberes Trinkwasser ist seit drei Jahren ein UN-Menschenrecht, doch noch immer haben rund 900 Millionen Menschen weltweit keinen Zugang dazu. Für rund 2,5 Milliarden Menschen gibt es nach UN-Angaben auch keine sanitären Anlagen.

Um auf die Bedeutung der Ressource Wasser aufmerksam zu machen, haben die Vereinten Nationen 1993 den Weltwassertag ausgerufen, er fällt immer auf den 22. März. Doch noch immer ist Wasser in vielen Ländern rar, und vielerorts ist die Situation dramatisch. „Millionen Kinder haben keine andere Wahl, als verschmutztes Wasser zu trinken – obwohl sie wissen, dass sie davon krank werden können“, sagte Model und Unicef-Botschafterin Eva Padberg. Sauberes Wasser und Hygiene sind gerade für Kinder eine Frage von Leben und Tod.

Nach Unicef-Angaben sterben jeden Tag rund 2000 Kinder unter fünf Jahren an Durchfallerkrankungen, die fast immer durch schmutziges Trinkwasser, schwache Hygiene und fehlende Sanitäreinrichtungen verursacht werden. 99 Prozent dieser Todesfälle entfallen laut dem UN-Kinderhilfswerk auf Entwicklungsländer, vor allem auf Afrika und Südasien.

Babys und Kleinkinder sind mit ihrem noch schwachen Immunsystem besonders bedroht. Sauberes Trinkwasser und schon das Händewaschen könnte sie vor gefährlichen Krankheiten wie Lungenentzündung oder Parasiten schützen.

Verständigung über Grenzen hinweg tut auch not, wie der Blick auf trockene und politisch labile Regionen zeigt. Längs des Jordan stehen heute Armeeposten. Ansprüche melden Israel, Jordanien und Palästina an – nur ein Beispiel, wie umstritten der Zugang zu Wasser in manchen Regionen bereits ist.¹

Die kostbarste Ressource des Planeten ist unter Druck, denn ohne Wasser kein Leben. Je aufwändiger Abwasser gereinigt und Nutzwasser aufbereitet werden muss, desto höher sind die Energien- und Ressourcenverbräuche. Je knapper die Ressource, desto größer ist die Notwendigkeit das gebrauchte Wasser wieder zu recyceln.

Deutschland gehört zu den Ländern, die mit einem Überangebot an Wasser gesegnet sind. Laut Umweltbundesamt ist die Ressource um das 7-fache mehr vorhanden, als die Bevölkerung verbrauchen kann. Doch auch bei uns gibt es Probleme; es ist nicht die Menge, sondern die Qualität. Im Herbst 2016 hat die EU-

¹ Der brutale Wettlauf um die Trinkwasserquellen (Springer, 2013)

Kommission beim europäischen Gerichtshof gegen Deutschland wegen zu hoher Nitratbelastung im Grundwasser geklagt.²

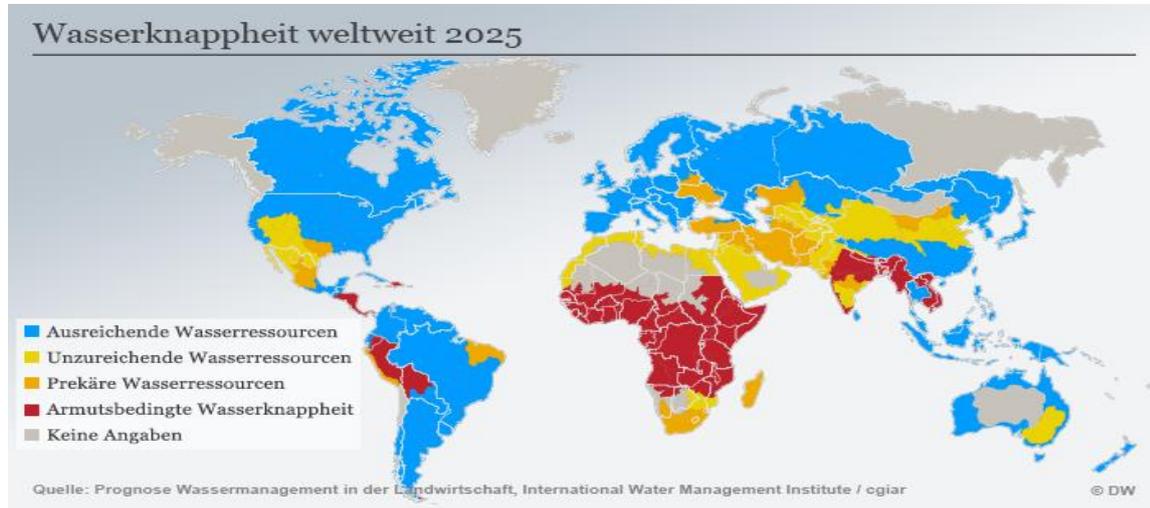


Abb. 1 Wasserknappheit 2025³

In Entwicklungsländern gibt es keine flächendeckende staatliche Trinkwasserversorgung. Die Menschen sind bei der Gewinnung von Trinkwasser häufig auf sich selbst angewiesen. Ein einfacher Filter aus verfügbarem Material könnte den Menschen in Entwicklungsländern, denen nur wenige finanzielle Mittel zur Verfügung stehen, zur Reinigung von Brunnen-, Regen-, Oberflächen-, und Grundwasser dienen.

In diesem Zusammenhang wird in dieser Bachelor-Thesis eine einfache Methode zur Filtrierung von Rohwasser untersucht.

Insbesondere wird untersucht, wie eine kostengünstige Filtrierungsanlage mit leicht verfügbaren Materialien am effektivsten einzusetzen ist. Zudem wird die Rückspülung als Reinigungsmethode für die Filtrierungsanlage untersucht.

² Wasser in Entwicklungsländern bzw. Deutschland (Jeppesen, 2018)

³ mögliche zukünftige Wasserknappheit weltweit im Jahr 2025 (Jeppesen, 2018)

2. Trinkwasser

2.1 Allgemeines

Als Trinkwasser bezeichnet man das Wasser, welches zum Trinken und Kochen, zur Körperpflege und Reinigung genutzt wird. Es ist Süßwasser mit einem hohen Reinigungsgrad, welches nach definierten Güteanforderungen eingestuft wird.

Trinkwasser darf nur geringe Organismen oder Stoffe enthalten, die in gewisse Grenzwertfestlegungen eingestuft wurden. Keine Toleranz gibt es für krankheitserregende Mikroorganismen, anderes bei Mineralstoffen die eine gewisse Mindestkonzentration enthalten sollen.

In Deutschland wird nach der DIN 2000, den gesetzlichen Grundlagen der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) und in der Allgemeinen Verordnung mit Wasser (AVBWasserV) die Güteanforderungen festlegt.⁴

2.2 Trinkwasseraufbereitung

Mittels biologischer, chemischer und physikalischer Aufbereitung wird das Trinkwasser aus Grund- oder Oberflächenwasser gereinigt.

Die Art der Aufbereitung hängt von der Güte des Rohwassers ab und richtet sich nach den enthaltenden Stoffen. Insbesondere die Verfahren zur Filtrierung, Enteisung, Entmanganung, Entsäuerung, Entgasung, Entcarbonisierung und Desinfektion werden häufig angewendet.

In der folgenden Tabelle sind einige Prozesse mit der jeweiligen Anlagenkomponente und dem Zweck aufgeführt.⁵

⁴ Allgemeines zu Trinkwasser (Wikipedia, 2018)

⁵ Die Trinkwasseraufbereitung und dazugehörige Prozesse (Wikipedia, 2018)

Prozess	Anlagenkomponente	Zweck
Desinfektion	Sonderbecken, Zugabe in das Rohrnetz	Zugabe von Chlor, Chlordioxid oder Ozon (früher teilweise auch Iod), UV-Bestrahlung oder Ultrafiltration
Dosierung	Dosieranlagen für Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase	Zugabe von Chemikalien zur gezielten Beeinflussung der Wasserbeschaffenheit, z. B. der Ablagerungstendenz oder Korrosionsneigung
Entcarbonisierung	Entkarbonisierungsanlage	Reduzierung der temporären Härte zur Verminderung der Abscheidung von Calciumcarbonat auf Oberflächen der Rohrleitungen und Wärmeaustauscher
Enthärtung	Enthärtungsanlage, Nanofiltration Niederdruckumkehrosiose	Entfernung von Calcium- und Magnesiumionen (Ca^{2+} und Mg^{2+} ; Bei der Nanofiltration eingeschränkt)
Entsäuerung	Entsäuerungsanlage	Entfernung der aggressiven Kohlensäure. Dient der Vermeidung von Korrosion im Rohrnetz.
Filtration	Filter, Sandfilter, Kerzenfilter, Anschwemmfilter, Mikrofiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration	Entfernung von Schwebstoffen (Partikeln) u. a. Eisen oder Mangan
Oxidation	Belüftungsanlagen und Kiesfilter	Entfernung von gelösten Eisen- und Manganionen (Enteisenung und Entmanganung). Das oxidierte Eisen- und Mangan lagert sich am Kies an und wird durch Rückspülen der Filter wieder entfernt.
Sedimentation	Sandfang, Absetzbecken	Partikuläre Stoffe, Flocken aus der Flokkulation
Siebung	Rechen, Trommelsieb, Mikrosieb	Entfernung von größeren Feststoffen und Schwimmstoffen

Tab. 1 Prozesse zur Trinkwasseraufbereitung⁶

⁶ Tab.1 Trinkwasseraufbereitung (Tabelle, 2018)

2.3 Kiesfilter

Der Reinigungsvorgang durch einen Kiesfilter gehört zu den mechanischen Trennverfahren und wird Filtration genannt. Die Reinigung wird in Behältern durchgeführt, die als Filtermaterial Kies enthalten. Sie wird sowohl unter Druck als auch in atmosphärischen, offenen Behältern durchgeführt.

Zwei unterschiedliche Bauweisen werden für den Kiesfilter eingesetzt. Einmal der drucklose Filter, der nur den erzeugten Druck über einen Höhenunterschied zwischen Rohwasser und Reinwasser nutzt. Zum anderen die Druckfilter, die mithilfe von Pumpen und meist einem geschlossenen Stahlbehälter, mit einem erzeugten Druck Wasser durch das Filtermedium drückt.

Der verwendete Filterkies zur Trinkwasseraufbereitung muss gewisse Anforderungen erfüllen. Sie sind in Deutschland nach der DIN EN 12904⁷ „Produkt zur Aufbereitung von Wasser für menschliche Gebrauch von Quarzsand- Quarzkies“ aufgeführt.⁸

Unter anderem sind folgende Vorgaben aufgeführt:

- zu wählende Körnung für die Stütz-Filterschichten
- zulässige Porenvolumen mit 25 % bis 35%
- weitgehend frei von Ton, Kalk, Glimmer (zusammen <4%), Quarzanteil um 96%
- möglichst glatte Kornoberfläche
- Begrenzung des Anteiles an Über-, Unterkorn

⁷ Normung des Filterquarzes (Berendt, 2016)

⁸ Allgemeine Erklärung zur Filtration (Wikipedia, 2018)

2.4 Typische Trübungswerte

Medium	Trübungswert (NTU)
Sauberstes Wasser	0,016
Trinkwasser (im Wasserwerk gemessen)	0,05–0,5
Trinkwasser (im Haushalt gemessen)	1–5
Abwasser	100–2.000
Kläranlagenablauf	0,5–10
Formazin	4.000
Milch (1,5 % Fett)	< 60.000
Milch (3,5 % Fett)	> 100.000

Tab. 2 typische Trübungswerte⁹

⁹ Tab.2 Vergleichstabelle für später gemessene Werte (Wikipedia, 2018)

3. Beispiel einer Pool-Sandfilteranlage mit Rückspülung

3.1 Funktionsweise der Sandfilteranlage

Der Poolfilter besteht aus 3 Hauptkomponenten: Pumpe, Filterkessel und Ventil. Das Herzstück dabei ist die Pumpe. Wie beim Menschen das Herz, hat sie die Aufgabe das Wasser in ständiger Bewegung zu halten.

Auf der Saugstelle saugt die Pumpe das Wasser an und über die Druckseite wird das Wasser in ein sogenanntes Mehr-Wege-Ventil weitergeleitet.

Das Wasser, welches nun im Filterkessel angekommen ist, wird durch das innenliegende Filtermedium gedrückt. Dort findet die eigentliche Filtrierung statt, je nach Körnung des Filtersands bleiben selbst die kleinsten Schmutzteilchen im Filtermedium hängen.

Nach der Filtrierung wird das Wasser wieder über das Mehr-Wege-Ventil in den Pool geleitet.¹⁰

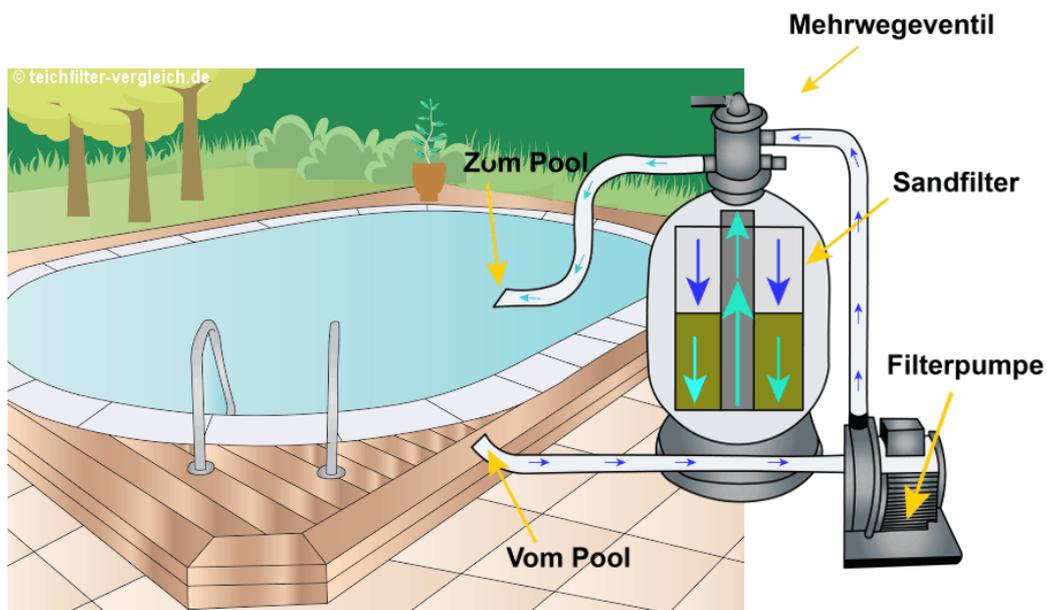


Abb. II Funktionsaufbau Poolfilter¹¹

¹⁰ Erklärung einer Pool-Sandfilteranlage mit Abb. dieser (Amrhein, 02.08.18)

¹¹ Funktionsaufbau Poolfilter (Haus-Gartentrends, 02.08.2018)

3.2 Filter Zyklus

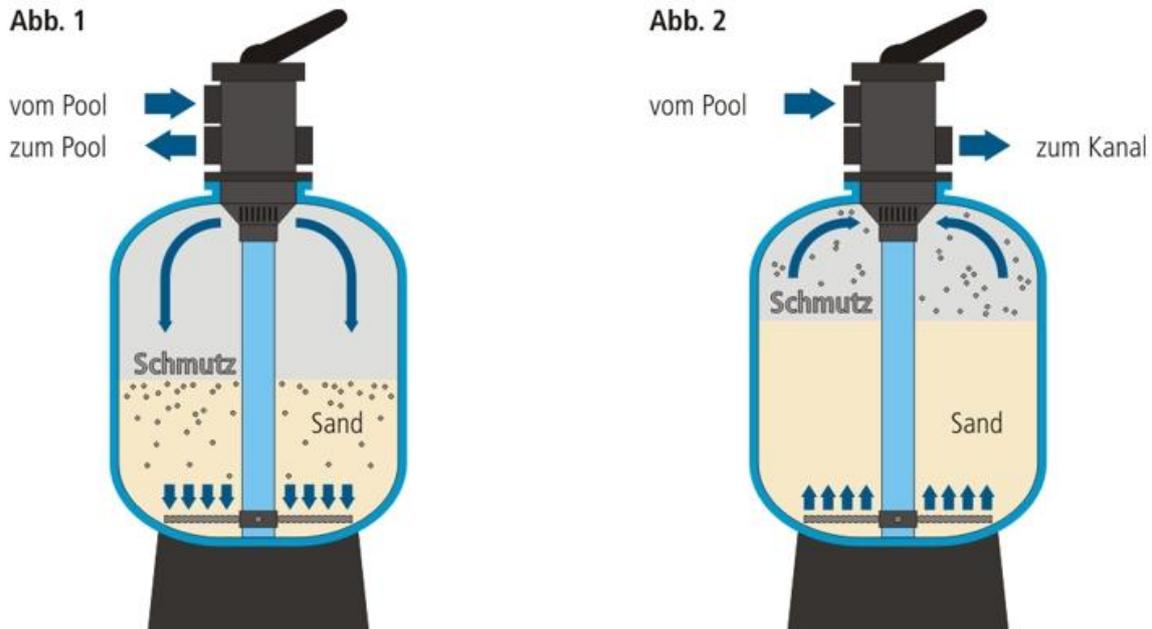


Abb. III Poolfilter und Poolfilter-Rückspülung

Wenn die Filterpumpe wie oben beschrieben das Wasser angesaugt hat, wird es in den Filterkessel geleitet. Dort sickert es durch die Filtersandschicht (Abb.1), ist es unten angekommen, drückt es sich über den Druck der Pumpe durch das mittige Rohr wieder nach oben in das Mehr-Wege-Ventil. Von dort aus gelangt es wieder sauber gefiltert in den Pool.

3.3 Rückspülung

Beim Rückspülen wird der Durchfluss des Wassers einfach umgekehrt. Der Eingang ist jetzt durch das mittig liegende Rohr; von dort wird das Poolwasser von unten nach oben durch den Sand gedrückt.

Dadurch wird das Filtermedium aufgewirbelt und der Schmutz, der sich mit der Zeit durch das Filtern ablagert, gelöst (Abb.2). Anschließend wird das schmutzige Wasser in den Kanal geleitet, dies geschieht wieder über das Mehr-Wege-Ventil.¹²

¹² Erläuterung Rückspülung (Amrhein, 02.08.18)

4. Materialgrundlagen für den Filter

4.1 Steinbruch

Bei einer zum Abbau genehmigten Lagerstätte beginnt der Abbau zunächst durch Sprengung. Im Anschluss daran wird das gesprengte Material zur Aufbereitungsanlage transportiert, in der der Grundstoff mittels Brecher und Mühlen zerkleinert wird.

Über Siebe werden nun die einzelnen Klassen sortiert.

Die Endprodukte sind mit kleinen Ausnahmen Baustoffe die in Brechsand, Splitt, Schotter, Gleitschotter und Wasserbausteine klassifiziert werden.¹³

4.2 Splitt

Splitt ist eine grobe Gesteinskörnung mit der Korngröße 2-32 mm.

Edelsplitt wird extra klassifiziert und hat die Korngröße 2-8 mm. Er wird aus Granit, Basalt und Quarz gewonnen.

Natürliche Rundsteine dieser Größe nennt man Rollierung.¹⁴

4.3 Schotter

Im Bauwesen bezeichnet man Schotter als kantige, gebrochene Mineralstoffe mit der Korngröße von 32-63 mm. Meist verwendet im Verkehrswegebau.

Es handelt sich um gebrochenen Abfall aus Steinbrüchen oder in Brechmaschinen hergestellte Gesteinsstücke. Größere Gesteinskörnungen nennt man Schroppen.¹⁵

4.4 Rheinkies

Die Bezeichnung Rheinkies bezieht sich auf das Herkunftsgebiet des Kieses, das am Fluss Rhein ist.¹⁶

Die Größe des Kieses wird nach DIN 4022 bestimmt. Es sind gerundete Gesteins-Mineralkörner, die einen Korndurchmesser von 2-63 mm aufweisen. Die umgangssprachlich „Kieselsteine“ genannten Körner sind von der Korngröße Grob-,

¹³ Herstellung im Steinbruch (Wikipedia, 2018)

¹⁴ Definition von Splitt (Wikipedia, 2016)

¹⁵ Definition von Schotter (Wikipedia, 2017)

¹⁶ Herkunftsgebiet (Baustoffe-liefen, 08.08.2018)

Mittelkies. Im bautechnischen Sinne ist Kies entsprechend der DIN 18196 und DIN EN ISO 14668-1 nach der Kornform definiert (rund, scharfkantig).

Die Form wird durch verschiedene Herstellungen gewonnen; rundes Kies ist meist natürlich entstanden, scharfkantiges ist künstlich (z.B. in einer Brechanlange) hergestellt worden.¹⁷

Kies (G/Gr)	Korngröße
Grobkies (gG/CGr)	20,0–63,0 mm
Mittelkies (mG/MGr)	6,3–20,0 mm
Feinkies (fG/FGr)	2,0–6,3 mm

Tab. 2.1¹⁸

4.5 Quarzsand

Er besteht fast nur aus Quarzkörnern. Quarz (SiO_2) ist ein Mineral. Sande sind Ablagerungen, die einen sehr langen Transportweg in Flüssen, Bächen und im Meer hinter sich haben, dabei werden weichere Mineralien zerrieben. Quarz ist sehr hart und abriebfest, daher bleiben am Ende des Transportes fast nur noch Quarzkörner übrig.

In Frechen bei Köln ist heute noch ein Quarzwerk. Bei der Entstehung dieses Werkes verlief vor 25 Millionen Jahren eine Küste durch Frechen, an der sich die Quarzsande als Strandsande ablagerten. Durch die Meeresströmungen wurden die Quarzkörner dabei nach ihrer Größe sortiert.

Diese Lagerstätte eignete sich perfekt für die Glasindustrie, da der Quarzsand kaum verunreinigt ist und die Korngrößen zwischen 0 und 10 mm aufweisen. Die minimale Verunreinigung entstand durch früher entstandene Moore, aus diesen sickerte sogenannte Huminsäure in die Quarzsande.

Dadurch löste sich im Sandgemisch fast alles, bis auf die Quarzkörner, auf. Somit weist Frechener Quarzsand über 99 % Reinheit auf. Aus dieser Lagerstätte wird der Quarzsand abgebaut und die verschiedenen Klassen gesiebt.

Jede Sandgrube weißt ihre eigene Zusammensetzung auf.¹⁹

¹⁷ Definition Rheinkies (Wikipedia, 2018)

¹⁸ Tabelle Kies Kategorien (Wikipedia, 2018)

¹⁹ Zusammensetzung und Herstellung von Quarzsand (Quarzwerke Frechen, 20.08.2018)

5. Materialliste der Versuchsgegenstände

- 2x Spannring Deckelfass mit jeweils 120 L, mit Gefahrentzugzulassung
- Regentonne (Auffangbecken) 300 L
- Gardena Gartenpumpe, Modell: Comfort 4000/5, Fördermenge 4000 l/h, Förderhöhe 45 m, Förderdruck 4,5 bar, Ansaughöhe 8 m
- PVC Schlauch; Ø innen: 16 mm; Wandstärke 2,5 mm; Länge 4 m
- 2x Geka Schnellkupplungen mit Außengewinde 26,5 mm (G $\frac{3}{4}$), aus Messing
- 2x Geka Schnellkupplungen, Messing Schlauchstück 13 mm ($\frac{1}{2}$ ")
- 1 Zoll Kugelhahn aus Messing, verchromt
- $\frac{1}{2}$ Zoll Kugel-Auslaufhahn aus Messing, vernickelt
- Renovo Sanitär-Silikon weiß
- Dichtungshanf
- Handelsüblichen 5 L Eimer
- Trübungsmessgerät Wagtech turbidity meter
- Trübungsmessgerät Aqua Lytic AL450T-IR



Abb. IV Trübungsmessgeräte

Links: Wagtech turbidity Rechts: Aqua Lytic

- Lehm²⁰



Abb. V der zerkleinerte, verwendete Lehm

- Frostschutz aus gebrochenem Naturstein 0/45

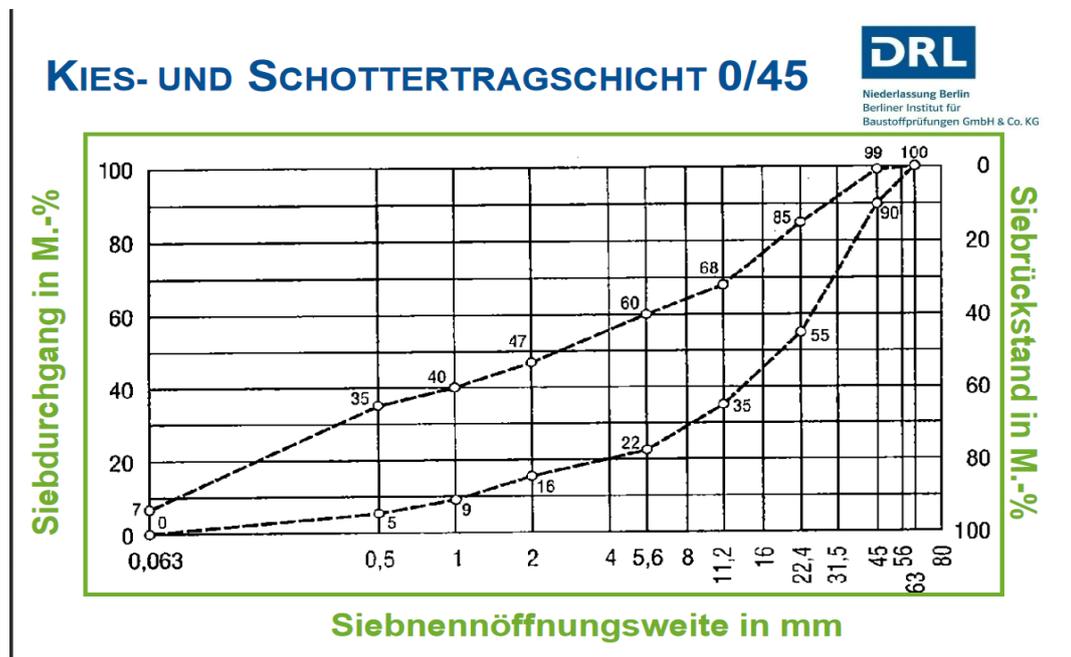


Abb. VI typische Sieblinie Kies-Schottertragschicht 0/45²¹

²⁰ Lehm abgetragen aus einer Baugrube im Ort Tawern/Fellerich

²¹ typische Sieblinie einer Frostschutzschicht 0/45 (DRL Berliner Institut für Baustoffprüfungen, 2010)

- Rheinkies 8/16 Mr.Garden 25kg

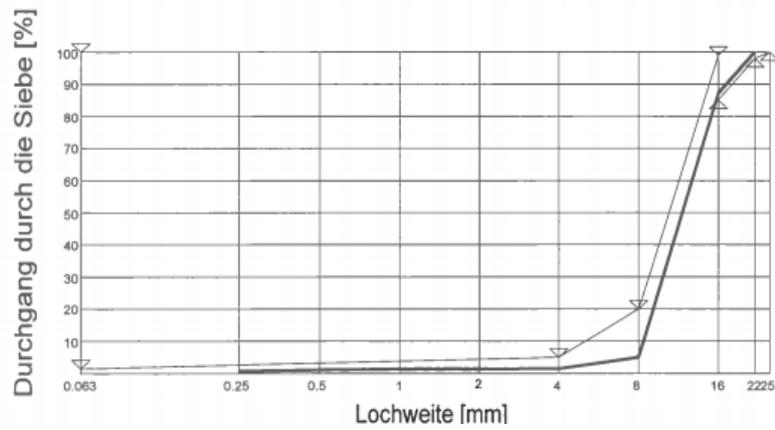


Abb. VII typische Sieblinie Rheinkies 8/16²²

- Mischsplitt 2/5 Mr.Garden 25 kg

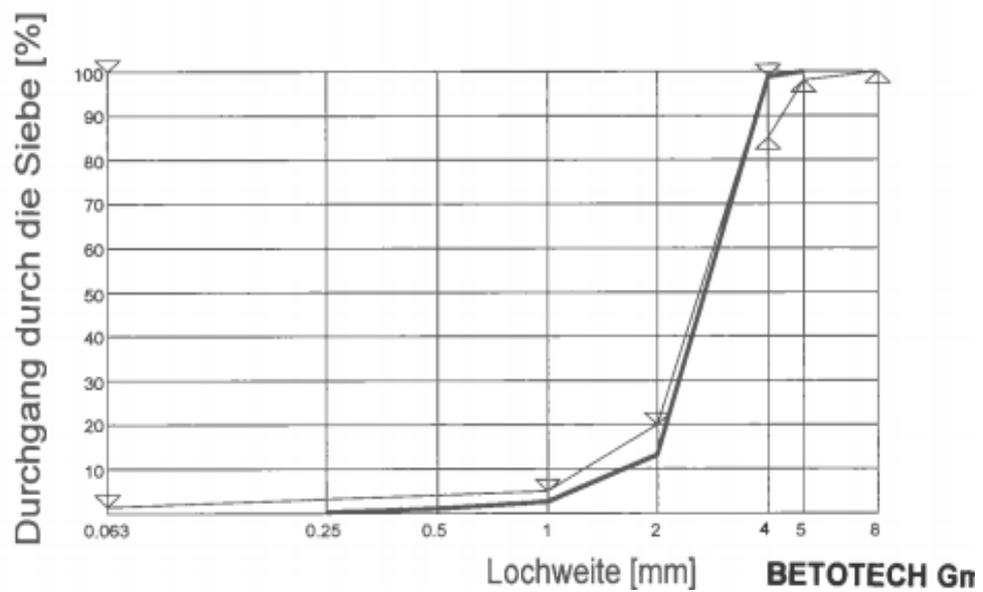


Abb. VIII typische Sieblinie Mischsplitt 2/5²³

²² typische Sieblinie eines Kiesel 8/16 (Beto tech Baustofftechnisches Labor, 2011)

²³ typische Sieblinie Mischsplitt 2/5 (Beto tech Baustofftechnisches Labor, 2011)

- Rheinsand, Quarzsand 0/1

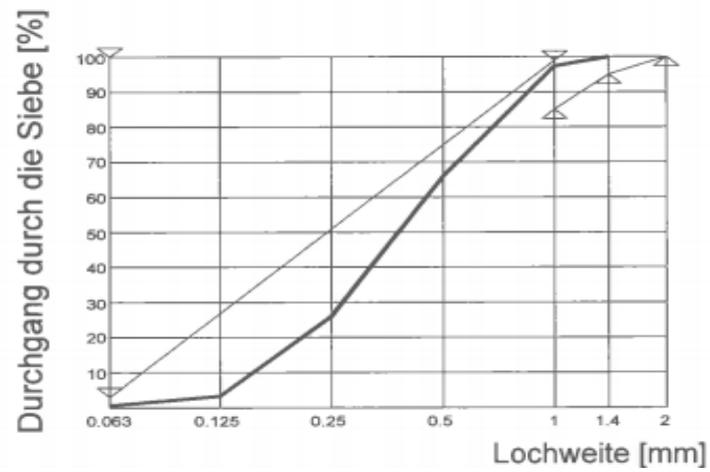


Abb. IX typische Sieblinie Quarzsand 0/1 ²⁴

²⁴ typische Sieblinie Quarzsand 0/1 (Beto tech Baustofftechnisches Labor, 2011)

6. Filter-Versuche

Wasser aus Quellen oder Brunnen in Afrika kann eine starke Trübung aufweisen, weil der verbreitete²⁵ Boden tonhaltig ist²⁶. Getrübtes Wasser wird zum einen als Trinkwasser von Menschen nicht gerne angenommen.

Zum anderen gelingt eine Entkeimung von getrübtem Wasser nicht. Ist das Wasser trüb, sollte zu Beginn der Aufbereitung daher die Filtration stehen.

Organische und anorganische Schadstoffe lassen sich mithilfe von Filtration zum Teil eliminieren. Da Trüb- und Schwebstoffe die zur Desinfektion eingesetzten Chemikalien adsorbieren²⁷ und so deren antibakterielle Wirkung verhindern können, ist klares Wasser die Grundvoraussetzung einer erfolgreichen chemischen Desinfektion.²⁸

Mit dem Ziel getrübtes Wasser zu klären, wurden im Folgenden mit sogenannten „low tech“ Möglichkeiten mehrere Filtrierungsmethoden getestet und dokumentiert.

Dazu wurden 5 verschiedene Versuche mit einer einfachen Sandfilteranlage durchgeführt.

²⁵ verbreiteter Boden in Afrika bzw. Entwicklungsländer (Stockmar, 2015)

²⁶ tonhaltiger Boden (>25% Ton) vergleichbar mit unserem lehmigen Boden (10-20% Ton) (Väderstad, abruf Datum 26.08.2018)

²⁷ anreichern von Stoffen aus Gasen oder Flüssigkeiten an der Oberfläche eines Festkörpers

²⁸ klares Wasser ist die Grundvoraussetzung einer Desinfektion (Heyn, 2009)

6.1 Versuchsaufbau Nr.1 Skizze

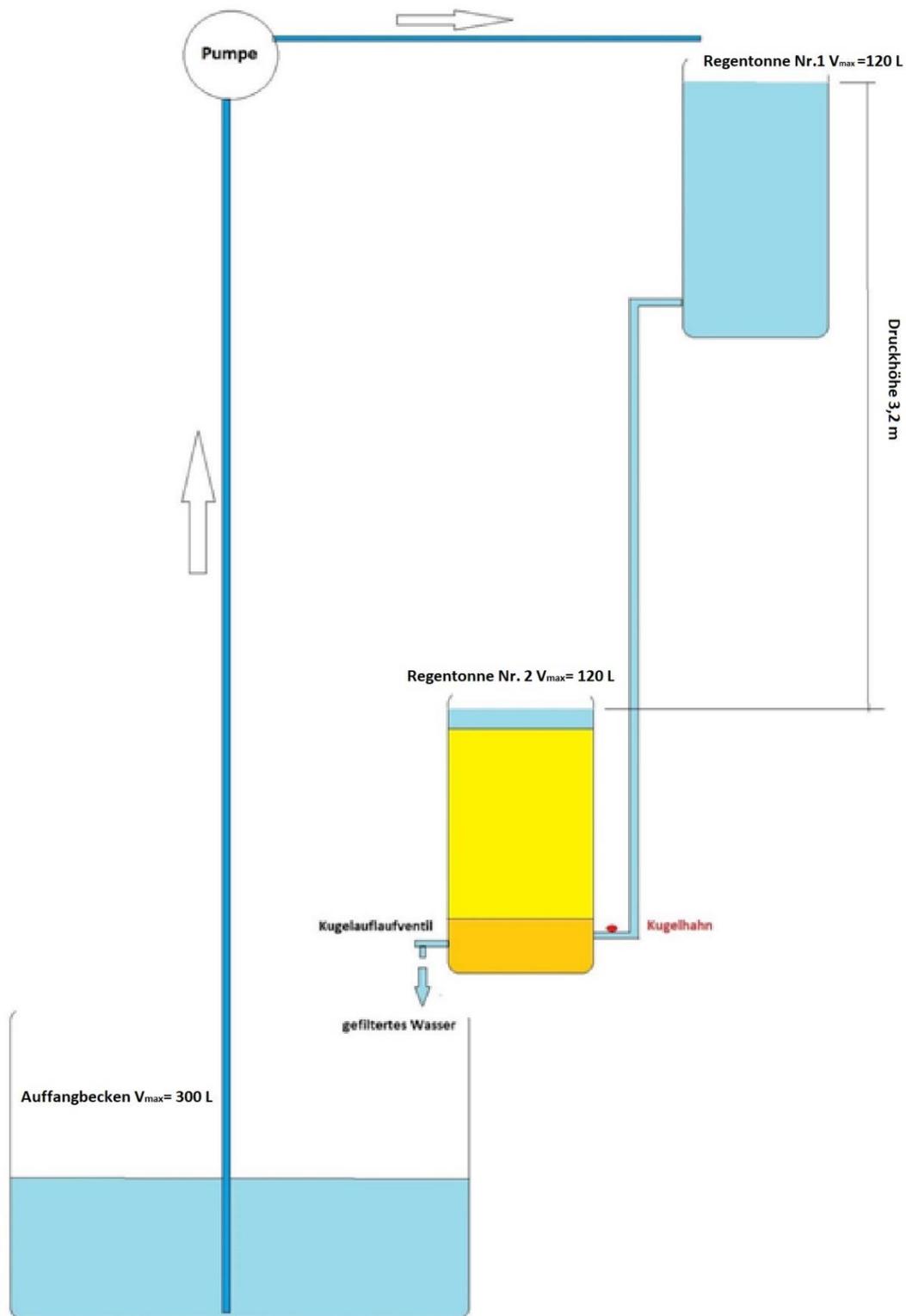


Abb. X Skizze Allgemeiner Versuchsaufbau Nr.1

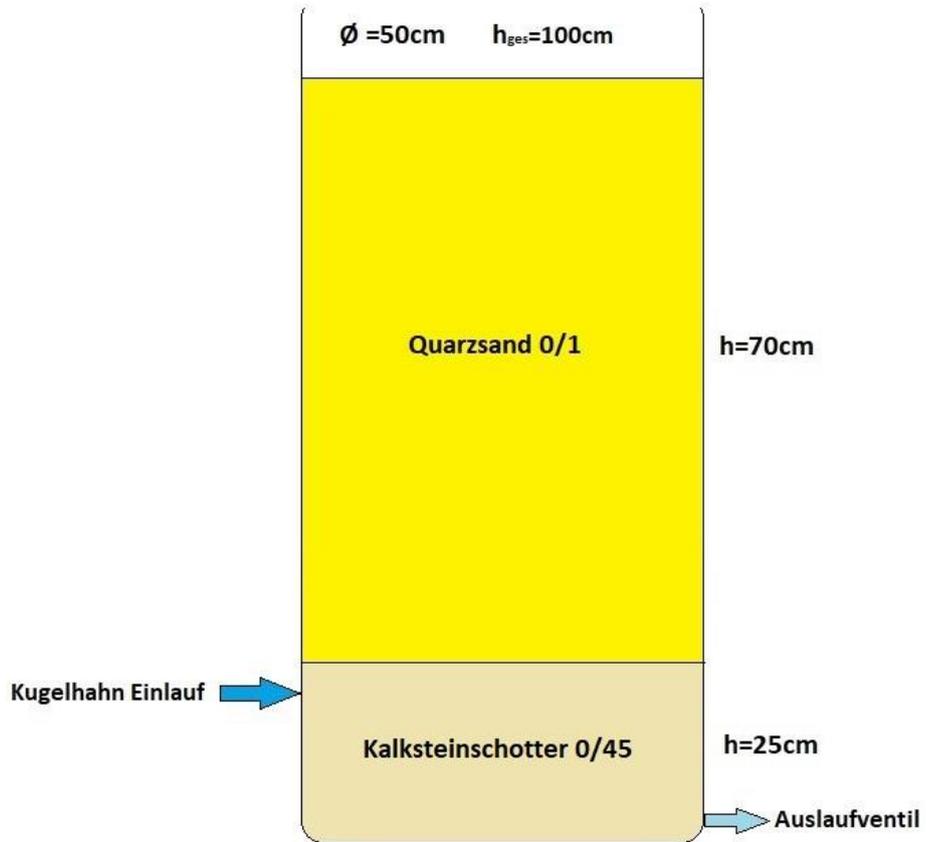


Abb. XI Skizze Filterschichten Versuch Nr. 1



Abb. XII Versuchsanlage

6.1.1 Versuchsbeschreibung

Zunächst wurde die in der Skizze mit Regentonne Nr. 2 (Tonne mit Filterschichten) bezeichnete Tonne vorbereitet.

Dazu wurden mit einem Bohrmaschinenaufsatz 2 Löcher mit 5 cm Durchmesser in eine ehemalige Futtertonne gebohrt. Das erste Loch wurde seitlich in 15 cm Abstand zum Boden der Tonne gebohrt. Dorthinein wurde ein Kugelhahn montiert. Eine Geka Schnellkupplung wurde an den Kugelhahn verschraubt.

Das zweite Loch wurde mit dem gleichen Bohrmaschinenaufsatz in 10 cm Abstand zum Boden der Tonne gebohrt. In dieses Loch wurde ein Kugelauslaufventil montiert.

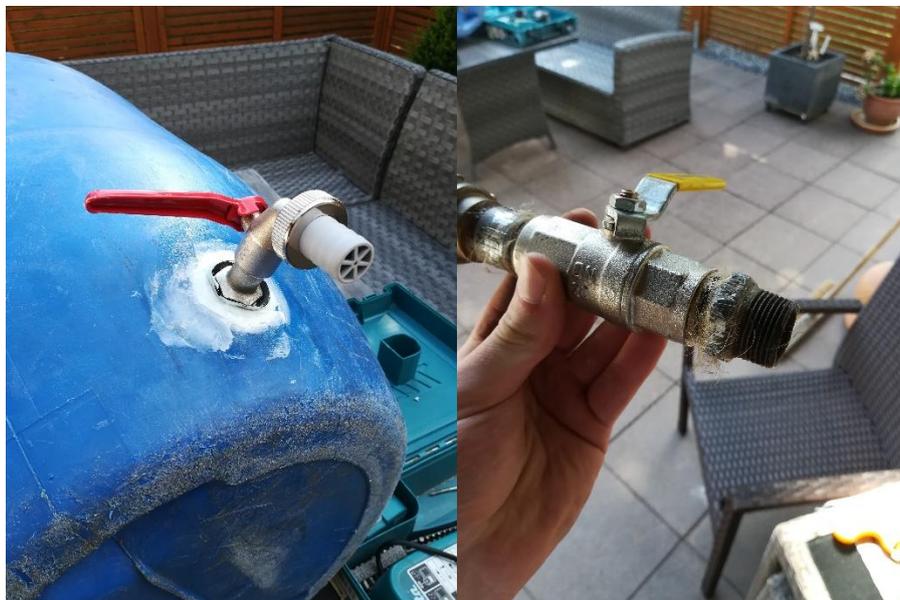


Abb. XIII Abdichtung der Regentonne und Verschraubungen

Die Gewindgänge der Verschraubung wurden mit Hanf umwickelt, um eine Dichte bei höheren Drücken zu gewährleisten. Außerdem wurden zwischen der Regentonne und den Ventilen Gummidichtungen eingebaut.

Auf Grund des langen Hebels und des hohen Eigengewichts des Kugelhahns, musste zu der Dichtung noch Silikon eingespritzt werden, um vollständige Dichtigkeit zu erreichen.

Anschließend wurde die Tonne Nr. 2 als Filtertonne unter dem Balkon eines Wohnhauses in 1 Meter Höhe zum Erdboden auf einem Holzaufbau aufgestellt.

Dann wurde die Filtertonne mit dem Kalksteinschotter, Gesteinskörnung 0/45, auf ca. 25 cm befüllt und mit einem Erdstampfer verdichtet.

Zudem wurde Quarzsand in 3 Etappen aufgeschüttet und nach jedem Aufschütten verdichtet, auf eine Höhe von ca. 70 cm.



Abb. XIV Schotter 0/45 und Quarzsand 0/1

Dann wurde die 300 Liter Regentonne neben der Filtertonne, unter dem Balkon, auf den Erdboden gestellt.

Anschließend wurde die Regentonne Nr. 1 auf dem Balkon, über der Tonne Nr. 2 (Filtertonne) aufgestellt. Es wurde auch in diese Tonne ein Loch gebohrt und eine Geka Schnellkupplung mit Außengewinde montiert.

Anschließend wurde ein durchsichtiger PVC-Schlauch auf beiden Seiten mit Geka Schnellkupplungen versehen und an die Geka Anschlüsse beider Tonnen angeschlossen. Der Höhenunterschied zwischen Oberkante Regentonne Nr. 1 und Oberkante Tonne Nr. 2 betrug 3,2 Meter.

Die im Materialverzeichnis benannte Gartenpumpe wurde neben die Tonne Nr. 1 auf den Balkon gestellt und in die unten befindliche 300 Liter-Regentonne wurde die Ansaugleitung der Pumpe gelegt.

6.1.2 Durchführung

In die Regentonne Nr.1 wurde mit Hilfe der Pumpe ca. 80 Liter Leitungswasser aus der 300 Liter Regentonne nach oben befördert. Aus der Tonne Nr. 1 lief das Wasser in die Tonne Nr. 2 unten hinein.

Auf Grund des Höhenunterschieds entstand ein Leitungsdruck, der genutzt werden konnte, um das Wasser in Tonne Nr. 2 steigen zu lassen.

Nachdem Tonne Nr. 2 gefüllt war, konnte über das Kugelauslaufventil das Wasser, welches durch 2 Schichten (Schotter, Sand) gesickert war, entnommen werden.

Da die Leitungen und Anschlüsse dicht waren, ging kein Druck bzw. kein Wasser verloren

6.1.3 Ergebnis

Nach dem Öffnen des Kugelauslaufventils an der Filtertonne ist die Quarzsandschicht mit dem Wasser ausgelaufen.

Eine große Menge Quarzsand wurde ausgespült. Ein Trinkwasserertrag war nicht möglich.

Nach der Durchführung dieses 1. Versuchs waren Messungen unrealisierbar, da das Leitungswasser den Quarzsand durch die Schottererschicht durchgezogen hat.

Ursache dafür war möglicherweise, dass die Schottererschicht zu grob war und deshalb das Wasser den feinen Quarzsand transportiert hat.

Beim Abladen könnte das Grobkorn nach unten gerutscht und nicht mehr im genormten Zustand gewesen sein. Dieses untenliegende, gröbere Korn wurde möglicherweise ausschließlich in die Tonne eingefüllt.

Ein neuer Versuchsaufbau war erforderlich.



Abb. XV Ergebnis des durchlässigen Kalksteinschotters

6.2 Versuchsaufbau Nr. 2 Skizze

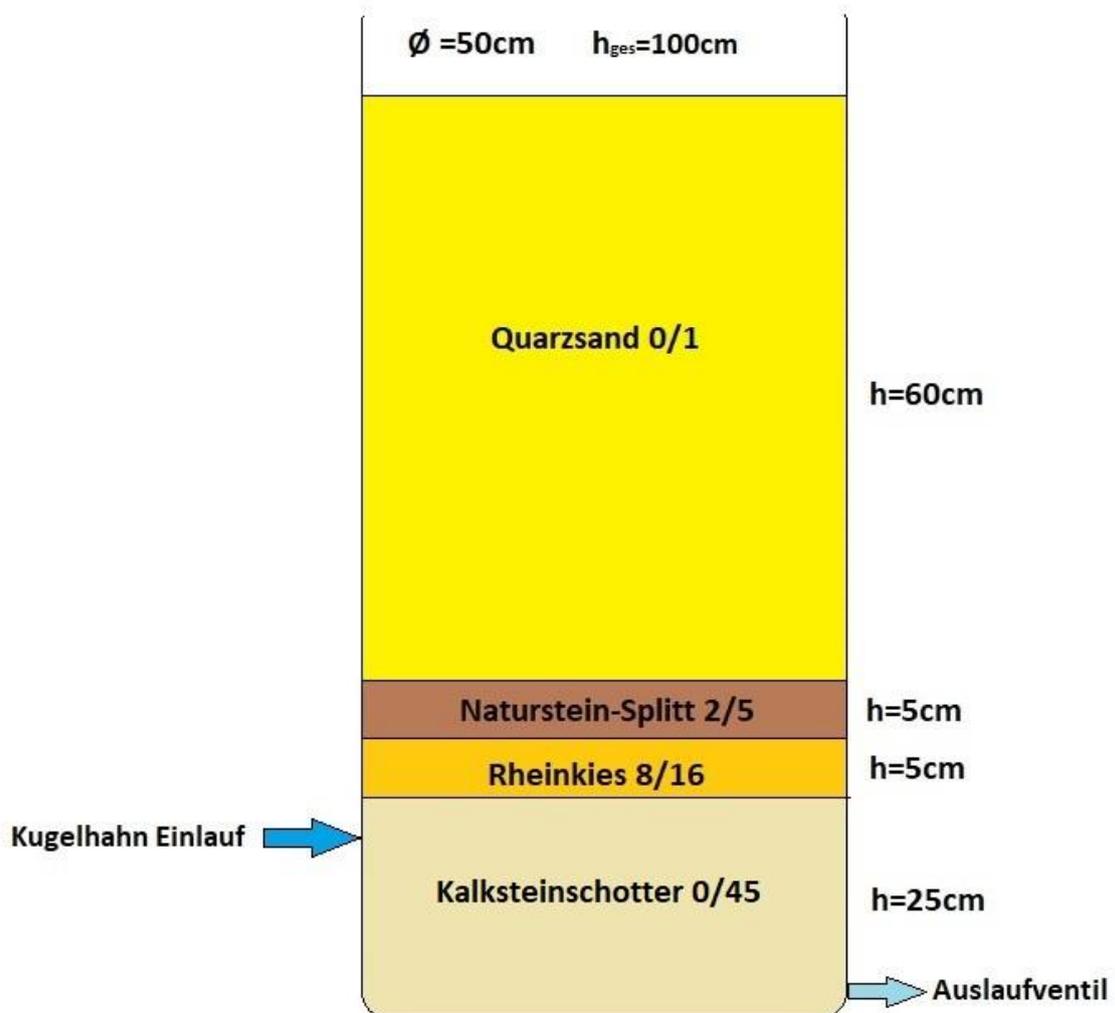


Abb. XVI Skizze Filterschichten Versuch Nr.2

6.2.1 Versuchsbeschreibung

Um das Auslaufen des Quarzsandes jetzt zu verhindern, wurde der Filteraufbau dahingehend verändert, dass eine Kies-, und eine Splittschicht in die Filtertonne gefüllt worden ist.

Die Filtertonne (Tonne Nr. 2) wurde zuerst mit einer Kalksteinschotterschicht, Körnung 0/45 mm, gefüllt und verdichtet auf eine Höhe von 20 cm. Dabei wurde der Schotter zunächst vermischt um eine Homogenität herbeizuführen.

Der Rheinkies, mit der Körnung 8/16 mm wurde darauf gefüllt und verdichtet auf eine Höhe von 10 cm. Als nächstes wurde noch Naturstein-Splitt mit der Körnung 2/5 mm aufgetragen und verdichtet auf eine Höhe von 5 cm. Zuletzt wurde Quarzsand mit der Körnung 0/1 mm in drei Etappen aufgeschüttet und verdichtet auf eine Höhe von 65 cm.



Abb. XVII Filterschichten Schotter 0/45 Kies 8/16 Splitt 2/5

6.2.2 Durchführung

Zunächst wurden etwa 80 l Leitungswasser in die 3,2 m höher liegende Tonne gepumpt.

Danach wurde der Kugelhahn geöffnet und es lief Wasser von Tonne Nr.1 in die Filtertonne.

Sobald die Filtertonne mit ca. 30 l Wasser vollgelaufen war, wurde der Kugelhahn an Tonne Nr. 1 wieder geschlossen.

Dann wurde das Auslaufventil an der Filtertonne geöffnet und die Messungen der Trübheitswerte konnten ca. im 2 min Takt vorgenommen werden. Ein Durchlauf dauerte dabei ca. 15 bis 20 min.

Nach 11-maligen Füllen der Filtertonne war der Versuchsaufbau bereit für den Praxistest mit dem Wasser/Lehm Gemisch.

Hierzu wurde getrockneter Lehm aus einer Baugrube besorgt. Im ersten Durchlauf wurden die 80 l Wasser in Tonne Nr. 1 mit ca. 2,5 dm³ Lehm versetzt. Daraus folgte eine gemessene Trübheit von ca. 310 NTU; in den nächsten Versuchen wurde der Lehmanteil auf ca. 5 dm³ verdoppelt und das Wasser erreichte eine Trübheit von +- 900 NTU.

Der Lehm wurde dabei immer wieder aufgerührt, da er sich von Versuch zu Versuch immer wieder am Boden abgesetzt hat.

Bei einem Durchlauf wurde die Literzahl des auslaufenden Wassers unter einem Wert von 30 NTU und über 30 NTU gemessen. Die Wassermenge unter einem Wert von 30 NTU betrug nur ca. 5 l, die Wassermenge über einem Wert von 30 NTU betrug ca. 25 l.

Zum Schluss eines Durchlaufs war das Wasser nur noch aus dem Kugelauslaufventil getropft. Die Auslaufgeschwindigkeit war auf Grund des fehlenden Wasserdrucks (29-90 NTU) sehr niedrig geworden. Die Werte verschlechterten sich zum Ende jeden Durchlaufs.

6.2.3 Messwerte

Wasserart	vor der Filtrierung Messwert [NTU]	nach der Filtrierung Messwert [NTU]
Leitungswasser	0,13	55; 45; 25; 21
Leitungswasser	0,13	51; 67; 60; 42; 35; 28; 18; 14
Leitungswasser	0,13	28; 47; 37; 26; 19; 12; 7
Leitungswasser	0,13	26; 23; 28; 24; 18; 14; 11
Leitungswasser	0,13	14; 18; 24; 21; 14; 20
Leitungswasser	0,13	17; 25; 27; 43; 46; 40
Leitungswasser	0,13	22; 40; 28; 23; 42; 42; 35;
Leitungswasser	0,13	22; 40; 28; 23; 42; 35
Leitungswasser	0,13	28; 20; 22; 41; 37
Leitungswasser	0,13	27; 59; 36; 18; 10; 10
Leitungswasser	0,13	21; 17; 15; 7; 11; 17; 21

Tab. 3 Messwerte Versuch Nr.2

Wasserart	vor der Filtrierung Messwert [NTU]	nach der Filtrierung Messwert [NTU]
Leitungswasser mit Lehm	310	165; 102; 77; 50; 17; 11; 17; 29; 33
Leitungswasser mit Lehm	310	77; 70; 58; 38; 13; 7; 3; 22; 36
Leitungswasser mit Lehm	986	961; 550; 290; 80; 41; 25; 35; 94; 86
Leitungswasser mit Lehm	986	881; 280; 200; 70; 29; 45; 51; 40
Leitungswasser mit Lehm	945	670; 330; 81; 40; 50; 87; 115
Leitungswasser mit Lehm	945	354; 290; 140; 61; 31; 20; 17; 19; 87
Leitungswasser mit Lehm	563	433; 352; 266; 139; 46; 24; 25; 45; 86
Leitungswasser mit Lehm	563	327; 253; 152; 85; 44; 22; 20; 16; 24; 45
Leitungswasser mit Lehm	995	617; 316; 325; 240; 160; 81; 35; 21; 18; 11; 48

Tab. 4 Messwerte Versuch Nr.2

6.2.4 Ergebnis

Die Resultate nach den ersten 3 Messungen mit reinem Leitungswasser sahen wie folgt aus:

Ganz zu Anfang waren die Messergebnisse recht schlecht, wahrscheinlich weil der Schotter ungewaschen war. Er wies große Mengen an Schmutz auf, welche nach den ersten 3 Versuchen ausgespült worden sind.

Dennoch passen die Ergebnisse ins Muster, weil die anfänglich recht hohen Werte sich nach und nach verkleinerten.

Allerdings wurde das Leitungswasser, welches einen Trübheitswert von 0,13 NTU aufwies, wesentlich verschlechtert.

Erst nach dem 4. Durchlauf wurden Werte von unter 10 NTU gemessen. Dabei war keine richtige Struktur zu erkennen, denn die Werte stiegen und fielen von 7-59 NTU.

Ein Durchlauf dauerte ca. 20 min und verschlechterte das eingehende Wasser. Optisch sind aber Werte unter 30 NTU recht klar; über 30 ist eine Trübheit visuell zu erkennen.

Die anschließend Filtrierung des Wasser/Lehm Gemischs brachte Messergebnisse mit einem eindeutigen Muster. Von Minute zu Minute wurden die Wasserproben immer klarer.

Die ersten Trübungswerte waren höchst wahrscheinlich immer hoch, weil das Wasser nur durch den Schotter/Kies/Splitt Bereich der Filtertonne geflossen ist (961-100 NTU). Dies folgt daraus, dass das Einlassventil im unterem Drittel montiert worden ist. Das Wasser floss zum Teil nach dem Einlassen direkt wieder heraus.

Mit zunehmender Zeit hat das Wasser einen immer größer werdenden Weg durch den Quarzsand zurückgelegt und die Werte wurden immer besser (100-3 NTU).

Jedoch verschlechterten sich die Werte am Ende jeden Durchlaufs nochmal ein bisschen, möglicherweise auf Grund des geringer werdenden Wasserdrucks.

Der einmalig gemessene Ertrag an brauchbarem Wasser unter 30 NTU war jedoch gering. Nur ca. 17 % (5 l von 30 l) des gefilterten Wassers waren in Ordnung.

Immerhin konnten Messwerte von bis zu 3 NTU erzielt werden.

6.3 Versuchsaufbau Nr. 3 Skizze

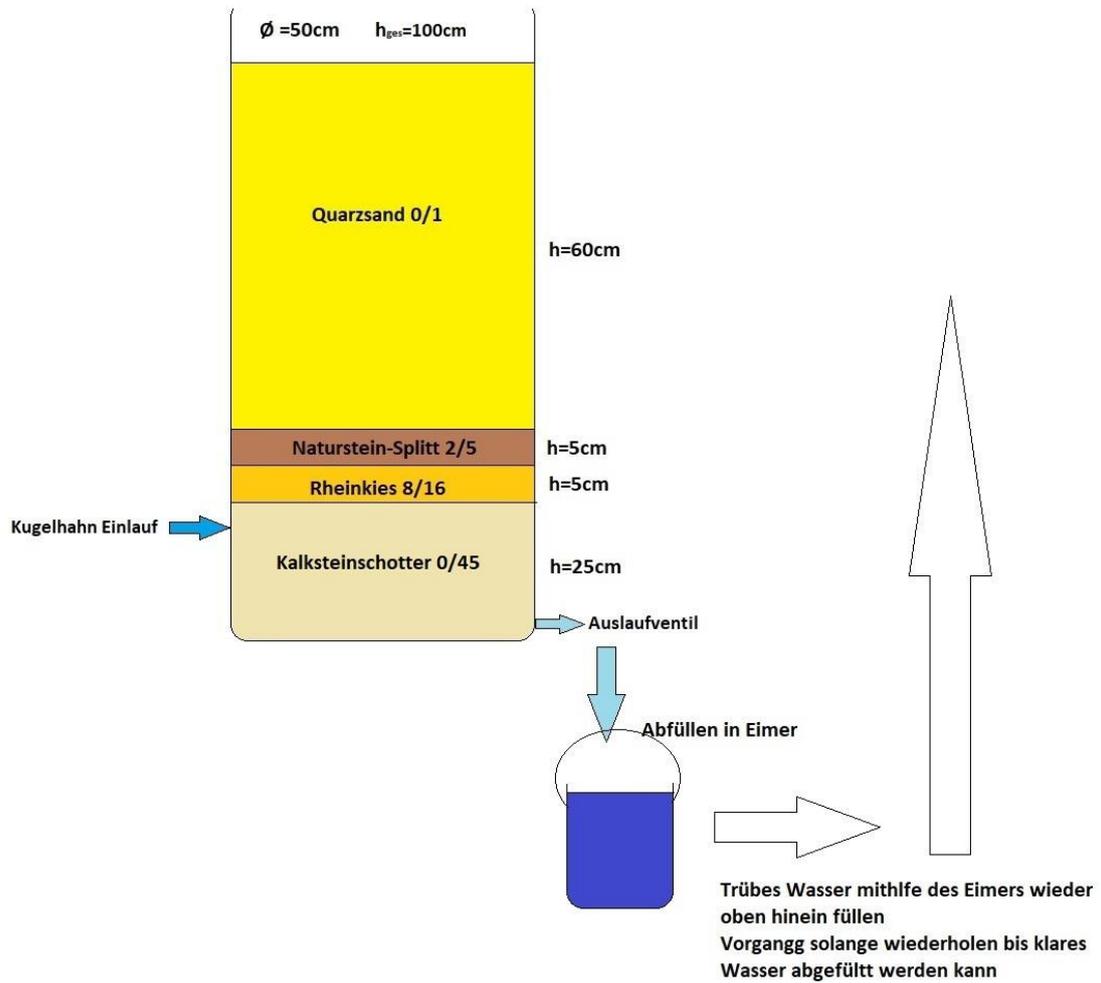


Abb. XVIII Skizze Versuchsaufbau Nr.3

6.3.1 Versuchsbeschreibung

Um den Ertrag von klarem Wasser unter 30 NTU zu erhöhen, wurde das gefilterte Wasser mit den Werten >30 NTU immer wieder in die Filtertonne geschüttet. Es wurde also solange gefiltert, bis ein Wert unter 30 NTU erreicht worden ist.

6.3.2 Durchführung

Der Filteraufbau aus Versuch Nr. 2 wurde beibehalten.

Um den Ertrag von klarem Wasser unter 30 NTU zu erhöhen, wurde das anfangs gefilterte Wasser mit den Werten >30 NTU in einen 5 l Eimer laufen gelassen.

Dieser wurde 5 Mal wieder oben auf den Quarzsand draufgekippt, somit konnte das Wasser/Lehm Gemisch immer wieder durch den ganzen Filteraufbau fließen. Dieser Vorgang nahm 30 bis 40 min in Anspruch.

Sobald der gewünschte Wert mit 24 NTU erreicht worden ist, wurde das gefilterte Wasser in Kanister abgefüllt und festgestellt, wie viel Liter gereinigtes Wasser erzeugt werden können.

Am Ende konnten 30 l Wasser gereinigt werden.

6.3.3 Messwerte

Wasserart	vor der Filtrierung Messwert [NTU]	nach der Filtrierung Messwert [NTU]
Leitungswasser mit Lehm	995	711; 517; 201; 94; 36
Trübes Wasser wieder aufgekippt	711-24	24; 14; 11; 7; 4; 10; 70

Tab. 5 Messwerte Versuch Nr.3

6.3.4 Ergebnis

Die Messergebnisse waren zunächst hoch und wurden immer niedriger. Es hat sich jedoch gezeigt, dass ca. 30 l klares Wasser in ca. 30 bis 40 min erzeugt werden konnte.

Am Ende ließ sich das gesamte Wasser klären. Es konnte 100 % der Wassermenge geklärt werden.

Der Ertrag konnte mit hohem Zeitaufwand optimiert werden.



Abb. XIX Trinkwasser Ertrag: links Versuch Nr.3; rechts Versuch Nr.2

6.4 Versuchsaufbau Nr. 4 Skizze

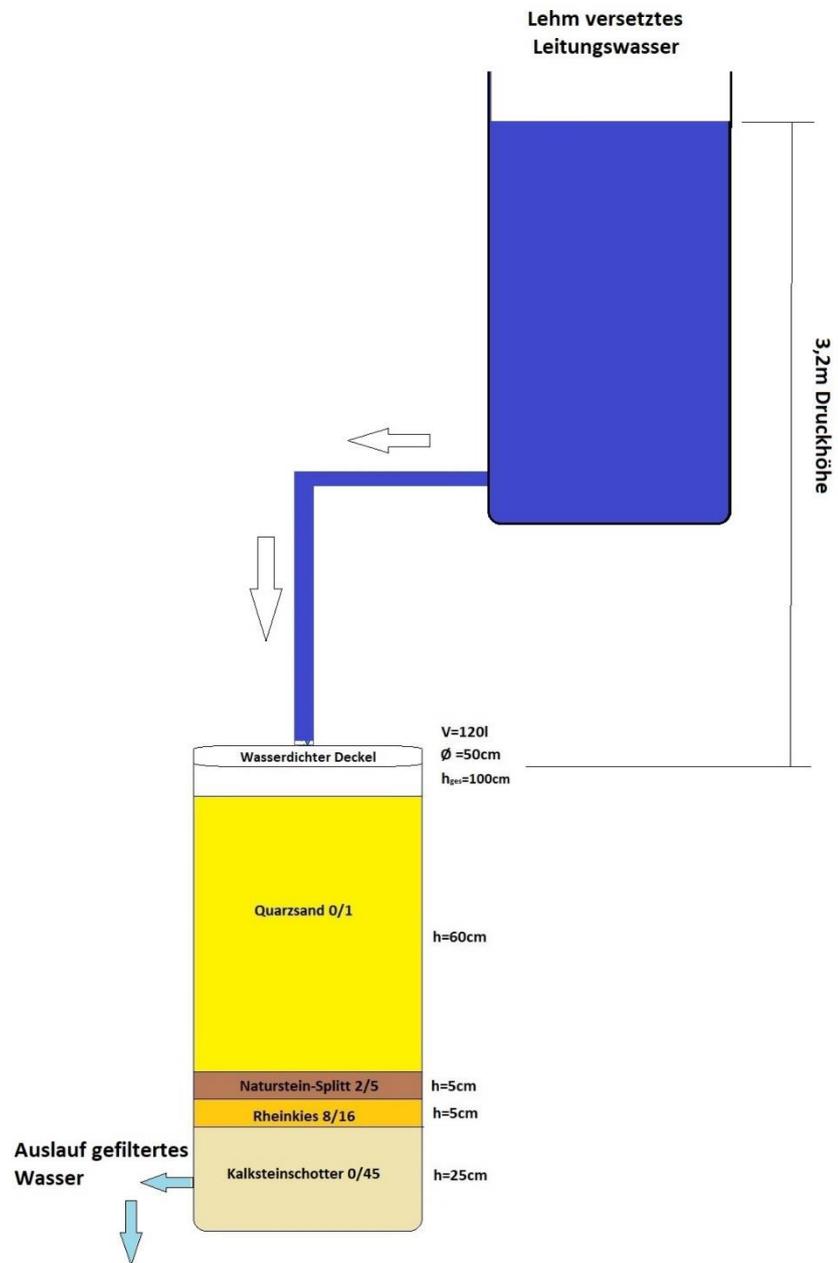


Abb. XX Skizze Versuch Nr.4

6.4.1 Versuchsbeschreibung

Auf die Filtertonne wurde ein passender, dicht verschließender Spannring-Deckel aufgesetzt. Diese Installation war sehr einfach durchzuführen, da die Regentonne ursprünglich eine dichte Futtertonne war.

In den Deckel wurde noch ein Loch gebohrt. In das Loch wurde eine Geka Schnellkupplung mit Außengewinde eingesetzt und mit Silikon abgedichtet. Anschließend wurde der Deckel mit integriertem Dichtring aufgesetzt und der Schnellspanner festgezogen. Nun wurde noch die Geka-Kupplung des Schlauchendes, mit der Geka-Kupplung des Tonnendeckels verbunden.



Abb. XXI Versuchsaufbau mit abgedichtetem Deckel

6.4.2 Durchführung

Gegenüber der Versuchsdurchführung von Versuch Nr. 2 wurde bis auf den Deckel auf der Filtertonne nichts verändert. Das mit Lehm versetzte Wasser lief jetzt von oben auf die Filtertonne und kam mit höherer Auslaufgeschwindigkeit aus dem Kugelauslaufventil heraus, wo wiederum die Proben zur Messung entnommen wurden. Die Durchführung eines Durchlaufs mit ca. 80 l nahm nur 20 min in Anspruch.

6.4.3 Messwerte

Wasserart	vor der Filtrierung Messwert [NTU]	nach der Filtrierung Messwert [NTU]
Leitungswasser mit Lehm	650	474; 286; 162; 104; 74; 48; 45; 34; 29; 20; 17; 10; 8
Leitungswasser mit Lehm	865	185; 326; 752; 507; 162; 86; 63; 40; 28; 21; 15; 14; 5

Tab. 6 Messwerte Versuch Nr.4

6.4.4 Ergebnis

Anfänglich sind die Messwerte äußerst schlecht. Eine Reinigung des Wassers fand anfangs nicht statt. Möglichweise blieben die Lehmteilchen im Wasser enthalten, weil ein hoher Druck entstand und dadurch das Wasser mit den Partikeln durch den Filtersand durchgedrückt worden ist.

Dies konnte nicht nachvollzogen werden, weil auch andere Filteranlagen mit großem Druck Wasser filtern. Die plausibelste Erklärung für die schlechte Filtrierung ist, dass der Sand in der Filtertonne nur wenig verdichtet worden ist.

Sobald Tonne Nr. 2 leergelaufen war, ließ die Auslaufgeschwindigkeit an der Filtertonne nach und die Messwerte wurden besser. Die Messwerte, die ab diesem Zeitpunkt festgestellt werden konnten, sind in der Tabelle rot gekennzeichnet (752-104 NTU).

Anschließend ließen sich niedrigere Messwerte (85-5 NTU) festhalten.

Versuch Nr. 4 beschreibt eine sehr schnelle Methode das Wasser durch den Filter zu bringen. Allerdings ist eine Klärung des Wassers nicht möglich.

6.5 Versuchsaufbau Nr. 5 Skizze

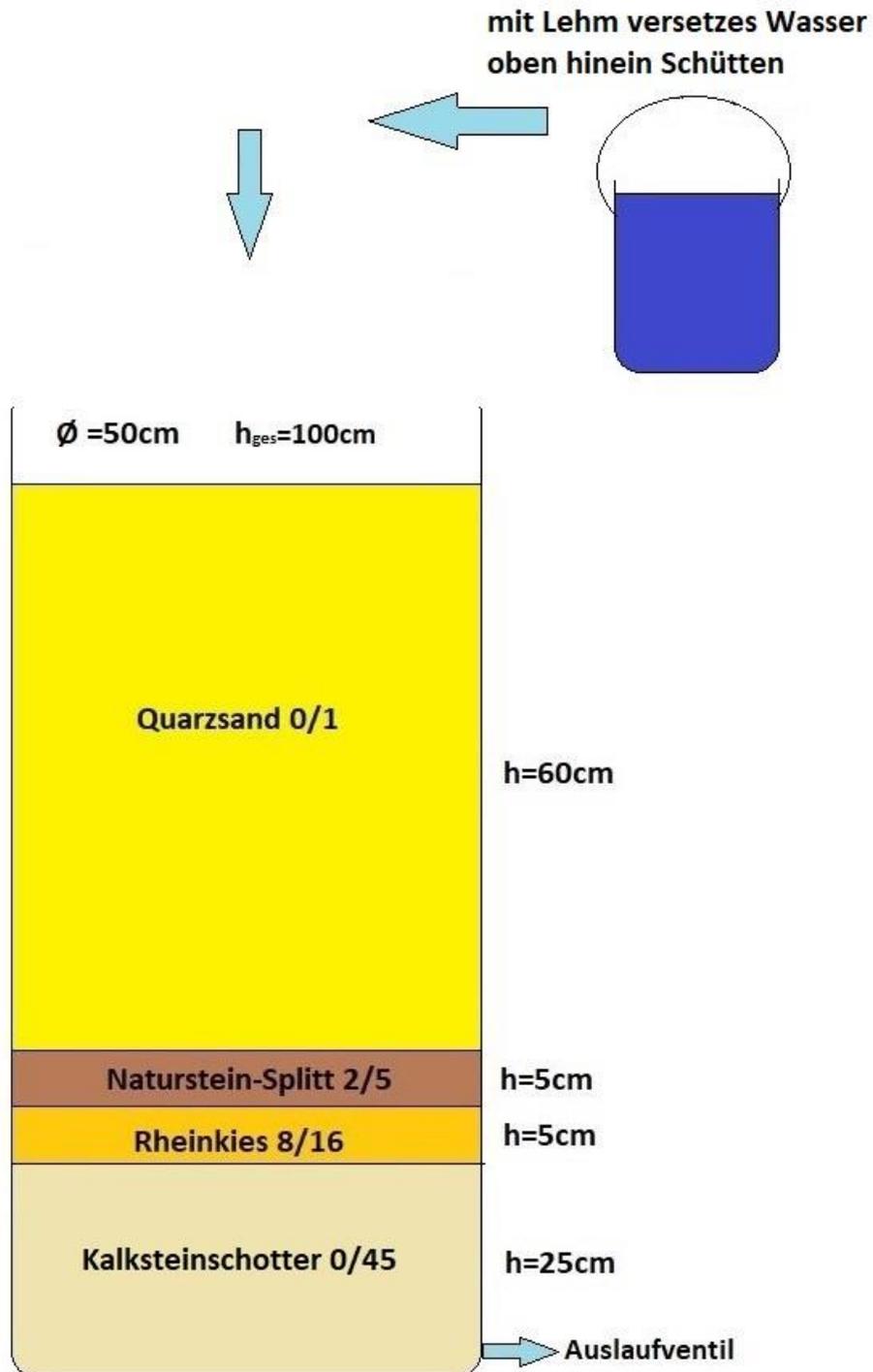


Abb. XXII Skizze Versuchsaufbau Nr.5

6.5.1 Versuchsbeschreibung

In Versuch Nr. 5 wurde nur die Filtertonne und das Auffangbecken zum Einsatz gebracht. Das Lehm/Wasser Gemisch wurde im Auffangbecken angemischt und mit einem Eimer oben in die Filtertonne geschüttet.

6.5.2 Durchführung

Es wurde mit Hilfe eines 5 l Eimers zunächst 20 l trübes Wasser oben auf den Quarzsand geschüttet und anschließend nochmals 25 l. Das gesamte Wasser legte dann den kompletten Filterweg zurück und konnte ohne jeglichen Druck durch die Schichten sickern.

Das Auslaufventil wurde geöffnet und nach ca. 1-2 Minuten konnte mit dem Messen der Trübheitswerte begonnen werden.

Insgesamt lief in ca. 20 min 45 l klares Wasser aus der Filtertonne aus.

6.5.3 Messwerte

Wasserart	Messwert Rohwasser [NTU]	Messwert gefiltert [NTU]
Leitungswasser mit Lehm	210	14; 16; 8; 6; 6
Leitungswasser mit Lehm	650	5; 10; 9; 7; 5; 6; 6

Tab. 7 Messwerte Versuch Nr.5

6.5.4 Ergebnis

Bei beiden Durchläufen konnte nach dem Filtern optisch kein trübes Wasser mehr festgestellt werden. Die Messwerte bestätigten den optischen Eindruck; sie waren in einem sehr guten Bereich zwischen 5-16 NTU. Das entspricht gemäß der Tabelle unter 2.4 den Werten eines Kläranlagenablaufwassers. Die Spitzenwerte (5 NTU) erreichen sogar den Wert von im Haushalt gemessenem Trinkwasser.

Das Filtrierungsergebnis war äußerst positiv. Obschon das Rohwasser einen extrem hohen Trübungswert aufwies (650 NTU), konnte bereits nach einmaliger Filtrierung ein Trübungswert von nur noch 5 NTU gemessen werden.

Grund für diese sehr guten Messergebnisse war wahrscheinlich, dass das Wasser/Lehm Gemisch ohne Druck langsam durch den ganzen Filter sickern konnte.

Versuchsaufbau Nr. 5 war am simpelsten und am effektivsten.

7. Filtrierung bis zur Sättigung und Rückspülung

In Entwicklungsländern wird der Filtersand mühevoll von Hand gewaschen. Die Reinigung eines gesättigten Sandfilters, ohne große Arbeitsleistung, würde die Praktikabilität einer Sandfilteranlage erhöhen.

Im Folgenden wurde daher untersucht, wie ein gesättigter Filter auf eine einfache Art und Weise ausgefiltert oder gereinigt werden kann. Wie jeder Filter, ist auch ein Sandfilter irgendwann gesättigt. Die Reinigung des Filters im selben System wäre daher eine Optimierung der hier untersuchten, einfachen Anlage. ²⁹

Eine Rückspülung im selben System, wie bei der oben näher beschriebenen Poolfilteranlage (s. Kap. 3), könnte eine unkomplizierte Methode zur Reinigung einer Sandfilteranlage sein.

²⁹ Problem des Filters in Entwicklungsländer (Michael Ottens, 2018)

7.1 Versuchsaufbau Filtrierung

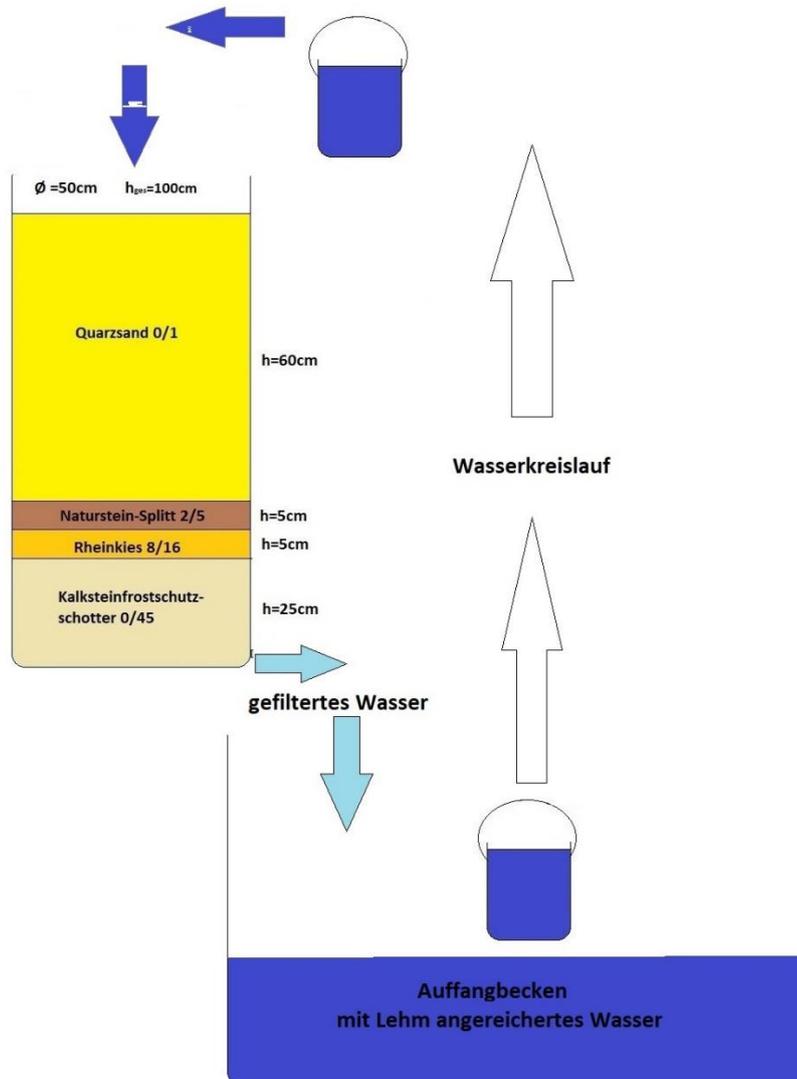


Abb. XXIII Skizze Filtrierung bis zur Sättigung



Abb. XXIV getrübbtes Wasser im Auffangbecken

7.2 Versuchsbeschreibung

Mit der effektivsten Filtrierungsmethode wurde zunächst versucht eine Sättigung des Filters zu erreichen.

Die Versuchsmethode aus Versuch Nr. 5 wurde erneut angewendet (siehe Kapitel 6.5).

Es war beabsichtigt, den Vorgang so oft zu wiederholen, bis der Filter gesättigt worden wäre. Dazu wurde eine große Menge an mit Lehm versetztem Wasser gefiltert. Eine Sättigung wäre erreicht worden, wenn die Trübungsmesswerte nach dem Filtern erheblich gestiegen wären.

7.2.1 Durchführung

Zu Beginn mussten 200 l Wasser im Auffangbecken mit dem zerkleinerten Lehm vermischt werden. Daraus wurde mittels des 5 l Eimers das Lehmwasser auf den Filter geschüttet.

Anschließend wurde notiert, zu welcher Zeit der Durchlauf begonnen hatte und wann der nächste Eimer aufgegossen worden ist. Es wurde auch die Menge des Wassers notiert. Eine der unter 7.2.2 aufgeführten Tabelle entspricht einem Durchlauf.

Dann wurden mit Glasbehältnissen aus dem aufgeschütteten Wasser Proben entnommen, um die Trübung des Wassers vor der Filtrierung mit Hilfe des „Aqua Lytic“ Messgeräts zu messen.

Auch nach der Filtrierung wurde das Wasser alle 10 Minuten aus dem Auslaufkugelhahn abgefüllt und mit dem Trübungsmessgerät „Aqua Lytic“ gemessen.

Sobald die Trübungsmesswerte des aufgeschütteten Wassers geringer geworden waren, wurde neuer Lehm in das Auffangbecken gefüllt und untergemischt.

Nach jedem Durchlauf bildete sich eine wasserundurchlässige Schicht Lehm auf dem Filtersand. Daher wurde zwischen jedem der 11 Durchläufe diese Lehmschicht mit einem Kehrblech abgetragen. Ein Durchlauf dauerte zwischen 60 und 90 min.

Erwähnt werden muss auch, dass sich die abgelagerte Lehmschicht nicht abtragen ließ, ohne ca. 1 cm Sand zu entfernen. Dieser 1 cm wurde wieder mit sauberem Quarzsand nachgefüllt.

Anschließend konnte der nächste Durchlauf begonnen werden und das Schmutzwassers wieder in die Quarzsandschicht sickern.



Abb. XXV Lehmablagerung, die den Filter wasserundurchlässig macht

7.2.2 Messwerte

Messungen des gefilterten Wassers		Nachfüllintervall mit Lehm versetztem Wasser			
Anzahl der Messungen [\\]	Trübungsmesswert [NTU]	Trübungsmesswert [NTU]	Liter [l]	Uhrzeit [/]	Nachfüllintervall [min]
1	25,3	914	25	11:45	0
2	21,9	948	20	11:53	8
3	9,00	868	10	12:00	7
4	5,04	749	15	12:10	10
5	4,88	545	15	12:18	8
6	6,78	539	15	12:26	8
7	2,69	468	15	12:33	7
8	2,88	Overrange ³⁰	15	12:44	11
9	2,31	1000	15	12:55	11
10	1,92	894	15	13:15	20
11	4,38				
12	8,97				
			Σ=161		Σ=90

Tab. 8 Filtertabelle 1

³⁰ Overrange bedeutet laut Handbuch des Aqua Lytic Trübungsmessgerät: Messbereich überschritten, Lichteintritt in den Messschacht nicht möglich

Messungen des gefilterten Wassers		Nachfüllintervall mit Lehm versetztem Wasser			
Anzahl Trübungsmessung [\\]	Trübungsmessung [NTU]	Schmutzwasser [NTU]	Liter [l]	Uhrzeit [\\]	Nachfüllintervall [min]
1	19	975	20	16:21	0
2	8,67	940	10	16:27	6
3	3,91	807	15	16:34	7
4	5,29	914	15	16:44	10
5	4,18	553	10	16:50	6
6	3,27	623	15	16:57	7
7	2,11	861	15	17:04	7
8	2,54	640	20	17:25	11
9	2,43				
			$\Sigma=120$		$\Sigma=64$

Tab. 9 Filtertabelle 2

Messungen des gefilterten Wassers		Nachfüllintervall mit Lehm versetztem Wasser			
Anzahl Trübungsmessung [\\]	Trübungsmessung [NTU]	Schmutzwasser [NTU]	Liter [l]	Uhrzeit [\\]	Nachfüllintervall [min]
1	13,4	1038	20	11:45	0
2	8,61	763	15	11:54	9
3	6,47	691	15	12:08	14
4	3,19	571	15	12:16	8
5	1,92	571	10	12:25	9
6	2,92	491	15	12:36	11
7	2,26	975	10	12:43	7
8	1,89	987	15	12:53	10
9	2,09	860	10	12:59	6
10	2,14	Overrange	15	13:08	9
		Overrange	10	13:17	9
			$\Sigma=150$		$\Sigma=92$

Tab. 10 Filtertabelle 3

Messungen des gefilterten Wassers		Nachfüllintervall mit Lehm versetztem Wasser			
Anzahl Trübungsmessung [\]	Trübungsmessung [NTU]	Schmutzwasser [NTU]	Liter [l]	Uhrzeit [/]	Nachfüllintervall [min]
1	11,5	Overrange	25	18:30	0
2	3,83	Overrange	15	18:35	5
3	3,29	Overrange	10	18:40	5
4	2,06	1064	10	18:46	6
5	2,39	932	15	18:53	7
6	2,00	906	10	19:00	7
7	1,99	686	10	19:05	5
8	2,06	1076	10	19:11	6
9	1,99	1033	15	19:20	9
10	2,06	774	10	19:26	6
11	2,52	695	15	19:35	9
12	2,59	Overrange	20	19:49	14
			$\Sigma=165$		$\Sigma=79$

Tab. 11 Filertabelle 4

Messungen des gefilterten Wassers		Nachfüllintervall mit Lehm versetztem Wasser			
Anzahl Trübungsmessung [\]	Trübungsmessung [NTU]	Schmutzwasser [NTU]	Liter [l]	Uhrzeit [/]	Nachfüllintervall [min]
1	18,1	Overrange	25	15:15	0
2	10,8	Overrange	10	15:18	7
3	3,52	740	10	15:25	7
4	4,74	497	10	15:37	12
5	3,30	Overrange	10	15:50	13
6	2,42				
			$\Sigma=65$		$\Sigma=35$

Tab. 12 Filertabelle 5

Messungen des gefilterten Wassers			Nachfüllintervall mit Lehm versetztem Wasser			
Anzahl Trübungsmessung [°]	Trübungsmessung [NTU]		Schmutzwasser [NTU]	Liter [l]	Uhrzeit [h:m]	Nachfüllintervall [min]
1	12,9		Overrange	25	18:15	0
2	3,05		Overrange	15	18:20	5
3	2,72		960	15	18:25	5
4	2,67		Overrange	15	18:32	7
5	2,19		Overrange	20	18:44	12
6	2,54		Overrange	15	18:51	7
7	1,74		987	10	18:55	4
8	1,80		853	10	19:01	6
			898	10	19:06	5
			917	20	19:17	11
				$\Sigma=155$		$\Sigma=62$

Tab. 13 Filtertabelle 6

Messungen des gefilterten Wassers			Nachfüllintervall mit Lehm versetztem Wasser			
Anzahl Trübungsmessung [°]	Trübungsmessung [NTU]		Schmutzwasser [NTU]	Liter [l]	Uhrzeit [h:m]	Nachfüllintervall [min]
1	11,4		Overrange	25	11:25	0
2	6,16		Overrange	15	11:30	5
3	2,79		1010	20	11:37	7
4	2,14		Overrange	20	11:50	13
5	1,96		833	15	11:55	5
6	1,82		924	10	12:02	7
7	2,00		658	10	12:08	6
8	1,90		658	5	12:10	2
9	1,80		876	20	12:22	12
			811	10	12:27	5
			Overrange	20	12:35	8
				$\Sigma=170$		$\Sigma=70$

Tab. 14 Filtertabelle 7

Messungen des gefilterten Wassers		Nachfüllintervall mit Lehm versetztem Wasser			
Anzahl Trübungsmessung [\\]	Trübungsmessung [NTU]	Schmutzwasser [NTU]	Liter [l]	Uhrzeit [/]	Nachfüllintervall [min]
1	18,1	898	30	11:15	0
2	4,79	844	15	11:20	5
3	3,75	1072	20	11:28	8
4	2,27	848	20	11:38	10
5	2,34	776	15	11:46	8
6	2,49	627	10	11:51	5
7	3,48	701	10	11:56	5
8	3,55	733	15	12:06	10
		881	15	12:15	9
			$\Sigma=150$		$\Sigma=60$

Tab. 17 Filtertabelle 10

Messungen des gefilterten Wassers		Nachfüllintervall mit Lehm versetztem Wasser			
Anzahl Trübungsmessung [\\]	Trübungsmessung [NTU]	Schmutzwasser [NTU]	Liter [l]	Uhrzeit [/]	Nachfüllintervall [min]
1	13,6	1086	30	16:00	0
2	5,91	791	15	16:05	5
3	3,27	615	15	16:11	6
4	4,12	678	20	16:19	8
5	2,65	1038	5	16:21	2
6	2,58	Overrange	15	16:30	9
7	3,77	Overrange	15	16:38	8
8	3,11	1026	15	16:48	10
		981	15	16:59	11
		760	10	17:06	7
			$\Sigma=155$		$\Sigma=66$

Tab. 18 Filtertabelle 11

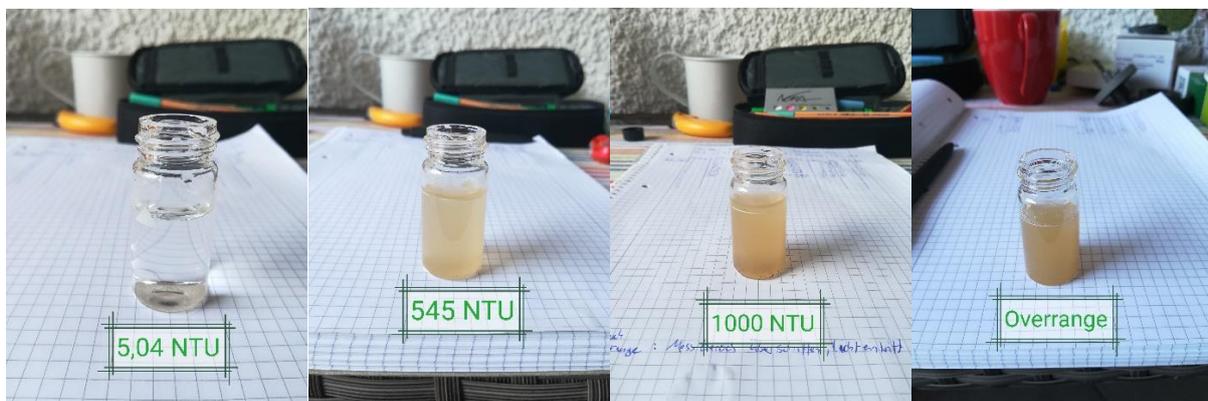


Abb. XXVI Trübungsproben von 5,545,1000, Overrange [NTU]

7.2.3 Ergebnis

Das Ziel eine Sättigung des Sandfilters herbeizuführen, konnte nicht erreicht werden. Trotz 11 Durchläufen mit insgesamt 1.615 l stark mit Lehm versetztem Wasser, ergaben die Messwerte beim letzten Durchlauf (Tab. 18) im Durchschnitt 4,9 NTU.

In jedem der 11 Durchläufe sind die Messergebnisse ziemlich gleichbleibend. Wie aus den Tabellen 8 bis 18 ersichtlich ist, sind keine Abweichungen der Messwerte des gefilterten Wassers erkennbar.

Von einer Sättigung des Filters kann nach 11 Durchläufen nicht ausgegangen werden.

Die Effizienz der Sandfilteranlage war insgesamt sehr gut, denn bei einer Filtrierung von 1.615 l Lehmwasser, lagen die mit dem „Aqua Lytic“ Trübungsmesser gemessenen Werte von allen Durchläufen im Durchschnitt bei 5,11 NTU.

Nach der in oben Abschnitt 2.4 aufgeführten Tabelle für typische Trübungswerte ist dieser Durchschnitt im Bereich für „im Haushalt gemessenes Trinkwasser“.

Zudem wurden Bestwerte von 1-2 NTU erreicht, welche nach der Tabelle im Bereich „Trinkwasser im Wasserwerk“ sind.

Sogar die anfangs gemessenen Werte sind in Ordnung (8,23 bis 25,3 NTU). Der 8. Durchlauf, der in Tabelle 15 dargestellt ist, erreicht sogar bei der ersten Messung einen Trübungswert von nur 8,23 NTU und liegt damit knapp unter dem Bereich „Kläranlagenablauf“.

Da sich die Messwerte des gefilterten Wassers nicht verschlechtert hatten, wurde davon ausgegangen, dass der Lehm nahezu vollständig ausgefiltert werden konnte und sich immer auf der Sandschicht absetzt hat.

7.3 Versuchsaufbau Rückspülung

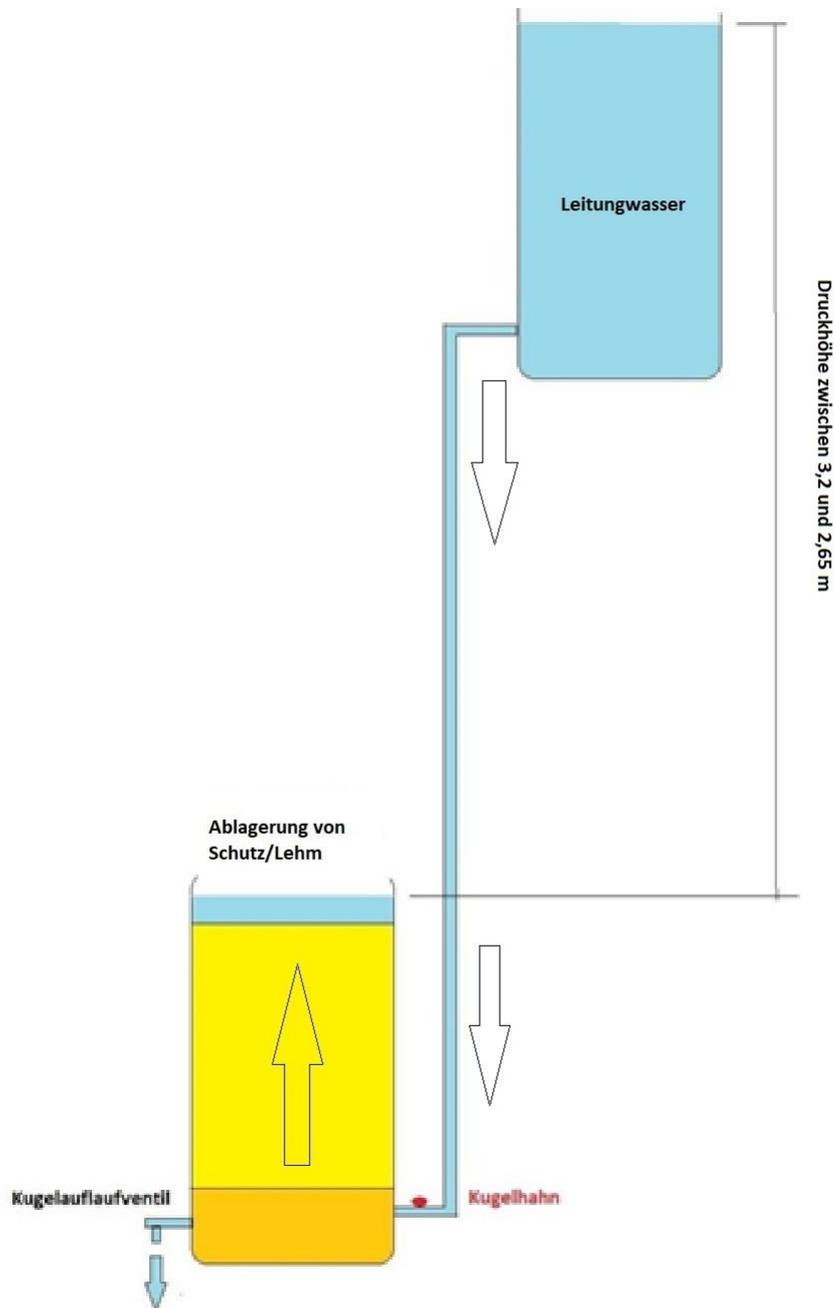


Abb. XXVII Skizze Rückspülung

7.3.1 Versuchsbeschreibung

Es sollte mit einer Rückspülung die Reinigung des Filters erreicht werden.

Dazu sollte sauberes Leitungswasser den umgekehrten Weg durch die Filtertonne gehen.

Das durch den Filter steigende Wasser, sollte die im Filter hängenden Partikel mit nach oben spülen.

Das Wasser, welches sich oben auf dem Filter angespült hatte, sollte mittels einer Probe gemessen werden.



Abb. XXVIII Regentonne mit 120L Leitungswasser

7.3.2 Durchführung

Zu Beginn dieses Versuchs wurde die höher liegende Wassertonne Nr.1 mittels eines Gartenschlauchs mit 120 l Leitungswasser gefüllt. Anschließend wurde der Kugelhahn an der Filtertonne geöffnet. Weil der Höhenunterschied zwischen Tonne Nr.1 und der Filtertonne 3,2 m betrug, drückte sich das Wasser in der Filtertonne von unten nach oben hoch. Sobald die Filtertonne randvollgelaufen war, wurde ihr Kugelhahn zugedreht.

Es wurde in ein Glasbehältnis eine Probe vom auf dem Filter stehenden Wasser entnommen und der Trübungswert gemessen. Dann wurde das Auslaufventil der Filtertonne geöffnet und es wurden in unregelmäßigen Abständen wieder Proben entnommen. Deren Auslaufzeitpunkt und deren Messergebnisse wurde in den Tabellen unter 7.3.3 festgehalten.

Das Wasser aus der Filtertonne lief in das Auffangbecken.

Zwischen 30 und 36 Minuten dauerte das Auslaufen des ganzen Wasservolumens aus der Filtertonne.

Der Rückspülvorgang wurde 5 Mal wiederholt. Fortwährend wurden dabei die Probenentnahmen und Messungen durchgeführt. Zwischen den Rückspülvorgängen musste Tonne Nr. 1 erneut gefüllt werden.

In einer Ausführung des Rückspülvorgangs wurden ca. 30 l Wasser durch die Filtertonne gedrückt. Die Druckhöhe änderte sich vor jedem Durchlauf. Sie wurde noch zusätzlich notiert.

Nach jedem Rückspülvorgang bildete sich zunächst Schaum auf der Filtertonne, anschließend blieb eine dichte Lehmschicht auf dem Filtersand liegen. Diese wurde mittels eines Kehrblechs nach jedem Rückspülvorgang abgetragen.

Dann wurde der Vorgang wiederholt indem das Kugelauslaufventil wieder geöffnet wurde.



Abb. XXIX Abfolge des Zustands der Oberfläche während der Rückspülung

von links nach rechts: 1. Filtersand vor dem Versuch

2. Grober Schmutz und Schaum nach oben gespült
3. Stark getrübbtes Wasser nach entfernen des Groben Schmutz und Schaum
4. Quarzsand nach ablauf des Wassers, Lehm setzte sich oben auf dem Sand ab

7.3.3 Messwerte

1. Druckhöhe 3,2 m

Rückspülung Nr.1	
Zeit [min]	Trübungsmessung [NTU]
0	5,99
3	38
7	48,8
10	39,2
14	23,8
19	18
25	24,1
30	23,4
36	Ende

Tab. 19 Rückspülung 1

2. Druckhöhe 2,95 m

Rückspülung Nr.2	
Zeit [min]	Trübungsmessung [NTU]
0	2,08
4	39,3
11	40,8
17	64,1
25	38,5
31	Ende

Tab. 20 Rückspülung 2

3. Druckhöhe 2,7 m

Rückspülung Nr.3	
Zeit [min]	Trübungsmessung [NTU]
0	9,33
7	93,5
10	50,7
16	41,5
22	38,7
30	Ende

Tab. 21 Rückspülung 3

4. Druckhöhe 2,9 m

Rückspülung Nr.4	
Zeit [min]	Trübungsmessung [NTU]
0	13,4
6	24,8
12	63,1
17	37,9
26	51,1
32	Ende

Tab. 22 Rückspülung 4

5. Druckhöhe 2,65 m

Rückspülung Nr.5	
Zeit [min]	Trübungsmessung [NTU]
0	19,8
5	55,1
9	36,4
16	44,8
22	28,7
25	35,9
34	Ende

Tab. 23 Rückspülung 5

7.3.4 Ergebnis

Die ersten ermittelten Trübungswerte lagen zwischen 2,08 NTU und 19,8 NTU. Diese Werte wurden zur Minute 0 gemessen, weil das erste Leitungswasser keinen Weg durch den Filter zurückgelegt hat. Es wies daher auch die geringste Verunreinigung auf.

Die Messungen lassen ein Ansteigen und wieder Abfallen der Werte erkennen.

Ab der zweiten Messung traten Messwerte zwischen 24,8 NTU und 93,5 NTU auf. Ab dann wurde begonnen die Lehmpartikel nach unten auszuschwemmen. Spätere Proben waren wieder sauberer, weil das Schmutzwasser nun den gesamten Weg durch den Filter zurückgelegt hatte.

Auch wenn der Filter nicht vollständig gesättigt war, wurde bei allen 5 Rückspülungen Lehm nach oben ausgespült. Dieser Schmutz ist bei den vorhergehenden Filtrierungen in der Filtertonne hängen geblieben.

Die 5 Proben vom auf die Filtertonne gedrückten Wasser wiesen alle „Overrange“ auf. Daraus lässt sich schließen, dass die Rückspülung funktioniert. Obwohl unter 7.2 das Ziel der Sättigung des Filters angestrebt worden ist, blieben die Trübheitswerte des gefilterten Wassers immer noch unverändert gut. Trotzdem war schon nach einer Rückspülung etwa 0,5 cm Lehm aus der Filtertonne nach oben gedrückt worden. Nach jeder Rückspülung war die Schicht des ausgespülten Lehms etwa gleich hoch.

Auch nach 5 Rückspülungen war der Filter noch nicht vollständig gereinigt, denn es entstand noch die gleiche Lehmschicht wie bei der ersten Rückspülung.



Abb. XXX entnommene Probe des oben angespülten Schmutzwassers (Overrange)

8. Auswertung der Ergebnisse

Zu Beginn der Arbeit wurden, wie in Kapitel 6 beschrieben, verschiedene Möglichkeiten getestet, um mit „low tech“ einen effektiven Filter herzustellen. Der hergestellte Filter bestand aus 4 verschiedenen Schichten zerkleinertem Gestein mit von unten nach oben immer kleiner werdenden Körnung in einer alten Futtertonne. Dabei war entscheidend für die Klärung der feine Quarzsand.

Vier Versuche (Nr. 1 bis 4) wiesen erhebliche Schwächen auf. In Versuch Nr.1 war der Unterbau des Filters zu durchlässig für den Quarzsand; dieser sickerte beim Versuch zu großen Teilen hindurch und lief mit dem Wasser aus.

Im nächsten Versuch (Nr. 2) wurde der Unterbau verbessert, indem mehrere Schichten mit nach oben kleiner werdenden Körnung zusammengesetzt wurden. Aber der Aufbau war immer noch nicht optimiert, da das Wasser von unten in den Filter einlief, und dabei ein Teil des ungefilterten Wassers wieder aus dem Auslauf ausgetreten war.

Im Versuch Nr. 3 lief das Wasser ebenfalls von unten in die Tonne. Es wurde eine Verbesserung durch mehrmalige Filtrierung mittels mehrmaligem Aufschütten erreicht. Allerdings war diese Methode aufwendig. Zwar waren die erreichten Trübungsmesswerte gut, jedoch war ein hoher Zeitaufwand erforderlich. Das Wasser musste vielfach von Hand nochmals oben auf den Filter gegeben werden.

Die Durchführung des Versuchs Nr. 4 war zwar nicht aufwendig, brachte aber schlechte Messergebnisse. Die mit Hilfe eines höher gestellten Wasserspeichers durchgeführte Filtrierung, bei der der Zulauf durch einen Deckel erfolgte, war suboptimal. Der Druck war zu hoch und die Messwerte waren wesentlich zu trüb.

Im letzten und einfachsten Versuch (Nr. 5) wurde das zu filternde Wasser einfach nur von Hand oben aufgekippt; dies ergab mit Abstand die besten Messwerte. Zwar ist auch dabei ein höherer Zeit- und Arbeitsaufwand erforderlich, jedoch zahlt sich dieser aus.

In Kapitel 7. 2 (Filtrierung bis zur Sättigung) wurde mit der einfachsten und effizientesten Filtermethode (Versuch Nr. 5) gefiltert. 1.615 l stark mit Lehm versetztes Wasser wurden mit diesem Aufbau sauber gefiltert. Ohne Ausnahme wurde klares Wasser hergestellt. Die angestrebte Sättigung des Filters wäre nur zu erreichen gewesen, wenn viele weitere Durchläufe vorgenommen worden wären. Diese hätten den zeitlichen Rahmen dieser Bachelor-Arbeit gesprengt.

Unter Kapitel 7.3 wurde eine Rückspülung erfolgreich getestet. Die im Filter enthaltenen Partikel wurden auf Grund des vorhandenen Wasserdrucks nach oben aus dem Filter gebracht. Nur ein geringer Teil der Schmutzpartikel ist beim Auslauf wieder ausgespült worden. Das Ergebnis war sehr zufriedenstellend, denn mit jeder durchgeführten Rückspülung wurde eine Lehmschicht von 0,5 cm aus dem Filter getrieben.

In der hier untersuchten Anlage lag die Druckhöhe zwischen 3,2 m und 2,65 m. In diesem System war der Druck zur Rückspülung zielführend. Wäre der Druck zu hoch gewesen, hätte die Gefahr bestanden, dass der Filtersand aus der Filtertonne

ausgespült wird. Wäre der Druck zu niedrig gewesen, hätte sich der im Filtersand befindliche Lehm nicht nach oben drücken lassen.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Da sauberes Trinkwasser ein UN-Menschenrecht ist, muss jedem Menschen Zugang zu sauberem Wasser und zu sicherer, hygienischer und sanitärer Einrichtung gewährt werden.

Dies gelingt nur, wenn den Menschen in den Entwicklungsländern in der Zukunft einfache, kostengünstige und zuverlässige Wasseraufbereitungstechniken und -geräte zur Verfügung gestellt werden.

Die chemische Desinfektion von Rohwasser kann erst nach der Ausfiltrierung von Trüb- und Schwebstoffen erfolgreich durchgeführt werden. Ansonsten gelingt eine Entkeimung nicht. Zu Beginn der Wasseraufbereitung muss daher die Filtration stehen.

Die Ausfiltrierung von Trübstoffen aus dem Wasser kann mittels einfacher, überdruckloser Sandfilteranlagen geschehen. Dazu sind keine hohen Kosten, kein Know-how und nur wenig Aufwand von Nöten. Diese Sandfilteranlagen sind überall dort einsatzfähig, wo die Ressource Filtersand zur Verfügung steht. Das dürfte praktisch überall in den Entwicklungsländern der Fall sein.

Die in dieser Arbeit untersuchte Filtrierungsmethode kann einfach aufgebaut, genutzt, gewartet und gereinigt werden. Und selbst wenn der Filter bereits eine große Menge an abgelagerten Partikeln enthält, können gute Reinigungsergebnisse erreicht werden.

Die Reinigung des Filters mittels Rückspülung ist effizient. Allerdings ist eine Reinigung des Filters nur durch Rückspülung mit der richtigen Druckhöhe möglich. Es ist daher für die Reinigung des Filters ein Anlagenaufbau erforderlich, bei dem das Wasser aus einer bestimmte Höhe in die Filtertonne fließt. Das Hochtransportieren des Wassers stellt zwar eine Schwierigkeit dar, ist aber mit einer Pumpe oder mit Muskelkraft zu realisieren.

Weiterer Nachteil ist, dass für die Rückspülung sauberes Wasser verloren geht. Das Verhältnis zwischen dem hier gereinigten Wasser und dem für die Rückspülung benutzten Wasser war jedoch mit ca. 11:1 (1.615 l :150 l) immer noch gut.

Um das Ausspülen der Filtrerrückstände aus dem Filter mittels Rückspülung zu beschleunigen, hätte man die Filtertonne einfach überlaufen lassen können. Dann wären die Schmutzpartikel, aber auch das Wasser unkontrolliert wegelaufen. Dies war im Rahmen der Gegebenheiten der vorliegenden Bachelor-Thesis nicht möglich.

Eine Verbesserung der Anlage würde ein zusätzlicher, oben über der Filterschicht angebrachter Ablauf, darstellen.

Dieser Ablauf sollte gewährleisten, dass die Rückspülung über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden könnte. Das Schmutzwasser würde kontrolliert ablaufen und wäre nicht verloren.

Es sollte die hier untersuchte Anlage über einen längeren Zeitraum getestet werden, um den Zeitpunkt der Filtersättigung feststellen zu können und um herauszufinden, ob der gesättigte Filter wieder vollständig zu reinigen ist.

Die Bachelor-Thesis hat gezeigt, dass es eine einfache Methode zur Rohwasser Filtrierung gibt. Mit der untersuchten Anlage wurde eine verfügbare, kostengünstige Rohwasser-Filtrierungsmethode durchgeführt, deren praktische Eignung nachgewiesen wurde. Auch konnte eine Reinigung des Filters im selben System mittels einer Rückspülung durchgeführt werden.

10. Literaturverzeichnis

- Amrhein, P. (Abrufdatum 02.08.18). *Poolinfos*. Von <https://poolinfos.de/poolfilter/sandfilter/funktionsweise-der-sandfilteranlage-einfach-erklart/> abgerufen
- Baustoffe-liefern*. (Abrufdatum 08.08.2018). Von <https://www.baustoffe-liefern.de/Kies/Rheinkies.html> abgerufen
- Berendt, D.-I. U. (Juli 2016). *Euroquarz*. Von <https://www.euroquarz.de/wissen-ueber-quarzsand-quarzkies/normen-fuer-die-aufbereitung/themen-normen-fuer-die-aufbereitung/en12904-filterquarz/> abgerufen
- Beto tech Baustofftechnisches Labor. (30. Mai 2011). *kieswerke-weiss*. Von https://www.kieswerke-weiss.de/images/kieswerke/pdf/2011_weiss_ba_sieblinie_0-1sand.pdf abgerufen
- Beto tech Baustofftechnisches Labor. (30. Mai 2011). *kieswerke-weiss*. Von https://www.kieswerke-weiss.de/images/kieswerke/pdf/2011_weiss_ba_sieblinie_2-8kies.pdf abgerufen
- Beto tech Baustofftechnisches Labor. (30. Mai 2011). *Kieswerke-weiss*. Von https://www.kieswerke-weiss.de/images/kieswerke/pdf/2011_weiss_ba_sieblinie_8-16kies.pdf abgerufen
- DRL Berliner Institut für Baustoffprüfungen. (26. Januar 2010). *vsvi-blnbhg*. Von http://www.vsvi-blnbhg.de/pdf/VSVI_Frt.O_SoB_26.01.10.pdf abgerufen
- dw*. (21. 3 2018). Von <https://www.dw.com/de/jeder-tropfen-z%C3%A4hlt-un-dekade-f%C3%BCr-wasser/a-43068561> abgerufen
- Haus-Gartentrends*. (Abrufdatum 02.08.2018). Von <https://www.haus-und-gartentrends.de/sandfilteranlage-pool-tests-vergleich/> abgerufen
- Heyn, G. (Beitrag erschien in Ausgabe 27 2009). *Pharmazeutische-Zeitung*. Von <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=30238> abgerufen
- Jeppesen, H. (21. 3 2018). *dw*. Von <https://www.dw.com/de/jeder-tropfen-z%C3%A4hlt-un-dekade-f%C3%BCr-wasser/a-43068561> abgerufen
- Michael Ottens, m. (03. Februar 2018). *Youtube*. Von <https://www.youtube.com/watch?v=pfW5zOLLf1Y> abgerufen
- Poolinfos*. (Abrufdatum 02.08.2018). Von <https://poolinfos.de/poolfilter/sandfilter/funktionsweise-der-sandfilteranlage-einfach-erklart/> abgerufen

Quarzwerke Frechen. (Abrufdatum 20.08.2018). *Buschbellerwald*. Von <https://www.buschbellerwald.de/entstehungsgeschichte-frechener-sand.html> abgerufen

Springer, A. (22. März 2013). Von <https://www.welt.de/wissenschaft/umwelt/article114678603/Der-brutale-Wettlauf-um-die-Trinkwasserquellen.html> abgerufen

Springer, A. (22. März 2013). *Welt*. Von <https://www.welt.de/wissenschaft/umwelt/article114678603/Der-brutale-Wettlauf-um-die-Trinkwasserquellen.html> abgerufen

Stockmar, B. (7. Januar 2015). *Boell*. Von <https://www.boell.de/de/bodenatlas> abgerufen

Tabelle. (14. 5 2018). *Wikipedia*. Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasseraufbereitung> abgerufen

Väderstad. (abruf Datum 26.08.2018). Von <https://www.vaderstad.com/de/know-how/grundlegende-ackerbaukunde/grundlagen-zum-boden/bodenarten-und-ihre-eigenschaften/> abgerufen

Wikipedia. (30. November 2016). Von https://de.wikipedia.org/wiki/Gebrochene_Gesteinsk%C3%B6rnung abgerufen

Wikipedia. (29. September 2017). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Schotter> abgerufen

Wikipedia. (25. 6 2018). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Trinkwasser> abgerufen

Wikipedia. (Juni. 23 2018). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%BCbung> abgerufen

Wikipedia. (14. 3 2018). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasseraufbereitung> abgerufen

Wikipedia. (17. August 2018). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Kiesfilter> abgerufen

Wikipedia. (13. März 2018). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Steinbruch> abgerufen

Wikipedia. (14. Mai 2018). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Kies> abgerufen

Wikipedia. (14. Mai 2018). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Kies> abgerufen

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich – Christopher Clemens - gemäß § 10 Abs. 6 der Prüfungsordnung vom 04.05.2012, mit der Änderungsordnung vom 04.03.2015, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

.....

Ort, Datum, Unterschrift