

Ein Koffergerät zur Gewinnung von Trinkwasser mit Hilfe von Photovoltaik und Membrantechnik

Dr. Klaus Brinkmann, Birgit Brinkmann*, Inge Brinkmann*



FernUniversität
Gesamthochschule in Hagen

Lehrgebiet Elektrische Energietechnik

Feithstraße 140, Philipp-Reis-Gebäude, D-58084 Hagen, fax: +49/2331/987 357,

e-mail: klaus.brinkmann@fernuni-hagen.de



Rückfragen bitte an: Dr. Klaus Brinkmann, Adresse: siehe**

Einleitung:

Es häufen sich in den letzten Jahren extreme klimatische Ausgleichsvorgänge, die möglicherweise auf eine allgemeine globale Klimaerwärmung aufgrund des Treibhauseffektes zurückzuführen sind. Diese Vorgänge äußern sich zum Beispiel bei Unwettern mit Sturm und starken Regenfällen, was in Folge oft zu Überschwemmungskatastrophen führt. Dabei werden ganze Landstriche mit Schlammwasser überflutet. Da dieses Wasser verschmutzt ist mit Erdschlamm und Bakterien, resultiert daraus für die betroffenen Menschen ein *Mangel an Trinkwasser*.

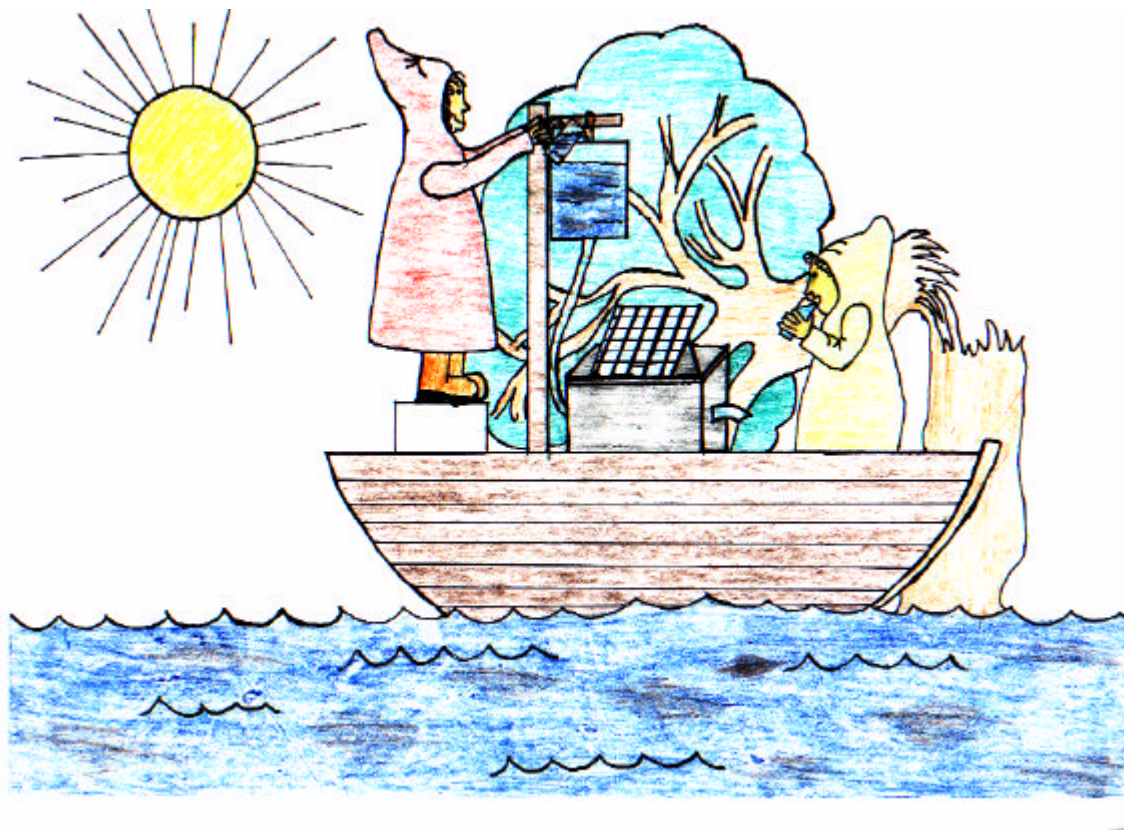


Abb. 1: Das Koffergerät im Einsatz

Im Rahmen einer '**Jugend Forscht**' Arbeit (Frühjahr 2000) haben wir ein einfach zu handhabendes gut funktionierendes Koffergerät zur **solar-betriebenen** Reinigung von Wasser durch **Membran-Crossflowfiltration** gebaut und zu einem Patent angemeldet. Die Arbeit wurde in der Kategorie 'Schüler experimentieren' mit einem **Preis Technik** sowie einem **Preis Umwelttechnik** und einem **Sonderpreis Gesundheit** gewürdigt.

Stand der Technik:

Es ist *Stand der Technik*, dass man Wasser zum Beispiel mit Hilfe von Crossflow-Filtrationstechniken, wie Mikrofiltration, Nanofiltration oder Umkehrosmose reinigen kann. Diese Methoden sind ausführlich in der allgemein zugänglichen Literatur zur mechanischen Verfahrenstechnik beschrieben.

Derartige Anlagen findet man heute in verschiedenen Ausführungsformen. Große Crossflow-Filtrations-Anlagen sind stationär in Gebäuden installiert. Kleinere Anlagen sind auch in Containern eingebaut, um sie leicht und in kompakter, anschlussfertiger Form transportieren zu können. Mobilität erreicht man dabei, indem der Container auf einem LKW bereitgestellt wird.

Zur Stromversorgung solcher Anlagen sind ebenfalls viele Varianten realisiert. Dies sind u.a. der Anschluss an das örtliche Stromnetz, oder die Versorgung über eigene Aggregate wie Dieselmotoren. Aber auch Windkraft und Photovoltaik werden zur Stromerzeugung von Containeranlagen genutzt, meist in Kombination mit einem Dieselaggregat.

Auch Kleinsysteme, die mit Notstromaggregaten betrieben werden, sind u.a. auch für militärische Einsätze verfügbar.

Nachteilig dabei ist, dass das mit Hilfe der oben genannten Anlagen gereinigte Wasser den betroffenen Menschen nicht direkt zur Verfügung steht. Es wird auch nicht von den Betroffenen, die ihre Situation und eigene Notwendigkeiten doch besser kennen als auswärtige Hilfskräfte, in eigener Regie erzeugt und verteilt. Es wird meist in Fässer sowie Flaschen abgefüllt, die dann mit Hilfe von Fahrzeugen verteilt werden müssen. Diese Art der Verteilung ist aber in Katastrophengebieten häufig nur schwer möglich, da zum Beispiel aufgrund von Erdbeben die Straßen nicht mehr passierbar sind. Der Aufwand, sowohl technischer Art als auch vom Personalaufwand her, ist damit recht hoch und folglich auch teuer, zeitaufwendig und träge.

Entwicklungsziel:

Wir setzen uns zum Ziel, etwas gegen den oben beschriebenen Notstand zu tun und ein Gerät zur Trinkwasseraufbereitung zu entwickeln, welches einfach zu handhaben, leicht transportierbar und flexibel einsetzbar ist. Hierfür schien uns ein Koffergerät geeignet zu sein.

Die Möglichkeit zu einer Teilnahme an der Aktion '**Jugend Forscht**' im Frühjahr 2000 mit diesem Thema stellte für uns noch einen zusätzlichen besonderen Anreiz dar, und war für unser Entwicklungsziel eine ideale und dankbare Plattform.

Aufgabe unserer Erfindung ist es, ein einfach zu handhabendes Koffergerät zur Reinigung von Wasser durch Membran-Crossflow-Filtration zur Verfügung zu stellen.

Voraussetzung für den uneingeschränkten eigenverantwortlichen Einsatz des Koffergeräts ist eine autarke Stromversorgung. Hierfür dienen im Koffer transportierbare **Solarmodule**. Damit ist man nicht auf ein funktionierendes Stromnetz angewiesen.

Der Koffer sollte nichtrostend, robust und dicht stapelbar sein, so dass verfügbares Transportvolumen optimal genutzt werden kann. Es ist denkbar, diese Koffer durch einen Abwurf aus der Luft an einem Fallschirm zu den betroffenen Menschen zu bringen.

Aufbau des Koffergeräts:

Der Koffer besteht aus Aluminium und hat einen Klappdeckel. Er ist 78 cm lang, 38 cm breit und 38 cm tief. Vorne hat er zwei Schnappverschlüsse und an den beiden Seiten befinden sich zwei Handgriffe. Der Deckel liegt auf einer Gummidichtung.

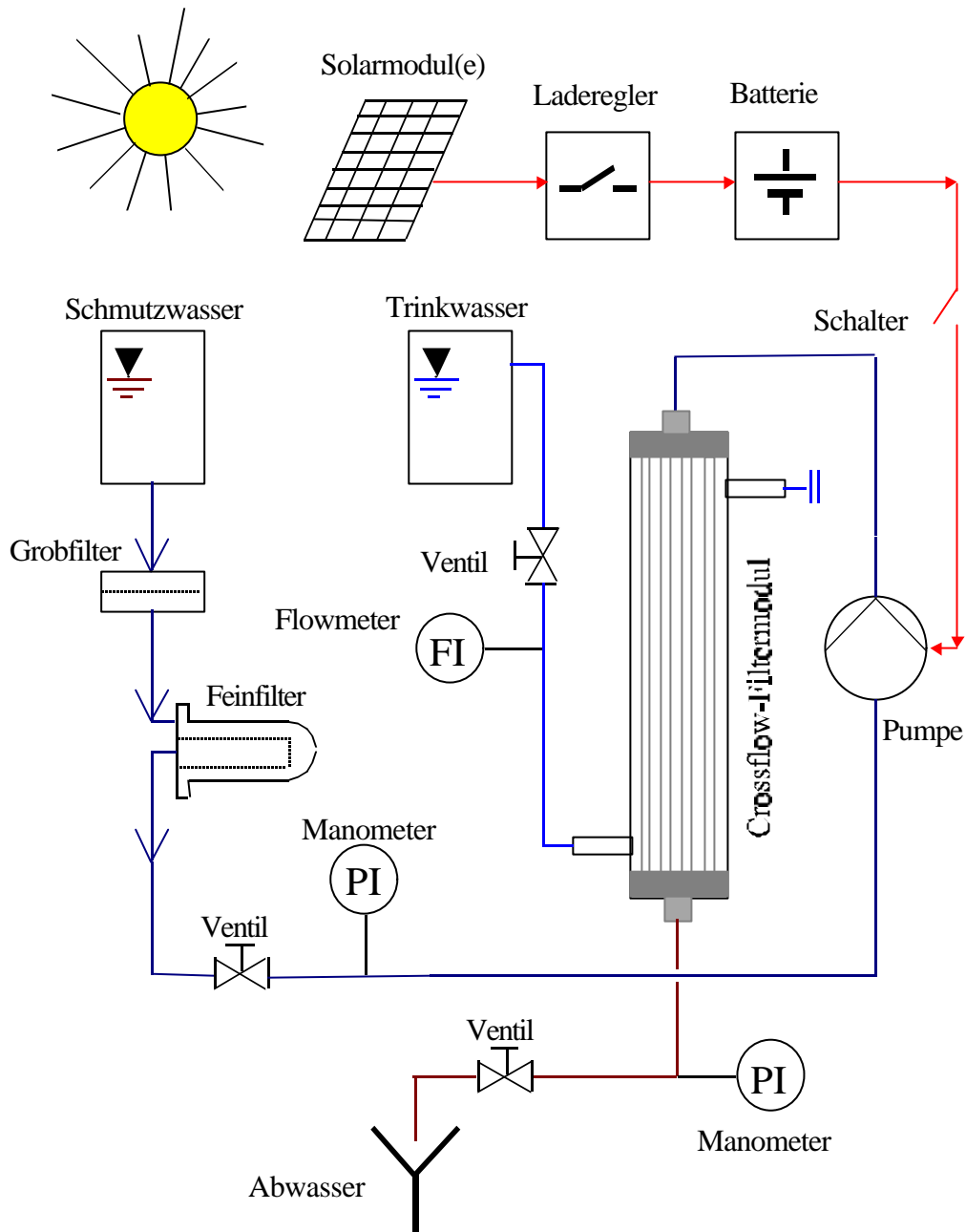


Abb. 2: Verfahrensschema

Außen an der linken Seite des Koffers befindet sich der Anschluss für das zu reinigende Wasser und auf der rechten die Stutzen für das trinkbare Wasser sowie das konzentrierte Schmutzwasser. Unten auf dem Boden des Koffers liegt eine Montageplatte, die auf Gumminoppen (Türstopper) steht. Bei der Montage haben wir alle wasserführenden Teile mit Rohrschellen auf dieser Platte befestigt.

An den Innenwänden des Koffers haben wir die Batterie und den Laderegler befestigt. Sie sind so weit über dem Boden, dass die elektrischen Teile nicht mit Wasser in Berührung kommen können.

Für die Solarmodule haben wir eine horizontale Ablagevorrichtung an den Koffer-Innenwänden montiert, auf die man die Module legen kann. Zum Schutz sollte noch eine Schaumstoffmatte oder eine Styroporplatte auf die Solarmodule gelegt werden.

Der Schmutzwasser- und Trinkwasserbeutel mit den dazugehörigen Schläuchen zum Anschließen an die außen angebrachten Stutzen sind in den Koffer hineingelegt. Ebenso der Einfülltrichter und Filtertücher.

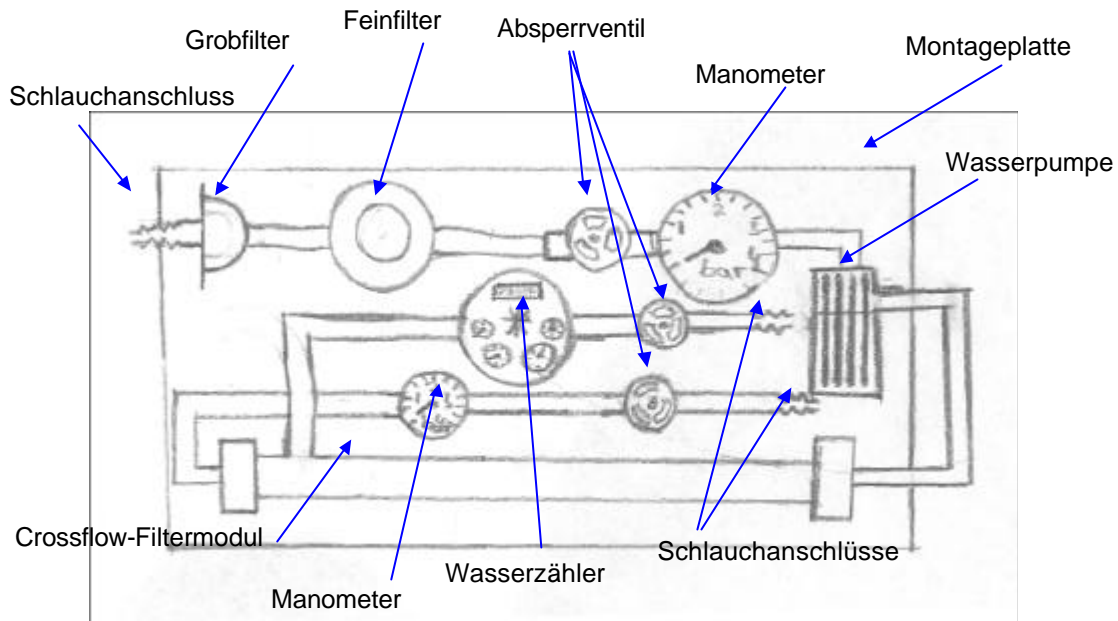


Abb. 3: Plan für die Montageplatte

Die folgende **Teile-Liste** gibt einen Überblick über die verwendeten Komponenten:

- Beutel zum Einfüllen des Schmutzwassers
- Trichter und Filtertücher zum Einfüllen des Schmutzwassers in den Beutel
- Bechergefäß zum Füllen des Trichters
- Grobfilter und Feinfilter zur Vorfiltration vor dem Crossflow-Filtermodul
- Hand-Absperrventile zum Filtermodul
- Eingangsdruk-Manometer zum Filtermodul
- Wasserpumpe zur Erzeugung des erforderlichen Filtrationsdrucks
- Crossflow-Filtermodul / Mikrofiltrationsmodul, 0,2µm Porenweite
- Filtrationsdruck-Manometer nach dem Filtermodul
- Hand-Absperrventil, Drosselventil zur Erzeugung des Filtrationsdrucks
- Abwasserabflusstutzen
- Wasserzähler für das gewonnene saubere Wasser
- Hand-Absperrventil, Trinkwasserleitung
- Trinkwasser-Abfüllstutzen
- Beutel als Trinkwasser-Sammelbehälter
- Solarmodul zur Umwandlung von Sonnenenergie in Strom
- Laderegler und Batterie zur Energiespeicherung
- Rohrleitungen und Kunststoffschläuche
- Verkabelung der elektrischen Komponenten
- Aluminiumkoffer, leicht und rostet nicht
- Montageplatte zur Befestigung der Rohrleitungen
- Befestigungsvorrichtungen für Laderegler, Batterie usw. im Koffer
- Aufnahmefach für das Solarmodul für den Transport im Koffer
- Wasser-Analyse-Set / kleines Wasserlabor
- Reinigungsmittel für das Filtermodul und die Wasserleitungen
- wasserfeste Bedienungsanleitung

Ein Wasser-Analyse-Set ist an der vorderen Koffer-Innenwand befestigt. Die Reinigungsmittel für das Filter-Modul können in Kunststoffflaschen auf den Kofferboden gestellt werden.

Die Bedienungsanleitung ist unter dem Kofferdeckel in einer Plastikfolie geschützt angeklebt. Wenn man den Kofferdeckel hochklappt, kann man die Anleitung bequem lesen.

Technische Daten einiger eingebauter Komponenten

- Wasserpumpe zur Erzeugung des erforderlichen Filtrationsdrucks
12V=2,8A (max. 3,2A) max. 1200 l/h, Förderhöhe 10m (1 bar)
Kreiselpumpe, nicht für den Dauerbetrieb geeignet, 50% ED
- Crossflow-Filtermodul / Mikrofiltrationsmodul, 0,2µm Porenweite
Modul mit poröser und symmetrisch aufgebauter Membran aus Polypropylen (PP) mit einer Porengröße von 0,2 micron.

Damit werden Bakterien mit einer Abscheiderate von 99,9999% abgetrennt.

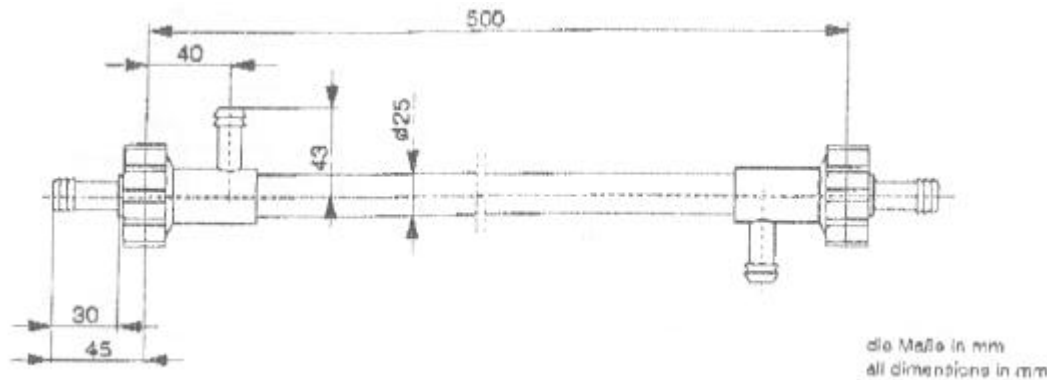


Abb. 4: Crossflow-Filtermodul

Die Filterelemente bilden 40 Kapillar-Röhrchen mit einem Innendurchmesser von je 1,8mm. Damit ergibt sich eine Filterfläche von insgesamt 0,1m² mit einer Anströmfläche von 1,0cm².

Die maximale Betriebs-Temperatur beträgt 40°C. Eine besonders wichtige Größe ist der maximal mögliche Druck auf die Membran von innen nach außen (transmembraner Druck). Er beträgt:

bei 25°C	1,6 bar
bei 40°C	1,4 bar

- Solarmodul zur Umwandlung von Sonnenenergie in Strom
c-Si-Folienmodul 12V 9,0W (IBC Solartechnik)

Max. Leistung:	9 Wp
Leerlaufspannung:	23,4 V
Kurzschlußstrom:	0,51 A
Abm. (L*B) mm:	333*320

Bem.: Es können auch andere Modultypen benutzt werden, und mehrere Module lassen sich parallel verschaltet einsetzen.
(40 Wp sind hier schätzungsweise erforderlich !)

- Laderegler und Batterie zur Energiespeicherung

Der *Laderegler* verbindet das Solarmodul mit der Batterie und die Batterie mit der Pumpe. Er sorgt für eine Spannungsanpassung und schützt das Solarmodul vor Stromrückfluß. Dabei wird die Batterie vor Überladung und Tiefentladung bewahrt.

Bei der *Batterie* handelt es sich um einen Dryfit Solarakku (wartungsfrei):

Spannung:	12 V	Kapazität:	6,6 Ah
Gewicht:	2,2 kg	Abm.(L*B*T) mm:	152*66*99

Funktionsweise des Koffergeräts:

Das Solarmodul muss so aufgestellt werden, dass die Sonne möglichst gut darauf strahlen kann (auf dem Koffer oder daneben).

Der Beutel für die Schmutzwasser-Vorlage sollte etwas erhöht aufgehängt werden, zum Beispiel an einem Ast eines Baumes. Dann wird ein Filtertrichter auf die Füllöffnung gesetzt und mit Filtertuch ausgelegt. Durch dieses Filter wird das schmutzige Wasser in den Beutel eingefüllt. Dadurch wird der größte Anteil an Schlamm schon abgetrennt.

Das Filtertuch kann leicht immer wieder ab gespült werden. Ist der Beutel gefüllt, so muss der Beutel für das zu erzeugende Trinkwasser angeschlossen und ebenfalls aufgehängt werden. Natürlich können die Beutel auch einfach nur hoch gehalten werden. Um das aufkonzentrierte Schmutzwasser abfließen zu lassen, muss man einen Abflussschlauch an den Koffer anschließen. Dann kann man die Ventile auf der Montageplatte öffnen und die Wasserpumpe einschalten. Sofort anschließend dreht man das Abwasser-Absperrventil fast zu, bis nur wenig Abwasser abfließt und ausreichend Trinkwasser erzeugt wird. Den sich im Filtermodul aufbauenden Druck kann man dann am Abfluss-Manometer ablesen. Der Druck sollte nicht über 1,5 bar steigen, sonst könnten die Filterröhrchen im Modul platzen.

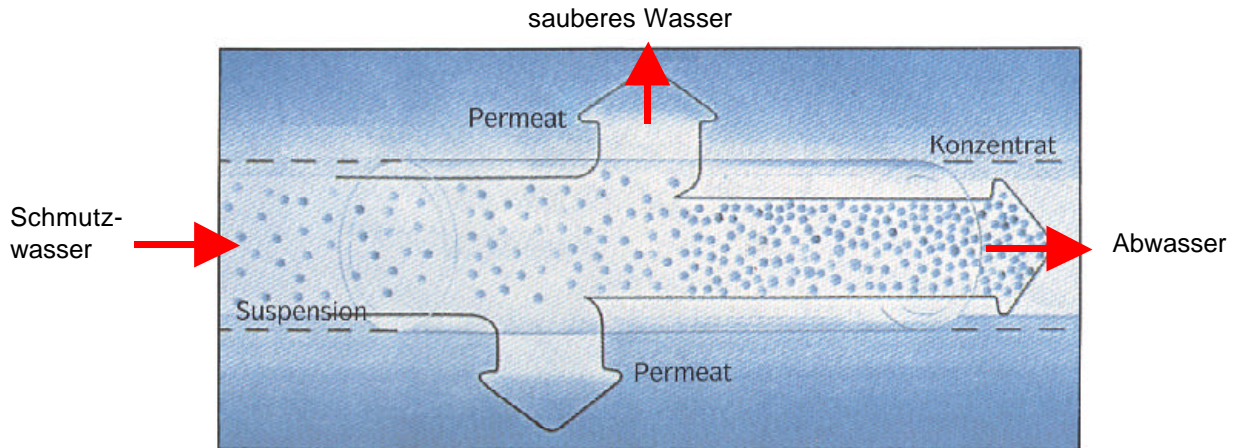


Abb. 5: Funktionsweise einer Crossflow-Membran

Wenn das Wasser fließt, strömt es schon vorgereinigt aus dem Vorlagebehälter über den Grob- und Feinfilter mit Hilfe der Pumpe durch das Filtermodul. Dort wird der restliche Schmutz und die Bakterien angesammelt.

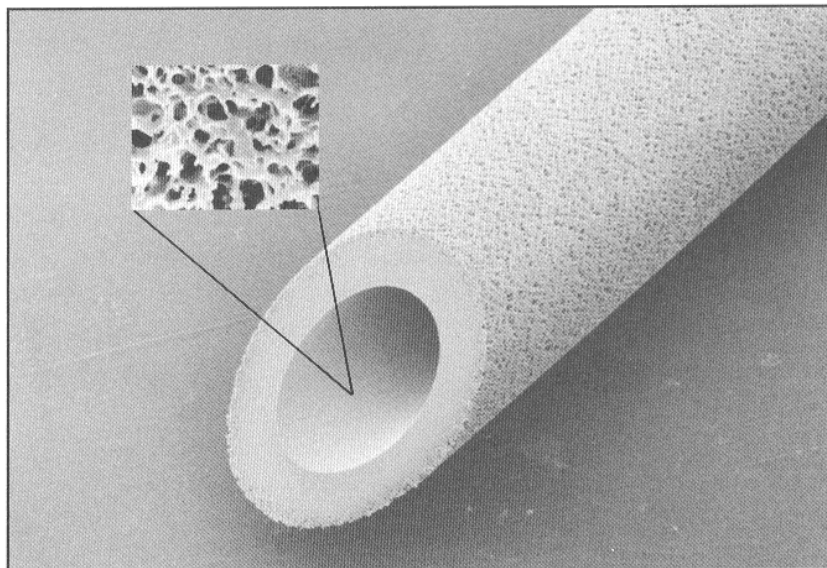


Abb. 6: Elektronenmikroskop-Aufnahme der Membran aus PP

Wenn die Filterleistung spürbar nachlässt, so kann man das Absperrventil in der Abwasserleitung kurz öffnen. Dann strömt das Wasser frei durch die Kapillaren und kann den Schmutz ausspülen. Danach kann man das Ventil wieder zudrehen und weiter filtern. Abb. 5 verdeutlicht, wie die Crossflow-Filtration funktioniert. Der Name kommt daher, da das Wasser quer zur Strömung gefiltert wird. Dadurch bleibt die Filterfläche fast frei.

Am besten lässt sich die Funktionsweise durch die folgende Bedienungsanweisung verdeutlichen:

Bedienungsanleitung

- stelle den Koffer auf einen trockenen Platz mit ausreichender Sonneneinstrahlung
- hole die Beutel und die Schläuche aus dem Koffer und schließe sie an
- hänge die Beutel nach Möglichkeit mannshoch auf
- hole den Trichter, das Bechergefäß und die Filtertücher aus dem Koffer
- stelle das Solarmodul in die Richtung zur Sonne, auf den Koffer oder daneben
- stecke den Trichter mit Filtertuch auf den Schmutzwasserbehälter
- ◊ fülle Schmutzwasser mit dem Bechergefäß in den Trichter bis der Beutel voll ist
- alle Ventile öffnen
- sobald die Pumpe mit Wasser gefüllt ist, Pumpe einschalten
- einige Sekunden warten
- das Abwasserventil zudrehen, bis das Manometer davor ca. 0,9 bar anzeigt
- wenn jetzt sauberes Wasser erzeugt wird, ist alles in Ordnung
- wenn der Schmutzwasserbehälter fast leer ist, Pumpe ausschalten
- Ventile schließen, Trinkwasserbeutel entleeren falls nötig
- gehe zu ◊, solange bis genug sauberes Wasser zum Trinken vorhanden ist
- zum Ende schraube den Schmutzwasserschlauch ab
- schließe statt dessen den Beutel mit dem sauberen Wasser an
- öffne Schmutzwasser-Zulauf- und Ablaufventil
- Pumpe einschalten
- wenn die Rohrleitungen sauber gespült sind, Pumpe ausschalten, Ventile zu
- beide Beutel entleeren
- Vorgang ist beendet, alles wieder in den Koffer einpacken

Versuchsergebnisse:

Die erste Messung dient der Aufnahme einer Pumpenkennlinie. Dazu haben wir das Ventil auf der Filtratseite geschlossen und das Eingangsventil geöffnet. Das Abwasserventil haben wir dann zunächst auch ganz aufgedreht und dann allmählich zuge dreht, bis kein Wasser mehr hindurch fließen konnte. Dabei stieg der Druck hinter der Pumpe an. Wir haben dann verschiedene Drücke eingestellt und den Wasserdurchfluss gemessen.

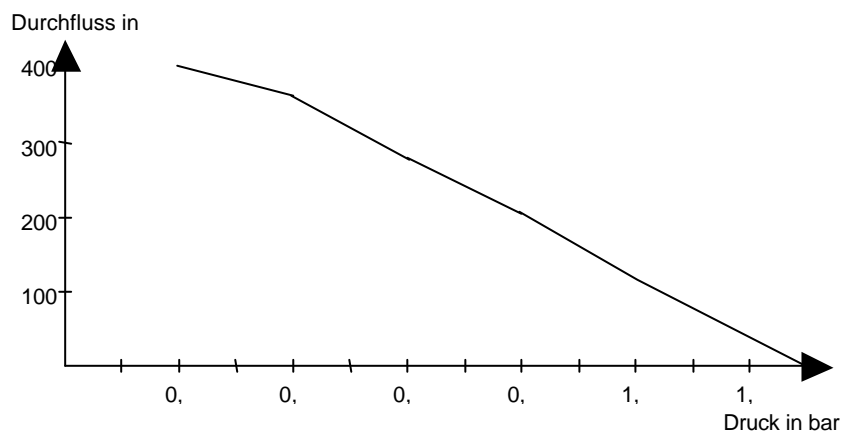


Abb. 7: Pumpe-Abwasserventil-Kennlinie

Die Pumpe kann danach höchstens einen Druck von 1,3 bar aufbringen. Damit können die Filtrerröhrchen also nicht platzen. Danach wollten wir wissen, wie gut durchlässig die Poren des Crossflow-Moduls sind. Dazu öffneten wir das Ventil auf der Trinkwasserseite und stellten beim Filtrieren einen Druck von 0,5 bis 1 bar ein, indem wir das Abwasserventil teilweise und ganz zudrehten. Um die Durchflüsse zu messen, haben wir auch hier wieder abwechselnd die Zeit gestoppt, die das gefilterte und ungefilterte Wasser brauchten, um einen 5l-Eimer zu füllen.

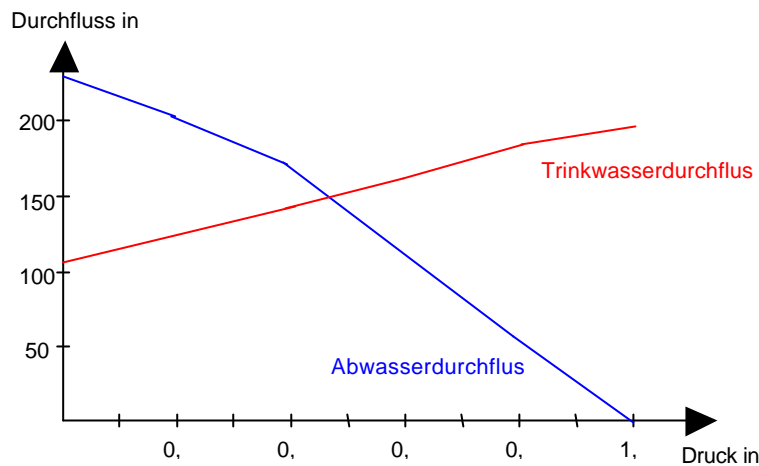


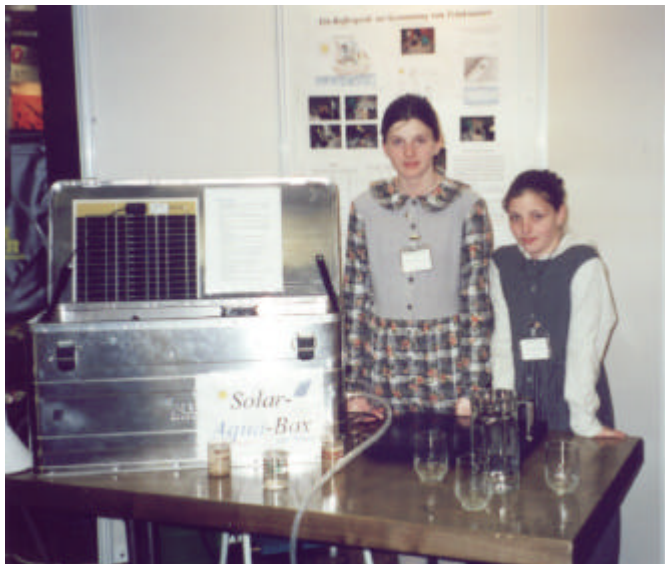
Abb. 8: Leitungswasser-Filtrationskennlinie

Diese Kennlinien stellen sozusagen die ideale Filtration dar, denn eine richtige Anwendung auf Schmutzwasser kann ja nicht besser sein als reines Leitungswasser. Deshalb stellt der hier gemessene Durchfluss für das Filtrat eine obere Grenze dar. Das wollten wir mit richtigem Schmutzwasser überprüfen. Zu diesem Zweck haben wir Wasser aus unserem Gartenteich geholt. Dieses Wasser ist sehr trübe und wurde von uns mit Hilfe eines Filtertuchs vorgereinigt. Dieses Wasser sah allerdings noch immer ziemlich trübe aus und roch auch ganz schön muffig. Dann haben wir 2,77 Liter von diesem Wasser gefiltert und brauchten dafür 105s. Damit haben wir einen guten Test für das Koffergerät mit dem Ergebnis:

Druck [bar]	gefilterte Liter	Filtrationszeit [s]	Durchfluß [l/h]
0,9	2,77	105	95

Tabelle 1 Messung des Filtrat-Durchflusses mit Teichwasser

Wie erwartet ist also der Durchfluss für das gefilterte Wasser geringer als bei reinem Leitungswasser, und zwar nur ein klein wenig mehr als die Hälfte davon. Aber das gefilterte Wasser hat uns nicht enttäuscht, es war sehr sauber und roch ganz normal.



* Birgit und Inge Brinkmann
 Leckingser Str. 149
 58640 Iserlohn
 Tel: 02371 /460375, Fax: 023371 / 944478
 E-Mail: klaus.brinkmann@fernuni-hagen.de

**



Umwelt-Processtechnik
 Dr. Klaus Brinkmann
 Environmental Process Engineering

Leckingser Str. 149 Tel. +49 (02371) 94 44 77
 D - 58640 Iserlohn Fax. +49 (02371) 94 44 78

E-mail: Klaus.Brinkmann@envipro.de
 http://www.envipro.de