



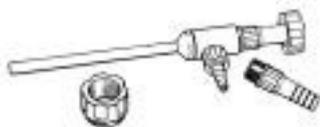
## Umweltaspekte der Vakuumerzeugung

### Zusammenfassung

Bei vielen Arbeiten im Labor ist der Einsatz von Vakuum notwendig. Zur Erzeugung des Vakuums können im Labor zum einen Wasserstrahlpumpen, zum anderen Vakuumpumpen (Öl-, Membranpumpen) benutzt werden. Aufgrund des Stoff- und Energieverbrauchs der Vakuumerzeugung und der damit verbundenen Umweltlasten, sollte Vakuum nur dann eingesetzt werden, wenn es wirklich notwendig ist. Muss für einen Arbeitsschritt Vakuum verwendet werden, dürfen, wenn die technischen Möglichkeiten vor Ort dies erlauben, Wasserstrahlpumpen nicht mehr eingesetzt werden. Günstiger ist es, Vakuumpumpen zu verwenden. Aus dem großen Angebot der Vakuumpumpen sind, wenn möglich, drehzahlgeregelte Pumpen zu verwenden.

### Die Umweltlast der Vakuumerzeugung

Die Nutzung von Vakuum ist ein unverzichtbarer Bestandteil vieler Arbeitsschritte im Labor. Einsatzbereiche sind die Destillation und Sublimation unter vermindertem Druck sowie das Trocknen und das Filtrieren. Im Laborbereich kann Vakuum durch Wasserstrahlpumpen oder durch Öl- und Membranpumpen bereitgestellt werden. Wie beim Energieeintrag (s.d.) konnte gezeigt werden, dass die Vakuumerzeugung durch die benötigte Energie eine der eigentlichen Umsetzung adäquate oder höhere Umweltlast erzeugt.



**Abb. 1:** Beispiel Wasserstrahlpumpe



**Abb. 2:** Beispiel Vakuumpumpe

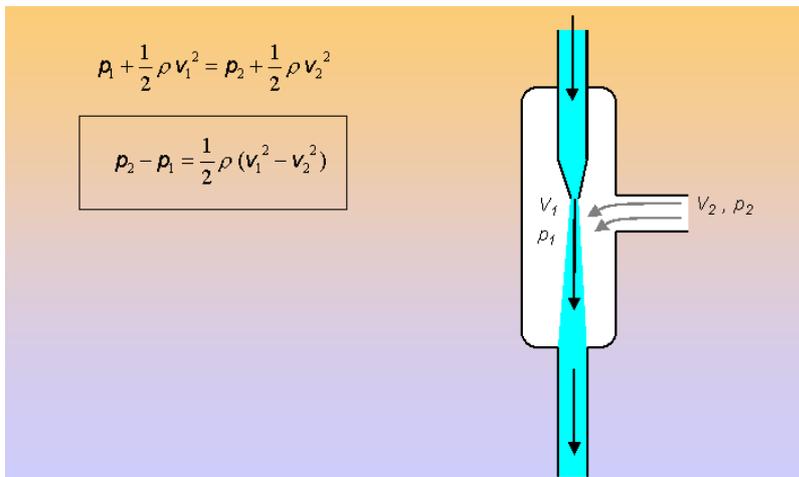
Welche Methode der Vakuumerzeugung aus "reiner" ökologischer Sicht die Günstigste ist, kann und soll in diesem Text nicht abschließend geklärt werden. Eine valide Aussage darüber lässt sich nur treffen, wenn die unterschiedlichen Systeme auf der Grundlage eines



ganzheitlichen Ansatzes untersucht und bewertet werden. Wenngleich für verlässliche Aussagen eine detaillierte Untersuchung unverzichtbar ist, lässt sich unter Berücksichtigung von Art und Größe der unterschiedlichen Umweltauswirkungen, die günstigste Methode der Vakuumerzeugung abschätzen. Für diese Abschätzung wurden unterschiedliche (Labor-)Geräte zur Vakuumerzeugung auf ihren Stoff- bzw. Energieverbrauch hin untersucht und dieser Verbrauch daraufhin bewertet.

### Die Verwendung von Wasserstrahlpumpen

Bei Wasserstrahlpumpen wird unter Druck stehendes Wasser über den Treibanschluss eingeleitet. Die nachgeschaltete Düse setzt die statische Energie in kinetische Energie um, wodurch sich die Geschwindigkeit des Treibstromes erhöht und gleichzeitig hinter der Düse eine Zone mit geringem Druck entsteht.



**Abb. 3:** Funktionsprinzip Wasserstrahlpumpe

Der Einsatz von Wasserstrahlpumpen ist aufgrund des Dampfdruckes von Wasser auf Arbeiten begrenzt, die einen geringeren Anspruch an die Qualität des Vakuums haben ( $\geq 16$  hPa). Ein weiterer Nachteil von Wasserstrahlpumpen besteht darin, dass flüchtige Substanzreste (Lösungsmittel) bei üblicher Laborpraxis unweigerlich in das Abwasser gelangen. Ebenfalls ist die Saugleistung von Wasserstrahlpumpen im Vergleich zu Vakuumpumpen oft geringer. Ein großer Vorteil des Einsatzes von Wasserstrahlpumpen ist

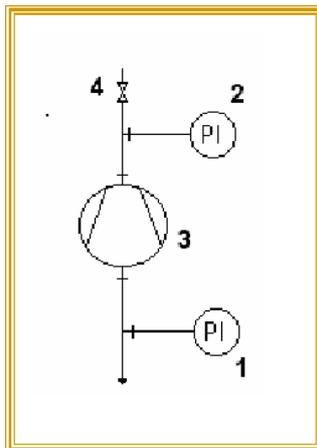


der geringe Anschaffungspreis und damit nahe liegend die im Vergleich niedrige ökologische Last der Herstellung der Apparaturen.

Um eine Aussage über die durch die Benutzung von Wasserstrahlpumpen hervorgerufene Umweltlast zu treffen, wurden unterschiedliche Geräte untersucht. Weiterhin wurde in einer Umfrage Durchschnittswerte des Energieverbrauchs der Bereitstellung von Trinkwasser ermittelt.

### Der Wasserverbrauch bei der Vakuumerzeugung

Für die Beurteilung des Wasserverbrauchs von Wasserstrahlpumpen bei der Vakuumerzeugung wurden drei Wasserstrahlpumpen unterschiedlicher Hersteller untersucht. Dabei wurde folgender Versuchsaufbau (Abb. 4) verwendet:



- 1.... Manometer Saugseite
- 2.... Manometer Wasserseite
- 3.... Wasserstrahlpumpe
- 4.... Regelventil

**Abb. 4:** Aufbau zur Messung des Wasserverbrauchs von Wasserstrahlpumpen

Die untersuchten Wasserstrahlpumpen erreichten ihren maximalen Unterdruck erst nach einigen Minuten. Der Leitungsdruck von 4.8 bar war dabei während der gesamten Messung konstant. Tab. 1 zeigt die für die verschiedenen Wasserstrahlpumpen ermittelten Verbrauchswerte.



	Wasserstrahlpumpe			
	Kunststoff	Glas 1	Glas 2	
Vakuum Start	40	40	40	hPa
Vakuum nach 20 min	26	36	34	hPa
Wasserverbrauch	8,74	6,95	6,57	L/min

**Tab. 1:** Wasserverbrauch Wasserstrahlpumpen

Wie bereits erwähnt, wird zwar bei der Vakuumerzeugung mit Hilfe von Wasserstrahlpumpen keine elektrische Energie verbraucht, wohl aber bei der Trinkwassererzeugung und Bereitstellung.

### Wasserstrahlpumpen – Energieverbrauch in den Vorketten

Die bei der Trinkwassererzeugung und Bereitstellung z.B. durch Pumpen verbrauchte Energie ist der Vakuumerzeugung mittels Wasserstrahlpumpe direkt zuzurechnen. Weiterhin müssen die Stoff- und Energieströme zur Herstellung von Produkten berücksichtigt werden, die bei der Trinkwasseraufbereitung benötigt werden. Darunter fällt z.B. der Einsatz von Chlor oder von Korrosionsschutzmitteln zum Schutz des Leitungsnetzes. Die in folgender Tabelle (Tab. 2) angegebenen Werte wurden in einer Umfrage bei verschiedenen Wasserproduzenten ermittelt.

Wasserwerk	produzierte Trinkwassermenge (m <sup>3</sup> )	Energie el. (kWh/ m <sup>3</sup> )	Chlor (g/m <sup>3</sup> )	NaOCl (g/m <sup>3</sup> )	Korrosionsschutz (g/m <sup>3</sup> )
1	2655000	1,28	0,29	0,72	6,48
2	6852136	0,94	0,23	0,31	0,68
3	9813655	0,35	0,12	0,00	0,00
4	10970963	0,21	0,06	0,97	1,45
5	1236547	0,66	0,00	0,40	0,00

**Tab. 2:** Energie- und Stoffverbrauch der Trinkwasserbereitstellung



Durchschnittlich werden nach diesen Angaben pro  $\text{m}^3$  Trinkwasser rund 670 Wh (1 Wh = 3.6 kJ) Energie benötigt. Bei einem durchschnittlichen Wasserverbrauch einer Wasserstrahlpumpe von rund 7 L/min ergibt sich damit als Umweltlast zusätzlich zum Wasserverbrauch ein Energieverbrauch von rund **5 Wh/min**.

Nachdem der Stoff- und Energieverbrauch für verschiedene Wasserstrahlpumpen ermittelt wurde, soll nachfolgend die Nutzung von Vakuumpumpen untersucht werden.

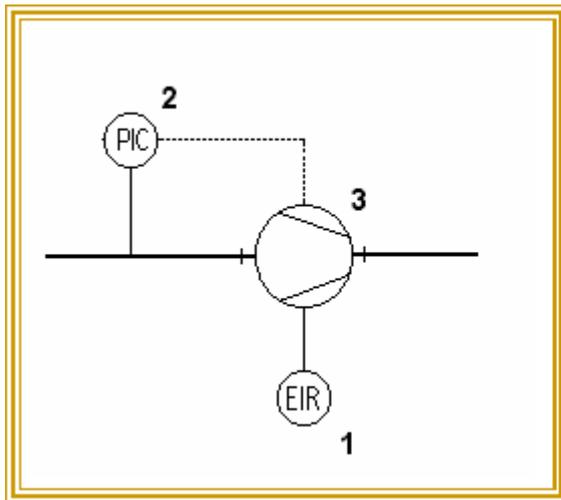
## Die Verwendung von Vakuumpumpen

Alternativ zum Einsatz von Wasserstrahlpumpen können zur Erzeugung von Vakuum im Labor auch elektrisch betriebene Vakuumpumpen eingesetzt werden. Ihr, im Vergleich zur Wasserstrahlpumpe, genereller Nachteil ist der hohe Preis bei der Beschaffung. Weitere Nachteile sind beispielsweise der Anfall von Altöl bei Ölpumpen oder die Notwendigkeit des Einbaus von Kühlfallen um Substanzreste zu kondensieren und damit zurückzuhalten. Um einen Vergleich von Wasserstrahlpumpen und Vakuumpumpen durchzuführen, wurden unterschiedliche Pumpen auf ihren Energieverbrauch hin untersucht.



### Vacuubrand Modell „MZ 2C/1,7“

Das Modell Vacuubrand MZ 2C/1,7 (Saugleistung 2.4 m<sup>3</sup>/h; Enddruck <15 hPa) ist eine klassische Membranpumpe.



- 1...Energiesmessung
- 2...Druckeinstellung/Druckregelung
- 3...Membranpumpe

**Abb. 5:** Aufbau zur Messung des Energieverbrauchs -Membranpumpe

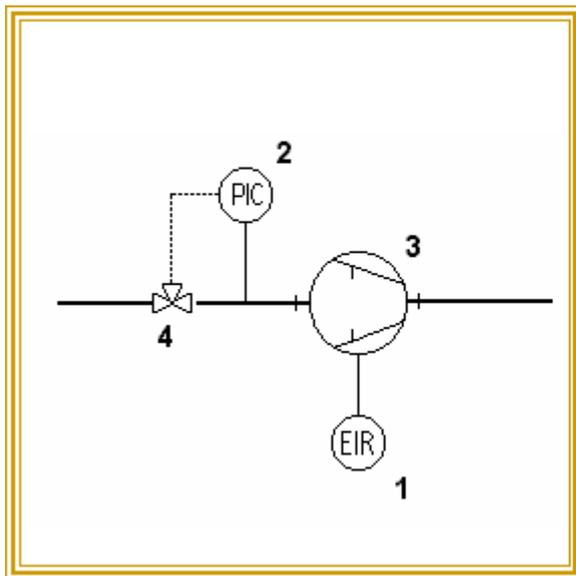
Bei voller Gasbelastung weist die Pumpe einen Verbrauch von rund 3.1 Wh/min auf, ohne Gasbelastung bei einem erreichten maximalen Druck von 60 hPa rund 2.6 Wh/min. Der Energieverbrauch mit und ohne Gasbelastung ist als annähernd gleich anzusehen. Der Pumpe wird deshalb ein von der Gasbelastung unabhängiger durchschnittlicher Energieverbrauch von 2.8 Wh/min zugewiesen.

Vacuubrand Modell MZ 2C/1,7			
Verbrauch (Wh/min)	Versuch Nr.	1013 hPa	60 hPa
	1	3,08	2,58
	2	3,10	2,52
	3	3,06	2,61
	4	3,07	2,53
	5	3,04	2,51
	6	3,07	2,63
	7	3,03	2,56
	8	3,04	2,60

**Tabelle 3:** Energieverbrauch Vakuumpumpe Vacuubrand MZ 2C/1,7

### Ölpumpe Leybold/Heraeus Modell “trivac D2A”

Die untersuchte Drehschieberölpumpe Leybold/Heraeus Modell trivac D2A (Saugleistung 2.0 m<sup>3</sup>/h) zeigt bei allen untersuchten Drücken annähernd gleichen Energieverbrauch. Dieser liegt im Mittel bei 5.4 Wh/min.



- 1...Energiesmessung
- 2...Druckmessung/Druckregelung
- 3...Drehschieberölpumpe
- 4...Dreiwegeventil

**Abb. 6:** Aufbau zur Messung des Energieverbrauchs – Drehschieberölpumpe

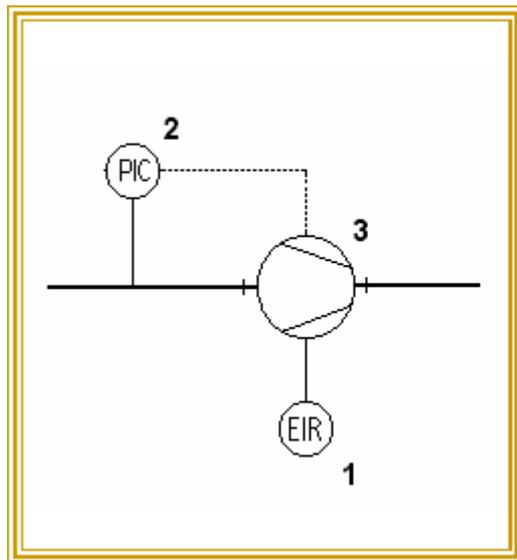
Ölpumpe Leybold/Heraeus Modell trivac D2A					
Verbrauch (Wh/min)	Versuch Nr.	1010 hPa	600 hPa	200 hPa	1 hPa
	1	5,28	5,36	5,52	5,52
	2	5,12	5,36	5,50	5,55
	3	5,28	5,35	5,52	5,60
	4	5,24	5,34	5,51	5,69
	5	5,23	5,35	5,53	5,53
	6	5,26	5,54	5,48	5,73
	7	5,24	5,16	5,51	5,59
	8	5,25	5,34	5,52	5,60

**Tabelle 4:** Energieverbrauch Vakuumpumpe Leybold/Heraeus trivac D2A



### Vacuubrand Pumpstand Modell "CVC 2000"

Diese Vakuumpumpe (Saugleistung 1.6 m<sup>3</sup>/h; Enddruck <2 hPa) ist eine drehzahl-gesteuerte Ölpumpe, d.h. das Vakuum wird nicht wie üblich über eine Belüftung eingestellt, sondern in Abhängigkeit der Drehzahl geregelt.



- 1...Energiesmessung
- 2...Druckeinstellung/Druckregelung
- 3...Membranpumpe

**Abb. 7:** Aufbau zur Messung des Energieverbrauchs - Pumpstand

Die Messungen ergaben bei voller Gasbelastung einen durchschnittlichen Verbrauchswert von 0.94 Wh/min. Die Messungen bei niedrigeren Drücken sind weniger repräsentativ, da die Pumpe sich bei Erreichen des Zieldruckes selbsttätig ausschaltet. Es ist daher davon auszugehen, dass der Energieverbrauch im Betrieb über den in Tabelle 5 angegebenen Werten, jedoch unterhalb des Verbrauchs der vollen Gasbelastung liegt.



Drehzahlgesteuerter Pumpstand Vakuubrand "CVC 2000"					
Verbrauch (Wh/min)	Versuch Nr.	1010 hPa	600 hPa	200 hPa	3 hPa
	1	0,65	0,15	0,23	0,18
	2	0,96	0,12	0,11	0,16
	3	0,95	0,12	0,12	0,19
	4	0,94	0,12	0,12	0,18
	5	0,93	0,13	0,11	0,19
	6	0,93	0,12	0,12	0,17
	7	0,94	0,12	0,11	0,19
	8	0,92	0,13	0,12	0,18

**Tabelle 5:** Energieverbrauch Vakuumpumpe Vacuubrand CVC 2000

## Ergebnis

### Allgemein:

Ähnlich der Operation des Heizens (s.d.) hat auch der Einsatz von Vakuum unmittelbar Einfluss auf den Stoff- und Energieverbrauch einer Synthese und damit auf deren Umweltlast. Aufgrund der Tatsache, dass die Erzeugung von Vakuum oft den größten Anteil am Gesamtenergieverbrauch einer Reaktion einnimmt, sollte Vakuum nur dann eingesetzt werden, wenn andere Trennmethode nicht den gewünschten Erfolg versprechen.

### Konkret:

Ein hoher Wasserverbrauch und ein im Vergleich zu Vakuumpumpen nicht deutlich geringerer Energieverbrauch führen bei Wasserstrahlpumpen zu einer hohen Gesamtumweltlast. Wenn möglich, sollten aus ökologischer Sicht deshalb Vakuumpumpen anstatt Wasserstrahlpumpen zur Vakuumerzeugung eingesetzt werden.

Unter der großen Zahl der zur Verfügung stehenden Vakuumpumpen sollten aus ökologischer Sicht jene verwendet werden, die ihre Saugleistung mittels Drehzahlregelung verändern und dadurch zu einer verringerten Umweltlast beitragen.