

Eine photovoltaisch betriebene modifizierte Kaskadenspülung mit Membrantechnik zur Minimierung des Wasserverbrauchs

Dipl.-Phys. Dr.-Ing. Klaus Brinkmann

FernUniversität 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
 Adresse bei Rückfragen siehe *

Einleitung: Es zeichnet sich für die Zukunft weltweit ein gravierendes Problem bezüglich der Wasserversorgung ab, was auch von den Vereinten Nationen in etlichen Studien gesehen wird. Es ist schon in naher Zukunft mit einem starken Anstieg von einem *Mangel an Trinkwasser* in den verschiedensten Regionen der Erde zu rechnen [1]. Erschwert wird die Situation der Wasserknappheit dann noch zusätzlich, wenn das kostbare Gut Wasser ebenfalls für unverzichtbare Reinigungsvorgänge benötigt wird. Die Versorgung mit Trinkwasser ist zusätzlich eng mit den Energieversorgungsmöglichkeiten gekoppelt. Somit müssen Problemstellungen zur Wasserversorgung und Energietechnik immer mehr in einem Gesamtkontext gesehen und behandelt werden, wobei den erneuerbaren Energiequellen eine Schlüsselfunktion beizumessen ist. Im folgenden wird ein vom Autor zum Patent angemeldetes Verfahren vorgestellt. Dies ist ein photovoltaisch betriebenes effizientes Reinigungssystem, mit dessen Hilfe Wassereinsparungen von über 50% vorstellbar sind.

Kaskadenspülprozess: Es ist bekannt, dass Spülvorgänge besonders wassersparend arbeiten, wenn man die sogenannte Kaskadentechnik einsetzt. Dabei durchläuft das Spülgut verschiedene hintereinander angeordnete Becken. Der zu reinigende Gegenstand wird der Reihe nach in den Becken gespült, wobei das Spülwasser von Becken zu Becken sauberer ist.

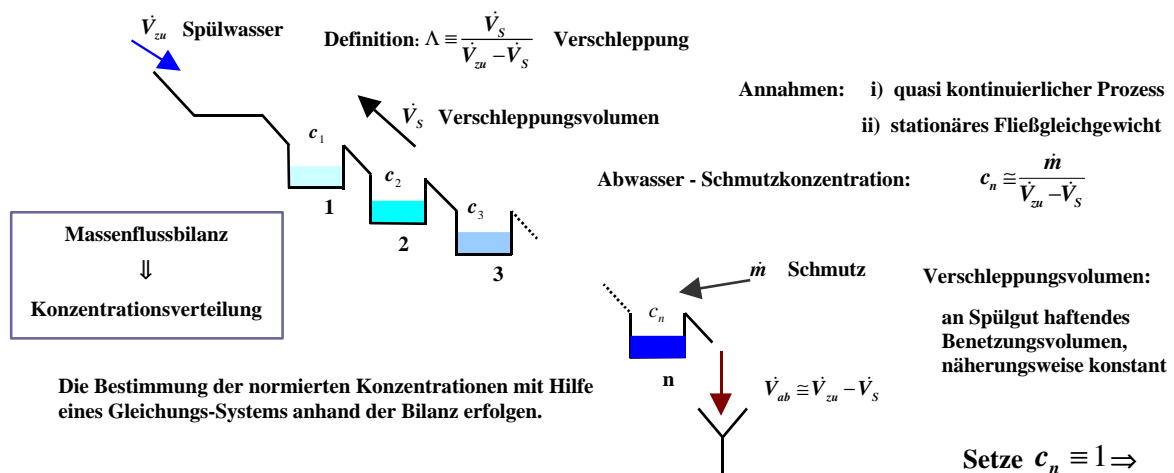


Abb. 1 vereinfachtes Modell der Kaskadenspülung

Mit den vereinfachenden Annahmen, entsprechend den in Abb. 1 gezeigten Verhältnissen, eines quasi-kontinuierlichen Spülvorgangs mit dem damit verbundenen sich einstellenden stationären Fließgleichgewichtes, können die Konzentrations-Verhältnisse in den einzelnen Becken mit Hilfe eines Gleichungssystems näherungsweise berechnet werden:

$$(\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_1 = \dot{V}_S \cdot c_2 - \dot{V}_S \cdot c_1 \quad (1)$$

$$(\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_2 = (\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_1 - \dot{V}_S \cdot c_2 + \dot{V}_S \cdot c_3 \quad (2)$$

$$(\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_3 = (\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_2 - \dot{V}_S \cdot c_3 + \dot{V}_S \cdot c_4 \quad (3)$$

$$\vdots$$

$$(\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_{i-1} = (\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_{i-2} - \dot{V}_S \cdot c_{i-1} + \dot{V}_S \cdot c_i$$

$$\vdots$$

$$(\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_{n-1} = (\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_{n-2} - \dot{V}_S \cdot c_{n-1} + \dot{V}_S \cdot c_n \quad \Rightarrow \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} (1+\Lambda) & -\Lambda & 0 & & & \\ -1 & (1+\Lambda) & -\Lambda & 0 & & \\ 0 & -1 & (1+\Lambda) & -\Lambda & 0 & \\ & & \cdot & & & \\ & & \cdot & & & \\ & & & & 0 & -1 & (1+\Lambda) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \Lambda \end{pmatrix} \quad (6)$$

Kaskadenspülung mit Membrantechnik und Photovoltaik:

Dieses Verfahren kann durch einen geschickten Einsatz von **Crossflow-Filtrationstechniken**, wie Mikrofiltration, Nanofiltration oder Umkehrosmose zur Wasserrückgewinnung weiter verbessert werden [2]. Dadurch lässt sich bei Reinigungsprozessen der Wasserbedarf erheblich reduzieren. Leider kommt zu dem zu befürchtenden Wassermangel häufig noch der Umstand hinzu, dass sich in den betroffenen Regionen kein verfügbares Stromnetz befindet, oder die Stromversorgung in Mitleidenschaft gezogen wird. Dadurch ist sowohl die Aufbereitung von Wasser, als auch die erforderliche Energiezufuhr für einen Spülprozess, auf eine autarke Stromversorgung angewiesen. Hier bietet sich eine Stromerzeugung mit Hilfe regenerativer Energien wie zum Beispiel mit **Photovoltaik** an. Je nach Größe und Einsatzbedingungen der zu planenden Anlage, kann es sicherlich sinnvoll sein, die Versorgungssicherheit durch den erzeugten elektrischen Strom zu erhöhen, indem eine Windkraftanlage zur Vergleichmäßigung der Energieerzeugung hinzugefügt wird.

Die folgende Abb. 2 zeigt ein prinzipiell vorstellbares Verfahrenschema des auf diese Art modifizierten Kaskadenspülprozesses.

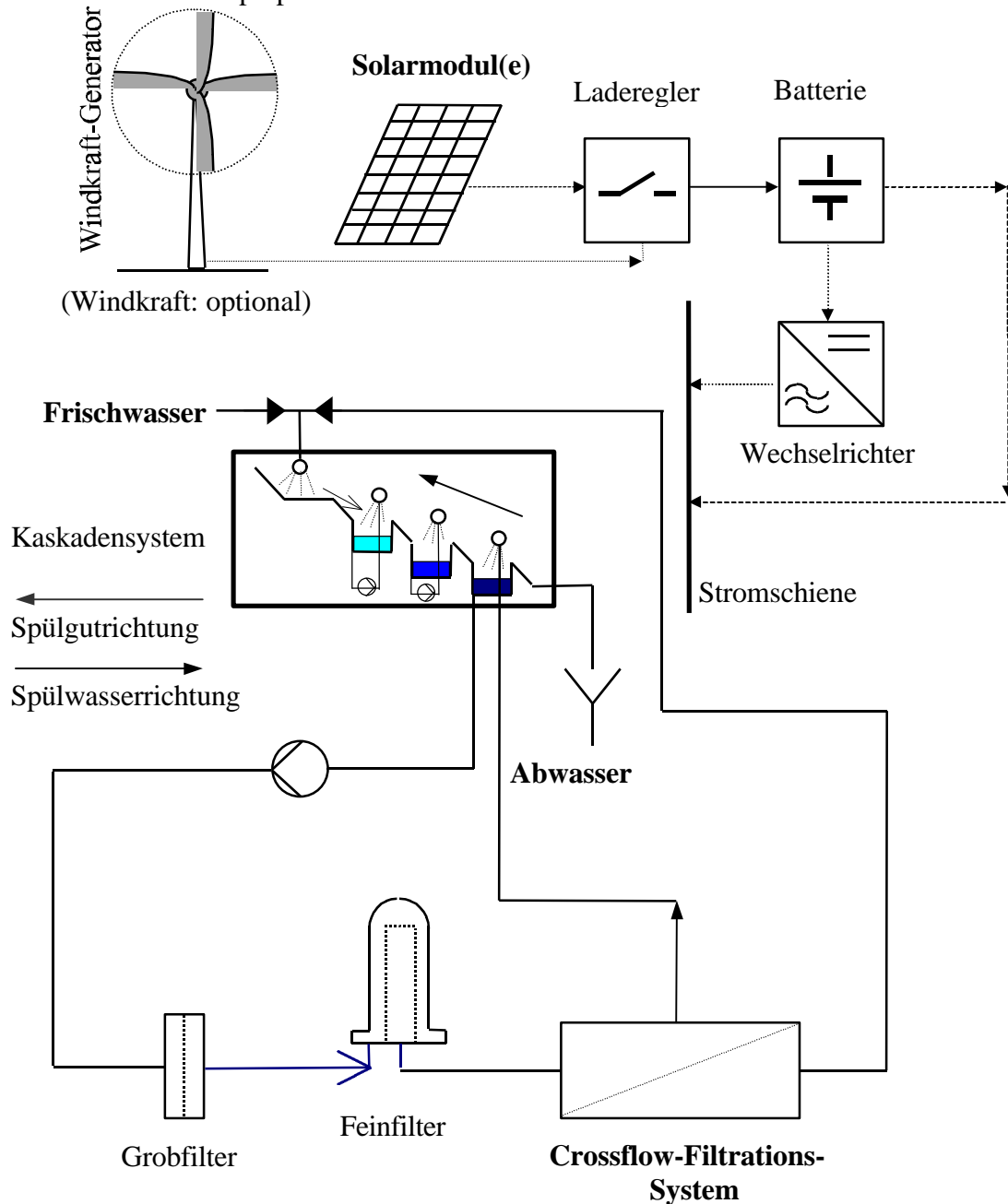


Abb. 2 mögliche prinzipielle Verfahrensvariante der modifizierten Kaskadenspülung

Die Wasserersparnis ergibt sich also hierbei zum einen durch das Mehrfachnutzungsprinzip der Kaskadenspülung und zum anderen durch die Spülwasserrückgewinnung mit Hilfe der Membrantechnik. Damit wird der Spülprozess in seiner Effektivität optimiert. Die autarke Energieversorgung erlaubt zudem einen flexiblen Einsatz unabhängig von einer Netzanbindung.

Entnimmt man das zu recycelnde Schmutzwasser der letzten Kaskade, so wird die Konzentrationsverteilung in den Kaskaden durch die Membranfiltration so gut wie nicht verändert, im Vergleich zur Spülung ohne Membrantechnik. Allerdings sind dort die Anforderungen an die Filtrationsmodule am größten. Dies hat wiederum Rückwirkungen auf den Energiebedarf. Denkbar sind auch Entnahmen in der i-ten Kaskade, wobei hier ein vertretbarer Kompromiss zwischen Reinigungsleistung und Energieverbrauch zu suchen ist. Die folgende Abb. 3 verdeutlicht diese Möglichkeit.

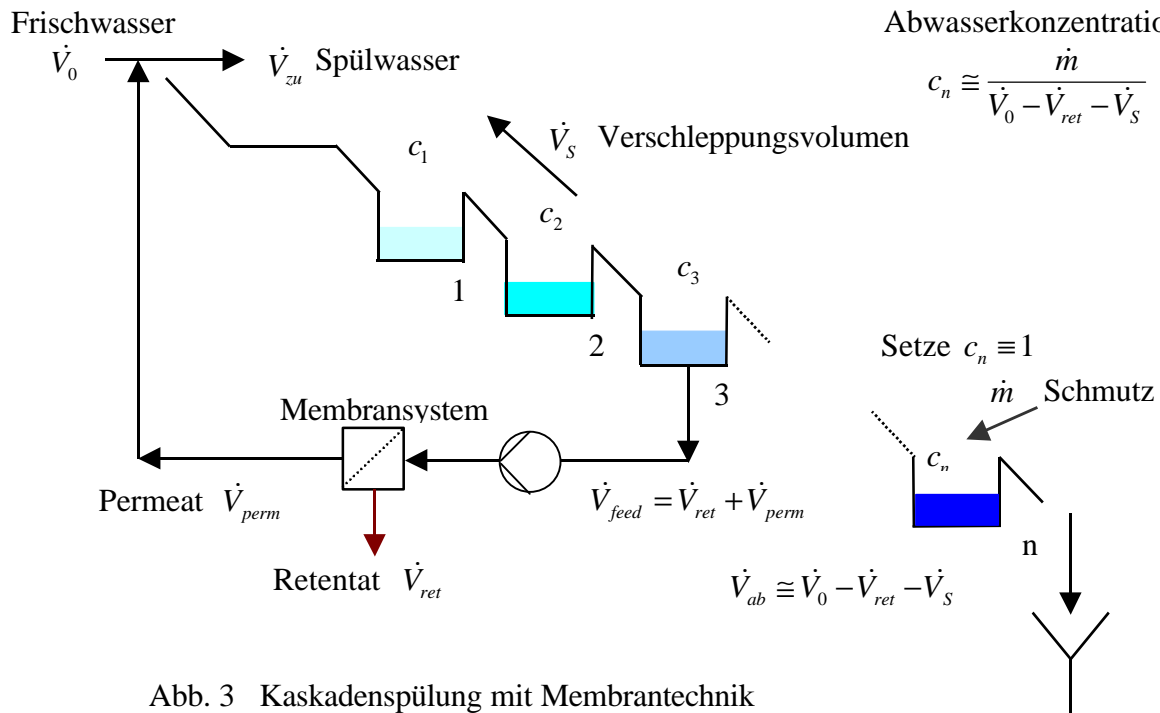


Abb. 3 Kaskadenspülung mit Membrantechnik

Unter der Annahme eines quasi-kontinuierlichen Prozesses mit stationärem Fließgleichgewicht und einem Permeat mit hinreichender Frischwasserqualität kann auch hier vollkommen analog ein Gleichungssystem zur näherungsweise Bestimmung der auf c_n normierten Kaskadenkonzentrationen aufgestellt werden. Folgende Beziehungen sind dabei festzustellen:

$$\dot{V}_{zu} \cong \dot{V}_0 + \dot{V}_{perm}, \quad \dot{V}_{perm} = y \cdot \dot{V}_{feed} \quad \text{sowie} \quad \dot{V}_{perm} = z \cdot \dot{V}_{zu} \quad (7)$$

$$\text{mit} \quad x = \frac{y}{z} \quad \Rightarrow \quad \dot{V}_{feed} = x \cdot \dot{V}_{zu} \quad (8)$$

$$\Rightarrow \quad \dot{V}_{ret} = x \cdot (1 - y) \cdot \dot{V}_{zu}, \quad \text{sowie} \quad \dot{V}_0 = (1 - z) \cdot \dot{V}_{zu} \quad (9)$$

Als Spezialfall ergibt sich für $x_{max} = 1$: $\dot{V}_{feed} = \dot{V}_{zu}$, d.h. 100% Filtration.

Rechnerisch ist dies äquivalent zu dem Verfahren ohne Membranfiltration (Abb. 1)

Die näherungsweise Berechnung der so normierten Konzentrationen kann dann mit dem folgenden Gleichungssystem vorgenommen werden.

$$(\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_1 = \dot{V}_S \cdot c_2 - \dot{V}_S \cdot c_1 \quad (10)$$

$$(\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_2 = (\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_1 - \dot{V}_S \cdot c_2 + \dot{V}_S \cdot c_3 \quad (11)$$

$$\vdots$$

$$(\dot{V}_0 - \dot{V}_{ret} - \dot{V}_S) \cdot c_i = (\dot{V}_{zu} - \dot{V}_S) \cdot c_{i-1} - \dot{V}_{feed} \cdot c_i - \dot{V}_S \cdot c_i + \dot{V}_S \cdot c_{i+1} \quad (12)$$

$$(\dot{V}_0 - \dot{V}_{ret} - \dot{V}_S) \cdot c_{i+1} = (\dot{V}_0 - \dot{V}_{ret} - \dot{V}_S) \cdot c_i - \dot{V}_S \cdot c_i + \dot{V}_S \cdot c_{i+2} \quad (13)$$

$$\vdots$$

$$(\dot{V}_0 - \dot{V}_{ret} - \dot{V}_S) \cdot c_{n-1} = (\dot{V}_0 - \dot{V}_{ret} - \dot{V}_S) \cdot c_{n-2} - \dot{V}_S \cdot c_{n-1} + \dot{V}_S \cdot c_n \quad (14)$$

Für den Fall $i=n$ ergibt sich hierbei keine Änderung gegenüber den Verhältnissen in Abb. 1, jedoch dafür die maximale Anforderung an die Membranfiltration, denn dann hat das der Filtration zugeführte Wasser (\dot{V}_{feed}) die höchste Schutzkonzentration.

Diese Spülwasserrückgewinnung mit Hilfe der hier photovoltaisch zu betreibenden Membrantechnik, führt in der Summe zu einer erheblichen Ersparnis an Frischwasser. Das Wassereinsparungspotential kann hier allein schon aufgrund der Membranfiltration bei über 50% liegen. Dabei ist die erzielbare Einsparung durch die Einführung des Prinzips der Mehrfachnutzung des Wassers durch die Kaskaden selbst noch nicht mit eingerechnet. Die konkrete Summe der Wasserersparnis ist abhängig von den Spülanforderungen im Einzelfall.

- [1] K. Brinkmann, B. Brinkmann, I. Brinkmann "Ein Koffergerät zur Gewinnung von Trinkwasser mit Hilfe von Photovoltaik und Membrantechnik", *12. Internationales Sonnenforum 2000, Juli 2000, Freiburg*
- [2] K. Brinkmann, "Kaskadenspülung mit Frischwasserrückgewinnung mittels Membrantechnik und Einsatz von regenerativ erzeugtem Strom", *GVC-Jahrestagung 2000, September 2000, Karlsruhe*

*  [®]

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>

A Photovoltaic Driven Modified Cascade Rinsing Process with Cross-Flow-Filtration to Minimise the Water Demand

Dipl.-Phys. Dr.-Ing. Klaus Brinkmann

FernUniversität in Hagen, Chair of Electrical Power Engineering
Feithstraße 140, Philipp-Reis-Gebäude, D-58084 Hagen, fax: +49/2331/987 357,
e-mail: klaus.brinkmann@fernuni-hagen.de
Address for correspondence see *

Abstract: In the last years extreme climatic balance-processes occurred increasingly, which cause a serious worldwide problem for the water supply even in the nearer future, as has been already seen and declared by the United Nations. The existing lack of potable water in the different regions of the earth could increase dramatically. An additional amplification of this problem causes in the necessity of rinsing processes, which need also clear and drinkable Water. The water supply is in general directly coupled to the energy supply possibilities. Therefore, the problems to be solved concerning the water supply are to be seen and managed always in a strictly context to energy, whereby renewable energies have surely a key function. For this purpose, the author describes a process which he has applied for a patent. This process bases on the cascade rinsing technique and is modified with cross-flow-filtration. With respect to the possible application areas, the whole system has to be supplied with renewable energy converter, especially with photovoltaic. This modified cascade system can help to reduce the water demand for rinsing procedures for more than 50%.



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>