

# **Weiterentwicklung eines Separationsverfahrens zur Behandlung des Sekundärabfalls aus der Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidtechnik | *Continuously operated separation system for the minimisation of secondary waste produced from the waterjet-abrasive-suspension-cutting***

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Carla-Olivia Krauß, M.Sc. Muhammad Junaid Chaudhry, Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes, Dipl. Ing. Alexander Heneka

Karlsruhe, Deutschland

## **1 Einleitung**

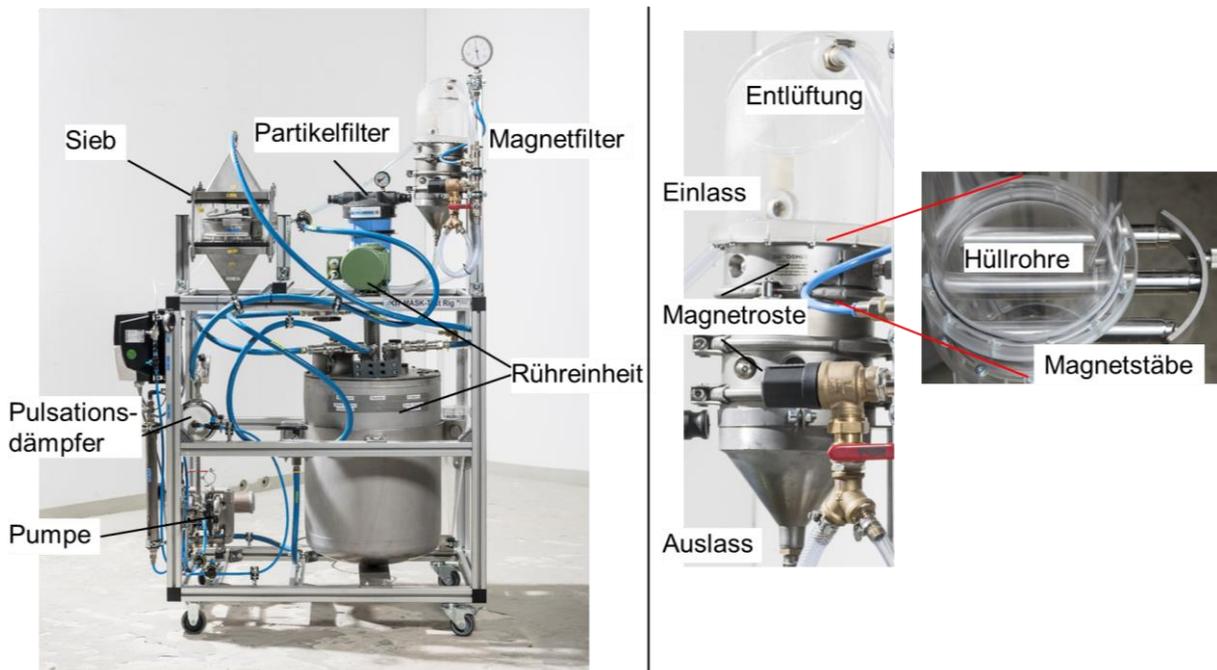
Die Zerlegung und Entsorgung des Reaktordruckbehälters (RDB) mit den zugehörigen Einbauten stellt eine große Herausforderung dar. Durch die jahrelange Einwirkung von Neutronenstrahlung können die aktivierten Komponenten nur noch fernhantiert zerlegt und verpackt werden. Aus Strahlenschutzgründen werden Techniken bevorzugt angewendet, die aufgrund der abschirmenden Wirkung unter Wasser einsetzbar sind. Ein solches kaltes Trennverfahren, welches für die Zerlegung des RDBs und der Einbauten verwendet werden kann, ist das Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidverfahren (WASS). Dieses flexible Verfahren ist unempfindlich gegenüber thermischen und mechanischen Werkstoffspannungen des zu zerschneidenden Materials. Ein weiterer Vorteil dieses kalten Trennverfahrens ist, dass keine Aerosole entstehen. Verfahrensbedingt entsteht beim Schnitt ein Gemisch aus dem verwendeten inaktiven Abrasiv und den Stahlpartikeln des radioaktiven, zerschnittenen Stahls, das bisher entsprechend entsorgt werden muss. Die Menge an Sekundärabfall ist dabei beträchtlich, wodurch sich das Volumen des gesamten radioaktiven Abfalls der zerschnittenen Teile, je nach Einsatzgebiet, verdoppeln kann. Durch die erheblichen Entsorgungskosten der radioaktiven Abfälle ist das WASS-Verfahren für den RDB bzw. die Einbauten trotz der technischen Vorteile unter dem wirtschaftlichen Gesichtspunkt stark benachteiligt.

In dem von BMBF geförderten Projekt MASK „Magnet-Separation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen“ wurde eine Separationsanlage entwickelt, um den Sekundärabfall aus dem WASS-Verfahren zu behandeln. Diese wird im Folgenden mit MASK-Anlage bezeichnet. Das Korngemisch durchläuft zuerst eine Nasssiebung, wodurch feine Partikel entfernt werden und anschließend eine Magnetseparation um die Stahlpartikel abzutrennen. Durch die Kombination dieser Verfahrensschritte kann einerseits der Abscheidegrad der Stahlpartikel erhöht werden und andererseits erhält man nach der Behandlung eine Abrasivfraktion, die für einen erneuten WASS-Schnitt verwendet werden kann.

Es gibt eine bereits existierende Separationsanlage, die im Batch-Betrieb betrieben wird. Im jetzigen Projekt wird diese bereits existierende Anlage in den kontinuierlichen Betrieb überführt. Für die Magnetseparation wurde ein kontinuierlicher, geschlossener Magnetfilter entwickelt, der derzeit patentiert wird.

## **2 Separationsanlage im Batch-Betrieb**

In **Fig. 1** links ist die MaSK-Separationsanlage gezeigt. Die Anlage wird im Batch-Verfahren betrieben und führt fünf Prozessschritten, darunter drei Trennschritte, nämlich Nasssiebung (Größenklassifizierung), Filtration (Fest-Flüssig-Trennung) und Magnetfiltration aus.



**Fig. 1. MaSK-Separationsanlage mit Bezeichnung der Komponenten (links) und Magnetfiltersystem (rechts)**

Alle Verfahrensschritte werden mit einer Suspension durchgeführt. Mit der Rührinheit wird mit Hilfe eines Rührbehälters und eines Rührers eine homogene Suspension mit dem zu bearbeitenden Material aus dem WASS erzeugt. Mittels einer Membranpumpe mit Pulsationsdämpfer wird diese Suspension zu den Komponenten gepumpt. Der erste Bearbeitungsschritt ist die Nasssiegung. Hierbei wird die Suspension auf ein Vibrationsieb gepumpt. Die feinen Partikel passieren das Sieb und die groben sammeln sich auf dem Sieb an. Der zweite Bearbeitungsschritt ist die Filtration, die während des Siebprozesses durchgeführt werden kann. Es wird das Feingut, das das Sieb passiert hat, im Filter aufgefangen. Nach dem Sieben und Filtern werden die groben Partikel in den Rührbehälter zurückgespült, indem das Sieb um 180 ° gedreht wird und Wasser in den Rührbehälter zurückgespült wird. Im dritten Bearbeitungsschritt, der Magnetfiltration, wird das Grobgut durch einen Magnetfilter gepumpt, um große Stahlpartikel zu entfernen.

## 2.1 Magnetfilter (Batch-Betrieb)

In **Fig. 1** Mitte ist der verwendete Magnetfilter dargestellt. Die Suspension der groben Partikel wird durch den Einlass in den Magnetfilter gepumpt und verlässt das Gehäuse unten am Auslass. Auf der Oberseite des Magnetfilters ist eine Entlüftung angebracht, mit der der Wasserstand im Magnetfilter eingestellt werden kann. Im Filtergehäuse werden zwei Magnetgitter zur Abscheidung der großen Stahlpartikel eingesetzt. In **Fig. 1** rechts neben dem Magnetfilter ist ein Bild eines Magnetgitters dargestellt, das die zwei Hauptkomponenten, die Hüllrohre und die Magnetstäbe, zeigt. Das Ein- und Ausschalten des Magnetfeldes erfolgt durch Einführen bzw. Herausziehen der Magnetstäbe aus den Hüllrohren. Während der Separation werden die magnetischen Partikel, in diesem Fall die Stahlpartikel, durch das Magnetfeld, das durch die Magnetstäbe, die sich in den Hüllrohren befinden, angezogen und verbleiben im Magnetfilter. Die unmagnetischen Partikel, in diesem Fall die Abrasivpartikel, passieren den Magnetfilter.

Nach Abschluss der Magnetfiltration werden die Magnetstäbe aus den Hüllrohren herausgezogen und die Pumpe gestoppt. Anschließend werden die Hüllrohre mit Wasser gespült und die großen Stahlpartikel in einem separaten Behälter gesammelt [1].

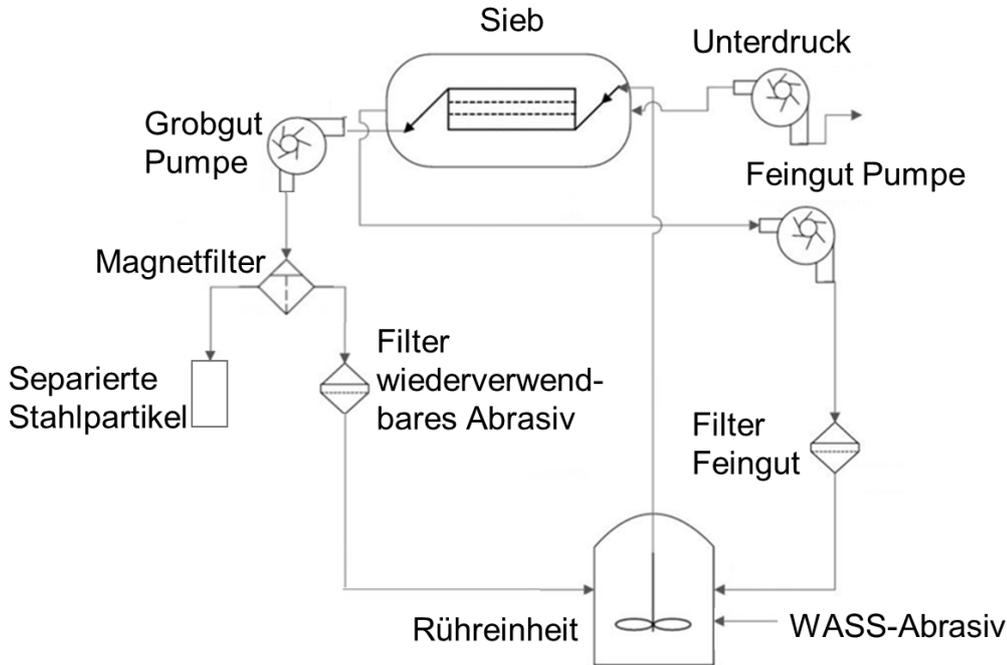
## 2.2 Ergebnisse

Bei einer Siebmaschenweite von 180  $\mu\text{m}$  können Wiederverwendungsanteile von bis zu 75 % erreicht werden. Im wiederverwendbaren Abrasiv wurde eine Stahlkonzentration im Bereich von 0,02 % - 0,05 % gemessen [2]. Um eine hohe Qualität des wiederverwendbaren Abrasivs zu erreichen, wird bei der Siebung bei der Aufbereitung ein möglichst geringer Siebfehler angestrebt. Bei der Siebung im Batch-Betrieb mit einer Maschenweite von 180  $\mu\text{m}$

verbleiben weniger als 5 Massen-% des Feinguts im wiederverwendbaren Abrasiv und kann somit ohne Zumischen von neuem Abrasiv in der WAS-Schneidanlage verwendet werden [2].

## 2 Überführung in den kontinuierlichen Betrieb

In **Fig. 2** der kontinuierliche Betrieb der Separationsanlage in einem Fließschema dargestellt.



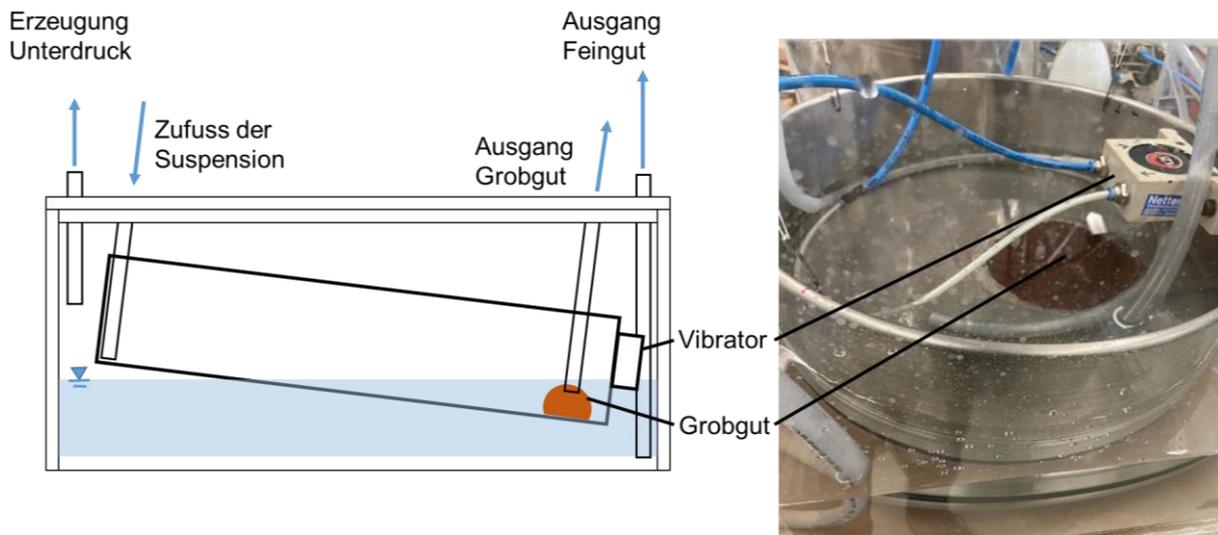
**Fig. 2. Fließschema der kontinuierlich betriebenen Separationsanlage**

In der Rührereinheit wird eine Suspension mit dem aus dem WASS-Schnitt stammenden Abrasiv-Stahl-Gemisch erzeugt. Der Rührereinheit wird dieses Partikelgemisch kontinuierlich zu geführt. Danach gelangt das Gemisch in das kontinuierliche Sieb. Hier wird das Feingut und Grobgut getrennt und abgeführt. Das Feingut wird in einem Beutelfilter aufgefangen und das gereinigte Wasser gelangt zurück zur Rührereinheit. Das Grobgut gelangt zum Magnetfilter und die groben Stahlpartikel werden separiert. Das wiederverwendbare Abrasiv, das aus dem Magnetfilter kommt, wird in einem Beutelfilter aufgefangen und der WASS-Anlage für einen erneuten Schnitt zu Verfügung gestellt. Das gereinigte Wasser wird ebenfalls zurück zur Rührereinheit geführt.

### 3.1 Komponenten

#### 3.1.1 Sieb (kontinuierlicher Betrieb)

In **Fig. 3** ist das Funktionsprinzip des kontinuierlich betriebenen Siebs dargestellt. Durch den Zugang Erzeugung Unterdruck wird mit Hilfe einer Pumpe, die die Luft nach draußen zieht, ein Unterdruck innerhalb des Siebgehäuses erzeugt.

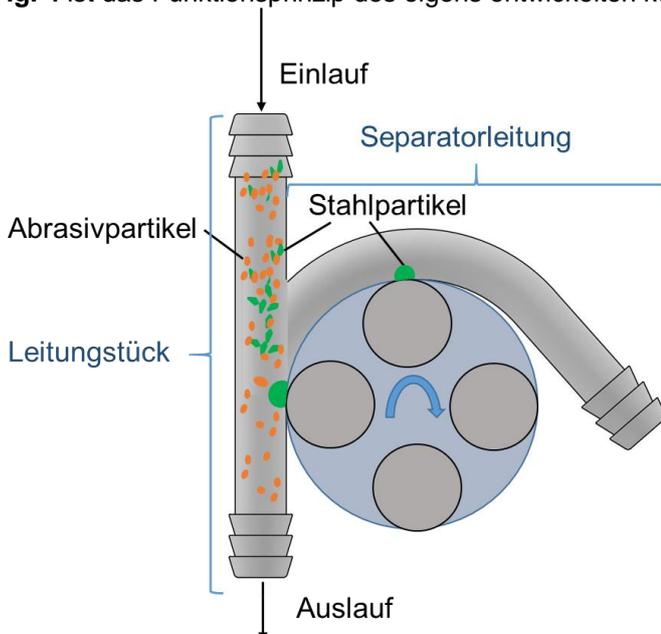


**Fig. 3. Aufbau der kontinuierlich betriebenen Siebanlage**

Durch diesen Unterdruck wird das Wasser-Partikelgemisch aus dem Rührbehälter durch eine Förderleitung zum Zufluss am Gehäusedeckel in das Siebsystem gezogen. Diese Pumpe ist so eingestellt, dass sich ein konstanter Wasserstand innerhalb des Systems ausbildet, dass sich das schräg angebrachte Sieb mit der unteren Seite im Wasser und mit der oberen Seite oberhalb des Wassers befindet. Auf der oberen Seite gelangt das zu separierende Wasser-Partikelgemisch auf das Sieb. Das Partikelgemisch wandert nun aufgrund der Neigung und der Bewegungen des am Sieb angebrachten Vibrators auf dem Siebgitter nach unten. Das Feingut passiert dabei das Gitter und das Grobgut bleibt auf dem Gitter liegen. Unten wird das Grobgut mit einer Pumpe durch einen Absaugschlauch entfernt und in einem Beutelfilter aufgefangen. Das Feingut wird vom Boden des Plexiglasgehäuses abgepumpt.

### 3.1.2 Magnetfilter (kontinuierlicher Betrieb)

Das Grobgut der Siebung wird anschließend mit einem Magnetfilter behandelt, um die Stahlpartikel abzutrennen. In **Fig. 4** ist das Funktionsprinzip des eigens entwickelten kontinuierlichen Magnetfilters abgebildet.



**Fig. 4. Funktionsweise des kontinuierlich betriebenen Magnetfilters**

Der Magnetfilter besteht aus einem Schlauchteiler, der als r-Teiler bezeichnet wird. Dieser r-Teiler besteht aus einem Leitungsstück, in dem die Suspension den Magnetfilter passiert, und einer Separatorleitung, die mit einem ruhenden Fluid befüllt ist. Entlang des Leitungsstücks und der Separatorleitung bewegen sich Magnetstäbe, die so positioniert sind, dass das Magnetfeldmaximum die Innenseiten des Leitungsstücks und der Separatorleitung berühren. Während das Partikelgemisch durch das Leitungsstück fließt, durchläuft es das Magnetfeld der Magnetstäbe. Dies bewirkt, dass die magnetischen Partikel, in diesem Fall die großen Stahlpartikel, von dem Magnetfeld angezogen werden, wohingegen die Abrasivpartikel das Leitungsstück unbeeinflusst passieren. Durch die Rotation der Magnetstäbe werden nun die Stahlpartikel in die Separatorleitung transportiert.

### **3.2 Vorläufige Ergebnisse**

Das kontinuierlich betriebene Sieb wurde mit einem Abrasiv-Stahl-Gemisch mit einer Stahlkonzentration von etwa 1-2 Massen-% getestet. Nach der Siebung wurde im Grobgut eine Stahlkonzentration von 0,15 Massen-% gemessen. Der Anteil von nicht abgetrenntem Feingut im Grobgut betrug etwa 10 Massen-%. Die Trennschärfe der Siebung bezüglich der Partikelgröße ist somit ausreichend, dass das gewonnene Abrasiv ohne Zugabe von neuem Abrasiv in der WASS-Anlage verwendet werden kann. Die Stahlkonzentration im Grobgut nach der Siebung wird durch die anschließende Magnetseparation weiter reduziert.

### **4 Danksagung**

Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung der vorgestellten Arbeiten im Rahmen des Projektes NaMaSK, sowie den Vorgängerprojekten NENAWaS und MaSK. Des Weiteren gilt der Dank den Projektpartnern vom KIT am Institut für Nukleare Entsorgung. Für die Unterstützung während des Projekts bedanken sich die Autoren bei den Firmen ANT Applied New Technologies AG, Orano und EnBW.

### **5 Literaturverzeichnis**

- [1] Krauß, C.-O.: Experimentelle und numerische Untersuchungen eines Magnetfiltersystems zur Minimierung von Sekundärabfall beim Rückbau kerntechnischer Anlagen. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (2021).
- [2] Heneka, A. and A.N. Other: A new technical approach for the minimization of secondary waste produced by water abrasive suspension cutting during disassembling of nuclear facilities. Atw 66 (2021), Issue 1, pp. 34-40.