

White Paper

Sickerwasserreinigungskosten
reduzieren, aber wie?

Praxisbeispiele Deponien Hattorf
und Deiderode

Einleitung

Die Sickerwasseraufbereitung auf einer Deponie stellt hohe Anforderungen an die Verfahrenstechnik. Das Deponiesickerwasser (DSW) beinhaltet einen Cocktail unterschiedlichster Schadstoffe. Neben der Gruppe der biologisch abbaubaren Stickstoffe existiert eine hohe Anzahl von weiteren organischen und anorganischen Schadstoffgruppen, die nur zum Teil oder gar nicht biologisch abgebaut werden können. Diese Stoffe müssen durch kostenintensive chemisch-physikalische Behandlungsstufen aus dem Deponiesickerwasser entfernt werden. Je nach Art der Einleitung werden unterschiedlich hohe Anforderungen an das behandelte Sickerwasser gestellt. Rechtliche Rahmenvorgaben sind in den Grenzwerten für Direkt- oder Indirekteinleiter definiert.

Tab. 1: Grenzwerte Indirekteinleiter in Niedersachsen

CSB	< 400 mg/l
NH ₄ -N	50 mg/l
Quecksilber	0,05 mg/l
Cadmium	0,1 mg/l
Chrom	0,5 mg/l
Nickel	0,5 mg/l
Blei	0,5 mg/l
Kupfer	0,5 mg/l
Zink	2,0 mg/l
Chrom (VI)	0,1 mg/l
Cyanid leicht freisetzbar	0,2 mg/l
AOX	0,5 mg/l

Nach einer biologischen Vorbehandlung beinhaltet das Deponiesickerwasser nur noch Schadstoffe, die biologisch nicht abgebaut worden sind. Der Schadstoff mit der höchsten Konzentration im Ablauf der Biologie ist der biologisch nicht abgebaute oder nicht abbaubare CSB.

Aufgrund der nicht biologisch abbaubaren Inhaltsstoffe des Deponiesickerwassers muss nach der Biologie eine weitere Reinigungsstufe vorgesehen werden, die die Inhaltsstoffe chemisch-physikalisch aus dem Abwasserstrom entfernt. Im einfachsten Falle ist dies eine Aktivkohle-Behandlung des Sickerwassers. Mit der Chemisch-Physikalischen Behandlung muss das Deponiesickerwasser so weitreichend behandelt werden, dass die Einleiter-Grenzwerte unterschritten werden.

Durch die Aktivkohleadsorption werden CSB- und AOX-Frachten aus dem Abwasser entfernt. Dies geschieht durch einen konzentrations- und zeitabhängigen Adsorptionsvorgang der Stoffe an der Aktivkohleoberfläche. Ist das Adsorptionsvermögen der Aktivkohle erschöpft oder wird der vorgegebene Grenzwertrahmen überschritten, so muss die Aktivkohle ausgetauscht und regeneriert werden. Die Schadstoffe werden bei diesem Verfahren nicht tatsächlich eliminiert, sondern gebunden und mit dem Austausch der Aktivkohle örtlich verlagert. Der Adsorptionsvorgang findet selektiv statt, Stickstoffverbindungen können nicht adsorbiert werden. Bedingt durch die konzentrations-abhängigen Adsorptionsvorgänge ist es aus ökonomischer Sicht wichtig, mit einer möglichst weitgehend verringerten Schadstofffracht in die Aktivkohleadsorber einzutreten.

Auch hohe Schadstofffrachten können durch die Aktivkohle gebunden werden, doch ist durch das schneller fortschreitende Adsorptionsgefälle die Standzeit der Adsorber kürzer. In

diesem Fall kann die Aktivkohle nur geringer beladen werden, da die Grenzwerte des Ablaufs sehr schnell erreicht werden. Bei geringeren Frachten setzt sich das Adsorptionsgefälle langsamer fort und die absolute Beladung kann höher erfolgen. Von einer beladenen (erschöpften) AK wird gesprochen wenn die Konzentration der adsorbierbaren Stoffe im Ablauf der Aktivkohle so hoch wie im Zulauf ist.

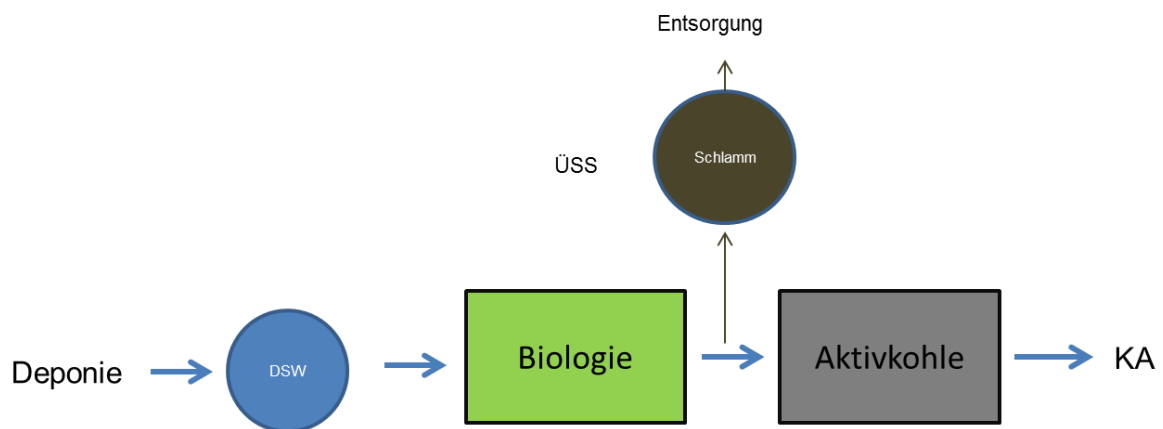


Abb. 1: Schema einer einfachen Deponiesickerwasserbehandlung mit Biologie und Aktivkohleadsorption

Die Aktivkohleadsorption hat neben hohen spezifischen Behandlungskosten den Nachteil, dass eine mechanische Verblockung der Adsorber durch abfiltrierbare Stoffe aus der Biologie erfolgt. Um dies zu vermeiden sollte einer Aktivkohlestufe eine Filtration vorgeschaltet werden. In der Regel sind dies Sand- oder Tuchfilter.

Zur Reduzierung der Behandlungskosten werden (chemisch-) physikalische Trennverfahren eingesetzt, die die Inhaltsstoffe, primär den CSB, aus dem Abwasserstrom entfernen. Die abgetrennten Inhaltsstoffe können als Schlämme entsorgt werden. Die Funktion der Aktivkohleadsorption reduziert sich bestenfalls auf einen Polizeifilter.

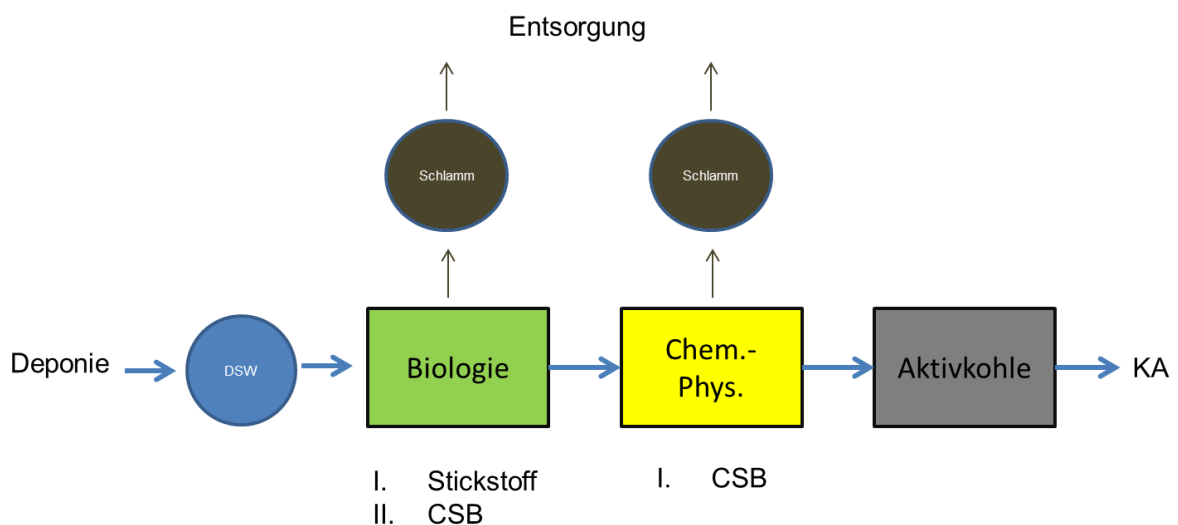


Abb. 2: Schema einer Deponiesickerwasserbehandlung mit Biologie, chemisch-physikalischer Behandlung und Aktivkohleadsorption

Zur Abtrennung spezifischer Abwasserinhaltsstoffe werden Trennverfahren u.a. wie Flotation oder Filtration eingesetzt. Hierbei ist die einfache maschinelle Schwerkraftfiltration, im Vergleich zur Flotation, Zentrifugation oder Membranfiltration aufgrund der geringeren Betriebskosten ökonomisch interessant. Allerdings bestand der Nachteil einer häufig mangelnden Abscheideleistung in Bezug auf das Filtrat. Die Effizienz des Trennprozesses wird entscheidend von der Qualität der Konditionierung beeinflusst. Voraussetzung für gute Trennleistung ist die Konzentrierung und möglichst vollständige Zusammenfügung der abzutrennenden Inhaltsstoffe in filtrierbare und somit mechanisch belastbare Flockenstrukturen. Hierbei ist insbesondere Augenmerk auf die Einbindung von Feinstpartikeln in die Flockenstruktur zu legen.

Das Konzept „DeSiFloc“ (DEponie SickerwasserFLOCKung) zur Deponiesickerwasserbehandlung beinhaltet ein neuartiges, patentiertes Flockungsverfahren, mit dem eine Abtrennung von Schadstoffen, im Vergleich zu konventionellen Verfahren, sehr viel effizienter möglich ist. Die Abtrennleistung von maschinellen Filtrationsverfahren wird primär durch die erzielte Flockenstruktur beeinflusst.

Wichtigstes Hilfsmittel für die zielführenden Flockungsuntersuchungen ist ein neu entwickelter Flockungssensor „FlocSens“. Der FlocSens nutzt ein photooptisches Messverfahren auf Basis einer CCD-Zeilenkamera. Mit dem Sensor ist es möglich bestimmte Flockungscharakteristika wie das Sedimentations- oder Filtrationsverhalten des geflockten Abwassers online zu bestimmen. Zur Bestätigung der Messergebnisse wurden Absetzversuche durchgeführt. Es wird ein zweistufiges Flockungsverfahren bestehend aus Koagulation (Mikroflockenbildung) und Flockulation (Makroflockenbildung) eingesetzt. Als Koagulant wird Eisen-III-Chlorid (FeCl_3 , 40%) verwendet, als Flockungshilfsmittel diente die Lösung eines kationischen Polymers

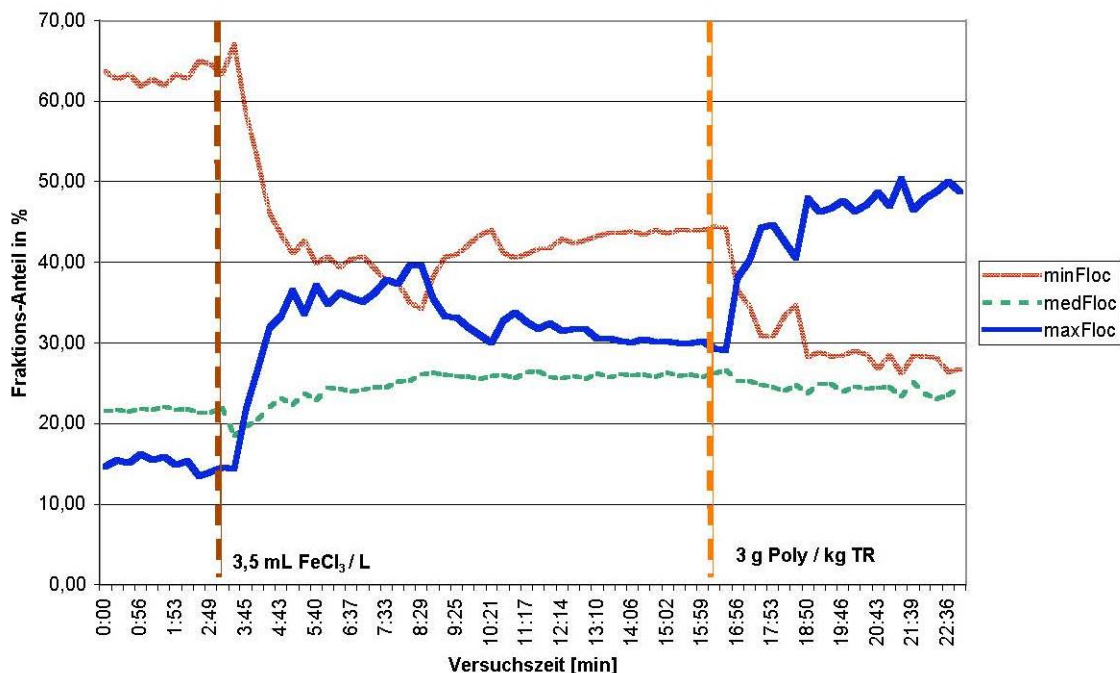


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Flockengrößenfraktionen

Die Zugabe des Koagulanten bewirkt, dass sich Strukturen in der Suspension ausbilden. Die Größe der Fraktion kleiner Strukturen nimmt ab und die großen Strukturen nehmen zu. Die Verweilzeit in der Koagulation beträgt ca. 15 min. Über diese Zeit wird deutlich, dass die Attraktionskräfte des Koagulanten nicht ausreichend sind, die Suspension scherstabil zu gestalten. Über die Zeit werden die gebildeten Strukturen wieder erodiert und somit kleiner. Die Zugabe des Polymers bewirkt dann einen Sprung zu großen Strukturen. Innerhalb der Versuchszeit nach der Polymerzugabe von ca. 5 min findet keine nennenswerte Zerstörung der Flocken statt, so dass die Flocken für den Separationsprozess eine genügend hohe Scherstabilität aufweisen. Abb. 3 zeigt die zeitlichen Verläufe der Flockenfraktionen, große Flocken, mittlerer Flocken und kleine Flocken, für die angeführten Laborversuche. Mit der Betrachtung der Fraktionsanteile und Scherstabilität der gebildeten Flocken ist das Ergebnis kongruent mit dem des CSB-Anteils im Überstand und dem visuellen Eindruck der Absetzversuche. Mit den Versuchen konnte gezeigt werden, dass die besten Separationsergebnisse mit den zeitlich konstanten, somit mechanisch stabilsten, Flockenstrukturen erzielt werden.

Der FlocFormer als Flockungsreaktor bildet das Herzstück der großtechnischen Anlagen. Mit dem Einsatz des FlocFormers kann die Verfahrensführung der Deponiesickerwasserbehandlung im Vergleich zur konventionellen Behandlung verfahrenstechnisch und ökonomisch schlüssiger durchgeführt werden. Für das Gesamtsystem liegt der Fokus hierbei darauf, alle Schadstoffe - bis auf die Stickstoffkomponenten, die weiterhin biologisch abgebaut werden sollen - kostengünstig mit Hilfe des FlocFormer Verfahren aus dem Abwasser zu entfernen.

Das Flockungssystem FlocFormer arbeitet mit zwei Vorrichtungen; einem Turbo-Mischer der das Polymer in kurzer Zeit homogen in den Schlamm oder das Wasser einbringt, und ein Flockenformungsreaktor, der dazu dient eine spezifische Flockenstruktur auszubilden. Die Konditionierungsanlage arbeitet mit vier Freiheitsgraden, um die Flockenstruktur zu optimieren. Diese Freiheitsgrade sind:

- Flockungsmitteldosierung,
- Turbo-Mischergeschwindigkeit,
- Flocken-Formungsreaktorgeschwindigkeit,
- Spaltweite des Flocken-Formungsreaktors.

Die Turbo-Mischer-Einheit ist ausgelegt, um eine hoch konzentrierte Polymerlösung mit dem Abwasser homogen zu vermischen. Die Polymerdosierung und die Mischintensität des Turbo-Mischers können online gesteuert werden.

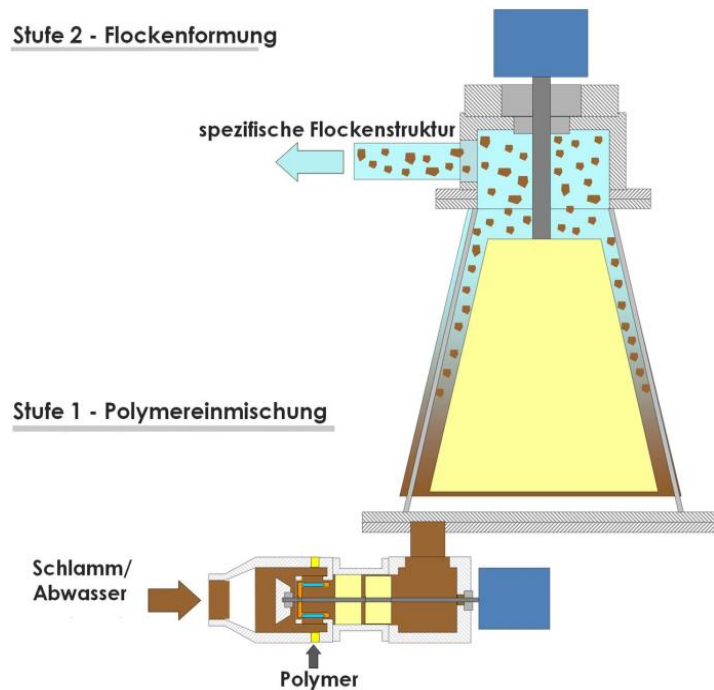


Abb. 4: Schematischer Aufbau FlocFormer

Der Flockenformungsreaktor ist ein modifizierter Kegelrührer, in dem die spezifische Flockenstruktur ausgeprägt wird. Ein innerer Kegel rotiert konzentrisch in einem äußeren Kegelmantel. Zwischen den beiden Kegelelementen ist ein konstanter Spalt. Aufgrund der unterschiedlichen Kegelradien ist die Verteilung der Zentrifugalkräfte entlang der Rotationsachse nicht konstant. Für die Strömung im Spalt bedeutet dies, dass unterschiedliche Strömungszustände nebeneinander vorliegen können. Der Schlamm fließt von der Basis des Kegels durch den Spalt zwischen den konzentrischen Kegeloberflächen zur Kegelspitze. Anfänglich wird die Flockenstruktur durch die hohen Scherraten am größeren Durchmesser zerstört. Wenn sich die Mischintensität entsprechend der axialen Position verringert, ändert sich das Strömungsregime. Die Flocken können auf den Kegelwänden und auf einander abrollen und werden auf diese Weise kompaktiert. Eine Spaltweitenänderung ist während des Betriebes möglich, da der Innenkegel in axialer Richtung verschiebbar ist. Durch diesen Freiheitsgrad kann der Reaktor im Betrieb ein breites Spektrum unterschiedlicher Volumen- und Massenströme behandeln.

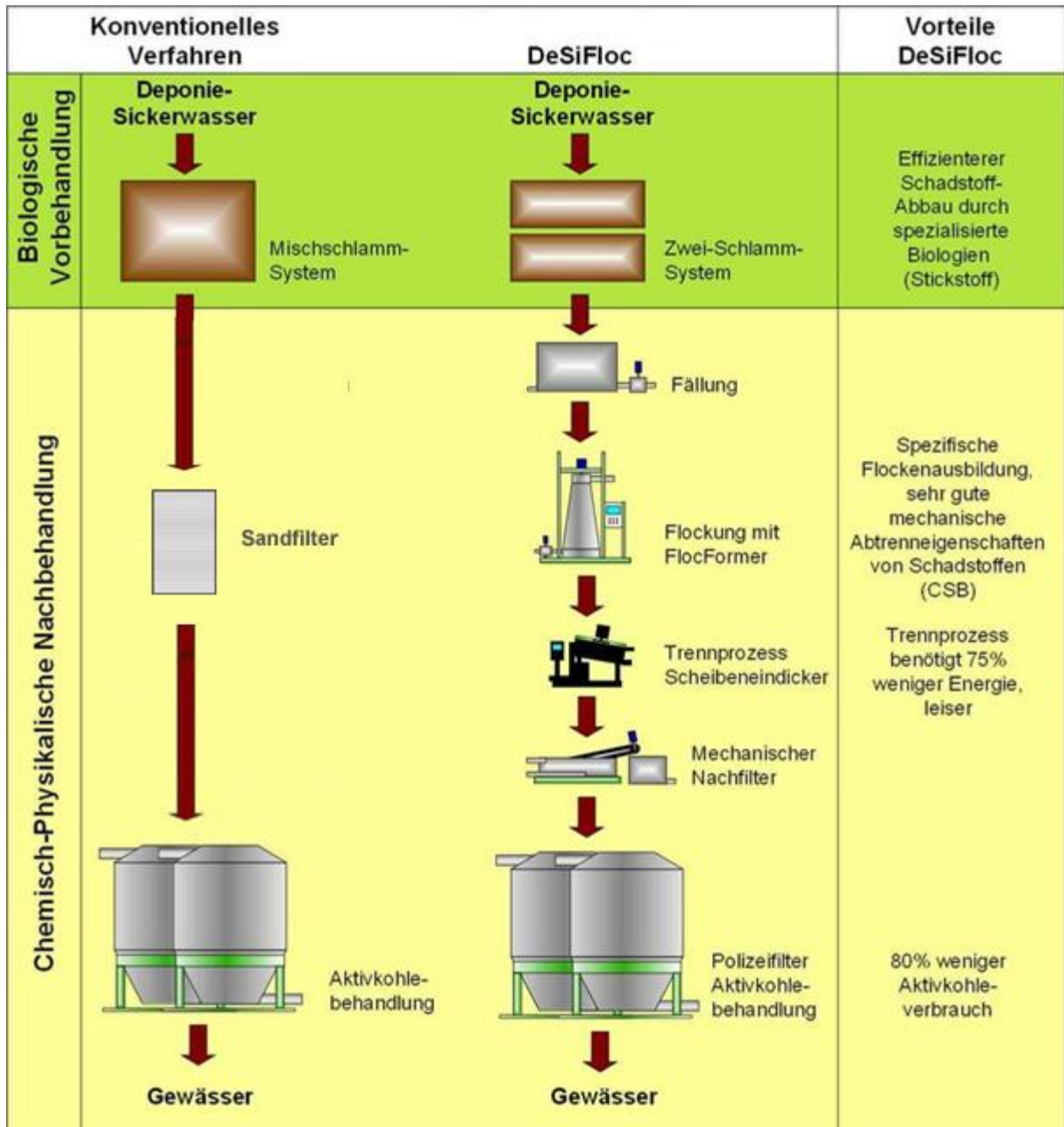


Abb. 5: Vergleich konventionelle Deponiesickerwasserbehandlung und und DeSiFloc Verfahren

DeSiFloc - Funktionsschema und Komponenten

Die installierte Anlagentechnik agglomeriert und flockt die Inhaltsstoffe des Prozesswassers aus und separiert danach die vorhandenen abfiltrierbaren Stoffe. Abb. 6 zeigt das Schema der Verfahrenstechnik. Im Folgenden wird die Funktion der eingesetzten Komponenten erläutert.

Grundlegendes Funktionsschema

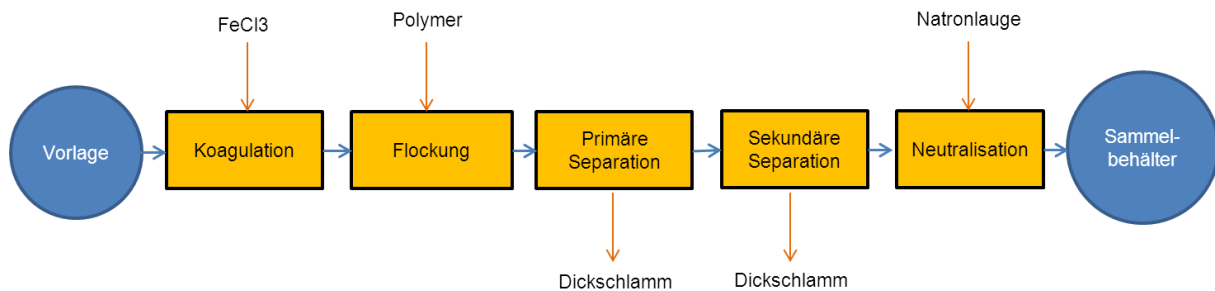


Abb. 6: Schema der Behandlungsschritte DeSiFloc

Koagulation

In dieser Stufe wird durch Eisenchlorid eine elektrische Destabilisierung des biologisch vorbehandelten Deponiesickerwassers durchgeführt. Durch die Destabilisierung erfolgt eine Fällung von organischen Stoffen, die zu einer CSB- und AOX-Reduzierung führt, es bilden sich Mikrofloken. Das Eisenchlorid bewirkt eine Absenkung des pH-Wertes, der als Regelgröße genutzt werden kann. Der Ziel-pH-Wert ist für einen Koagulationsprozess relativ hoch. Dies hat den Vorteil, dass die eingesetzte Menge des Koagulanten gering sein kann.

Flockung

Durch Zugabe von Flockungshilfsmitteln (synthetischen Polymeren) werden die gebildeten Mikrofloken im FlocFormer zu stabilen Makrofloken geformt. Es bilden sich zwei Phasen aus; die fest- und schadstoffhaltige Flokenstruktur und die relativ klare Restflüssigkeit. Durch den zielgerichteten Aufbau der Flokenstruktur wird das nachfolgende Separationsverfahren deutlich verbessert.

Primäre CSB Separation

Durch eine mechanische Separation in Form eines Siebes werden die stabilen Flokenstrukturen von der Restflüssigkeit getrennt.

Sekundäre CSB Separation

Durch eine weitere, sehr feine Nachsiegung wird nochmals agglomerierter Feststoff aus der Klarphase abgetrennt. Dieser Filter hat vornehmlich eine Schutzfunktion für die nachfolgende Aktivkohle-Adsorption.

Neutralisation

Nach der mechanischen Trennung erfolgt die Neutralisation des behandelten Gemischs aus Deponiesickerwasser und Prozessabwasser MBA mittels Lauge auf einen pH-Wert um 6,5. Dies geschieht durch Zugabe von Natronlauge (50 %ige NaOH).

Beispiel Kreismülldeponie Hattorf - Direkteinleiter

Bis in das Jahr 2007 wurde auf der Kreismülldeponie des Landkreises Osterode am Harz (Hattorf) das Sickerwasser durch eine biologische Vorreinigung und chemisch-physikalische Nachbehandlung (Koagulation, Separation, Aktivkohleadsorption) gereinigt. Der Schadstoff mit der höchsten Konzentration im Zulauf zur Chemisch-Physikalischen Behandlung ist der biologisch nicht abgebaute oder nicht abbaubare CSB. Dieser beträgt je nach Sickerwasserzusammensetzung zwischen 30% und 70% des ursprünglichen CSB.

Das damals relativ hoch belastete Wasser in Hattorf verursachte häufig Betriebsstörungen sowohl in der Biologie als auch in der nachgeschalteten Filtrationsstufen der Sickerwasserkläranlage. Diese Umstände machten eine deutliche Verminderung des behandelbaren Volumenstroms nötig. Dies führte in Hattorf zu einer kostenintensiven Entsorgung des anfallenden Sickerwassers.

Aufgabe: Mit der zu konzipierenden Chemisch-Physikalischen Behandlung und der nachfolgenden Aktivkohlestufe musste das Deponiesickerwasser ökonomisch so weitreichend behandelt werden, dass die Direkteinleiter-Grenzwerte sicher unterschritten werden.

Lösung mit dem DeSiFloc Verfahren:

Im Jahre 2007 wurde die Deponiesickerwasserkläranlage Hattorf grundlegend saniert. Neben der Ertüchtigung der Biologie wurde erstmalig Das DesiFloc Verfahren als Chemisch-Physikalische Behandlungsstufe eingesetzt. Das neu entwickelte Flockungssystem „FlocFormer“ in Verbindung mit einem einfachen Scheibeneindicker als Trennverfahren zur Reduzierung des CSB hat bewiesen, dass diese Kombination betriebswirtschaftlich sehr günstig und verfahrenstechnisch sicher ist. Der FlocFormer dient der Ausprägung einer speziellen Flockenstruktur während des Flockungsvorganges. Dadurch ist es möglich, einen großen Anteil der Schadstoffe in den Flocken zu binden und somit mechanisch leicht separierbar zu machen.

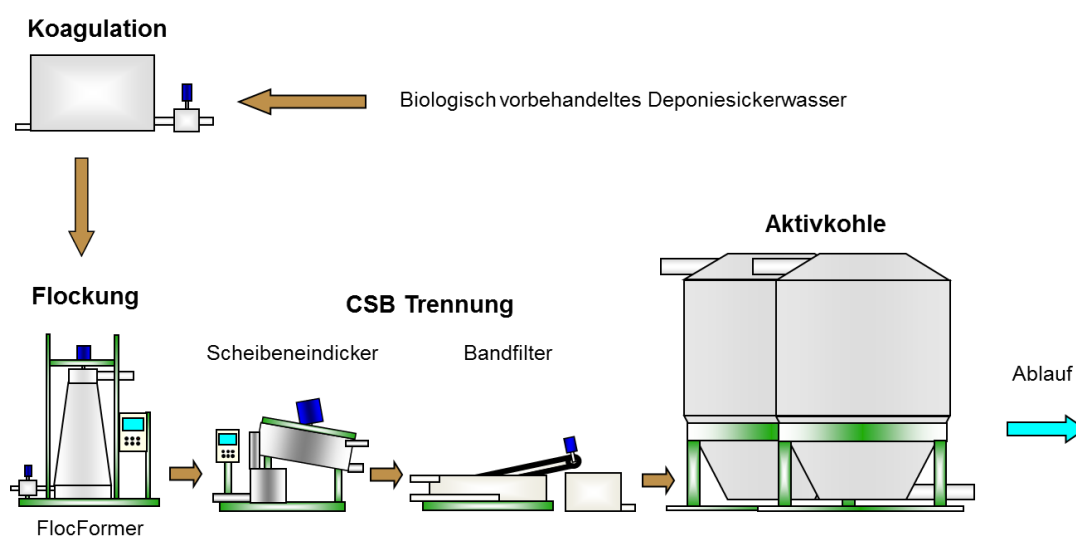
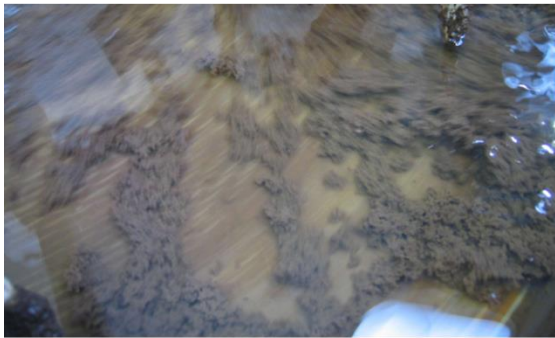


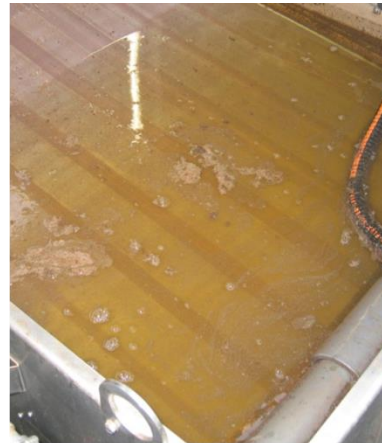
Abb. 7: Schema der Behandlungsschritte DeSiFloc

Der Einsatz des FlocFormers bedingt zwei Effekte, die zu einer Senkung der Betriebskosten führen:

1. Der eigentliche CSB-Trennprozess kann durch eine technisch einfache Schwerkräftfiltration erfolgen. Die CSB Elimination muss nicht mehr in der vorgeschalteten Biologie erfolgen.
2. Die CSB-Trennleistung könnte durch den Einsatz des FlocFormers deutlich verbessert werden. Die nachfolgende Aktivkohlestufe wurde um bis zu 90% entlastet.



1. Scheibeneindicker



2. Bandfilter

Abb. 8: Geflocktes DSW im Prozess

Nach dem Scheibeneindicker wurde ein Bandfilter vorgesehen, der mit einem sehr engmaschigen Filtermedium ausgestattet, mögliche verbliebene Schwebstoffe aus dem DSW entfernt. Nach der mechanischen Filtration der Sickerwasserschadstoffe schließt sich ein Aktivkohle-Adsorptionsverfahren an. Im Falle der vollständigen Adaption und Effizienz des eingesetzten flockungs-initiierten Trennverfahrens, reduziert sich die Funktion der Aktivkohlestufe für den Parameter CSB auf einen Polzeifilter.



Flockungs- & Separationsverlauf (nur Filtration)

Abb. 11: Behandlungs- und Klärungsschritte des Deponiesickerwassers in der DeSiFloc Anlage



Abb. 12: Teilansicht der DeSiFloc Anlage in Hattorf

**Exemplarische Verbrauchskostenkalkulation Chemikalien und AK für Hattorf -
Direkteinleiter**

Verbrauch FeCl ₃	3,7 l/m ³	
Kosten FeCl ₃	0,24 €/l (0,17 €/kg)	
Verbrauchskosten FeCl ₃		0,89 €/m ³
Verbrauchskosten Polymer		0,04 €/m ³
Verbrauchskosten Aktivkohle		0,26 €/m ³
Damit betragen die spezifischen Verbrauchskosten in der chemisch-physikalischen Behandlungsstufe nur noch		1,19 €/m³

Beispiel Kreismülldeponie Deiderode – Indirekteinleiter

Die Deponiesickerwasserkläranlage Deiderode gehört zur Kreismülldeponie des Landkreises Göttingen und wurde ursprünglich zur Behandlung des anfallenden Sickerwassers der Deponiekörpers errichtet. Die Sickerwasserkläranlage ist Indirekteinleiter des gereinigten Sickerwassers. Die Mechanisch-Biologische Aufbereitungsanlage (MBA) des Abfallzweckverbandes Südniedersachsen schlägt zusätzlich Wasser zur hydraulischen Entlastung des eigenen Systems zur Sickerwasserkläranlage ab. Dieses relativ hoch belastete Wasser verursachte Betriebsstörungen in den nachgeschalteten Filtrationsstufen der Kläranlage und verursacht hohe Kosten im Bereich der Aktivkohle.

Die bestehende Deponiesickerwasserkläranlage der Deponie Deiderode des Landkreises Göttingen wurde durch eine zusätzliche Separationsstufe erweitert, damit die MBA des Abfallzweckverbandes gesichert Abwasser zur Sickerwasserkläranlage abgeben kann. Zum ursprünglichen Zeitpunkt konnten max. 1,5 m³/h MBA-Abwasser in der Sickerwasserkläranlage mit behandelt werden, gewünscht war jedoch die Abgabe von ca. 6 m³/h. Um dieses Ziel zu erreichen wurde die Kläranlage durch eine zwischen geschaltete DeSiFloc-Verfahrensstufe ertüchtigt. Diese zusätzliche Behandlungsstufe liegt nach der vorhandenen Biologie und vor der vorhandenen Aktivkohlebehandlung. Die abzugebende Wassermenge und die einzuhaltenden Konzentrationen der DSW-Kläranlage bleiben bestehen.

Die Behandlungsstufe behandelt eine biologisch vorbehandelte Sickerwassermenge von täglich maximal 288 m³. Der maximale Durchsatz je Stunde beläuft sich auf 12 m³ und der maximale Durchsatz je Sekunde liegt bei 3,33 Liter.

Das DeSiFloc-Verfahren ist skalierbar aufgebaut. Jedes Modul hat einen Grunddurchsatz für Deponiesickerwasser von 6 m³/h. Der Parallelbetrieb von mehreren Modulen ist problemlos möglich. Um die maximale Leistung von 12 m³/h zu erreichen wurde die Separationstechnik in zwei parallelen Strängen installiert. Dies hat den Vorteil einer Redundanz und ein Teillastbereich der Anlage ist ebenfalls leichter zu fahren. Abb. 13 zeigt das Schema der beiden Stränge auf. Sowohl das filtrierte DSW als auch der separierte Dickschlamm werden zentral weiter behandelt.

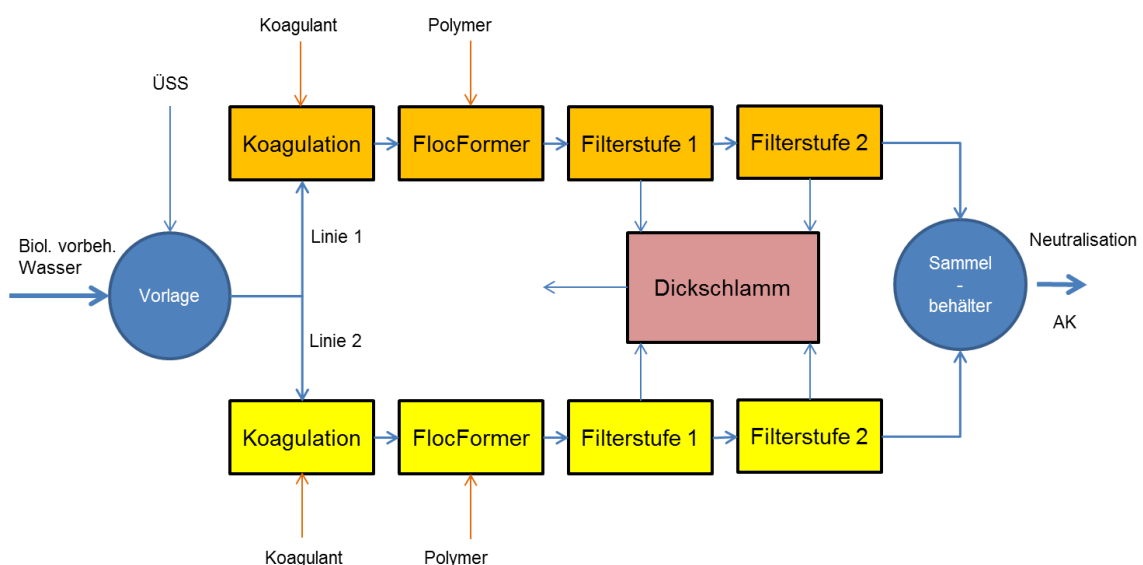


Abb. 13: Verfahrensschema der DeSiFloc Anlage in Deiderode

Damit die erzeugten Flocken möglichst schonend auf die Siebe gelangen, durchläuft das DSW nach dem FlocFormer die Separationsstufen im freien Gefälle, siehe Abb. 13. Die Anlage ist in der Weise aufgebaut, dass die Maschinenteknik der Separation auf einer Tribüne und die korrespondierenden Behälter der Einzelkomponenten darunter ebenerdig installiert sind. Somit wird eine gute Zugänglichkeit zur Reinigung der Anlagenteile sichergestellt. Abb. 14 zeigt eine Teilansicht der installierten Anlage.



Abb. 13: Ein Strang der DeSiFloc Anlage in Deiderode



Abb. 14: Teilansicht der DeSiFloc Anlage

Die Deponiesickerwasserkläranlage Deiderode ist ein Indirekteinleiter. Das Wasser wird in die kommunale Kläranlage Göttingen abgeschlagen. Mit der Inbetriebnahme der DeSiFloc Anlage konnte die vorhandene Aktivkohlestufe außer Betrieb genommen werden. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ist sehr positiv.

Exemplarische Verbrauchskostenkalkulation Chemikalien für Deiderode - Indirekteinleiter

Verbrauch FeCl ₃	3,0 l/m ³	
Kosten FeCl ₃	0,24 €/l (0,17 €/kg)	
Verbrauchskosten FeCl ₃		0,72 €/m ³
Verbrauchskosten Polymer		0,10 €/m ³
Verbrauchskosten Aktivkohle		- €/m ³
Damit betragen die spezifischen Verbrauchskosten in der chemisch-physikalischen Behandlungsstufe nur noch		0,82 €/m³

Der ursprüngliche Betrieb der Deponiesickerwasserkläranlage mit verringertem Volumenstrom verursachte in der Aktivkohlestufe kalkulatorische Kosten von ca. 5,30 €/m³.

Wahrscheinlich war der tatsächliche Wert aber höher, da die Kapazität der Aktivkohle, aufgrund von Verblockungen durch Feststoffe, nicht mehr erreicht werden konnte.

Die Erweiterung der Anlage durch eine neue angepasste Biologie und die chemisch-physikalische Stufe DeSiFloc ermöglicht die ökonomische Behandlung der gesamten Zulaufmenge zur Deponiesickerwasserkläranlage. Die jährlichen Einsparungen im Vergleich zur reinen Aktivkohle-Adsorption sind beträchtlich.

Der ökonomische Nutzen:

Unschätzbar, auch mit Blick auf steigende Umweltrestriktionen, sind die ökologischen Vorteile einer sicheren Abtrennung.