

BMUB - UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht zum Vorhaben:

Abwasserreinigungsanlage für ein Milchtrockenwerk
KfW- AZ: NKa3-002148

Fördernehmer/-in:

Hochwald Foods GmbH
Bahnhofstr. 37-43
54424 Thalfang

Umweltbereich

BMUB- Umweltinnovationsprogramm; Bereich Abwasser- und Entsorgung

Laufzeit des Vorhabens

18.03.2014 – 15.11.2016

Autoren

Dr. Torsten Harz, Berit Hillbrecht (AHT AquaGemini GmbH)
im Auftrag der Hochwald Foods GmbH

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Natur-
schutz, Bau und Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung

22.09.2017

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen: UBA 90 030/31	Vorhaben-Nr.: 02148
Titel des Vorhabens: Abwasserreinigungsanlage für ein Milchtrockenwerk	
Autor(en); Name(n), Vorname(n) Harz, Torsten; Dr. Hillbrecht, Berit	Vorhabensbeginn: 18.03.2014
	Vorhabenenende (Abschlussdatum): 15.11.2016
Fördernehmer/ -in (Name, Anschrift) Hochwald Foods GmbH Bahnhofstr. 37-43 54424 Thalfang	Veröffentlichungsdatum:
	Seitenzahl:
Titel Abwasserreinigungsanlage für ein Milchtrockenwerk Gefördert aus der Klimaschutzinitiative im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung Der Bericht dokumentiert die Inbetriebnahme einer Industrieabwasserreinigungsanlage für hochbelastete und stark salzhaltige Abwasserabflüsse aus der Herstellung demineralisierter Molke. Zur Reinigung wird eine Kombination aus den Verfahrensschritten Elektrodialyse, Flotation, anaerobe Reinigungsstufe mit BHKW (Kraft-Wärme-Kopplung), MAP- Fällung und aerobe Reinigungsstufe zur Anwendung gebracht. Einen wesentlichen Anteil an der sicheren Betriebsweise stellt das zugehörige Havarievorsorgekonzept sowie die Tatsache, dass die mit unterschiedlichen Stoffen beaufschlagten Abwasserteilströme bereits am Ort ihres Anfalls erfasst, der IAR in getrennter Form über separate Leitungen zugeführt werden und somit in der IAR gezielt und kostensparend behandelt werden können. Der Abwasserreinigungsgrad beträgt mehr als 99 %.	
Schlagwörter Industrieabwasserreinigungsanlage, Inbetriebnahme, getrennte Abwassererfassung, Havarievorsorge	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 7 Elektronischer Datenträger: 3	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.umweltinnovationsprogramm.de

Title

Waste water treatment plant for a milk powder plant

Supported within the scope of the environmental innovation programme of the German Federal Ministry for Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety

Summary

The report documents the commissioning of an industrial wastewater treatment plant for highly contaminated and highly saline wastewater effluents from the production of demineralised whey. The method used to clean the wastewater combines the following process steps: electro dialysis, flotation, anaerobic treatment stage with a combined heat and power plant (cogeneration of heat and power), MAP precipitation and aerobic treatment stage. Both the associated damage prevention concept and the fact that the partial wastewater effluents that are contaminated with different substances are collected separately at their source and fed to the industrial wastewater cleaning plant via different pipes, thus enabling their targeted and cost-effective treatment, make a substantial contribution to the plant's safe operation. The degree of wastewater purification exceeds 99 percent.

Key words

Industrial wastewater treatment plant, commissioning, separate wastewater collection, damage prevention

Der vorliegende Bericht wurde um einige Passagen gekürzt.

Die vollständige Fassung wurde dem Umweltbundesamt vorgelegt.

0. Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens	5
1.2. Ausgangssituation	6
2. Vorhabensumsetzung	8
2.1. Ziel des Vorhabens.....	8
2.2. Darstellung der technischen Lösung	10
2.3. Darstellung der Umsetzung des Vorhabens.....	14
2.4. Behördliche Anforderungen	15
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	17
3. Ergebnisse	19
3.1. Bewertung der Vorhabensdurchführung	19
3.2. Bilanzen.....	41
3.3. Umweltbilanz	45
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren.....	49
4. Empfehlungen	49
4.5. Empfehlungen aus der Praxiseinführung.....	49
4.6. Modellcharakter.....	51
5. Zusammenfassung	53
6. Literatur	55
7. Abkürzungen und Symbole	57

1. Einleitung

1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Hochwald Foods GmbH ist ein 100-prozentiges Tochterunternehmen der Genossenschaft Hochwald Milch eG mit Sitz in Thalfang im Hunsrück. Als genossenschaftlich strukturiertes Unternehmen verarbeitet und vermarktet die Hochwald Foods GmbH die von den bäuerlichen Anteilseignern gelieferte Rohmilch und trägt dabei durch eine möglichst hohe Wertschöpfung wesentlich zur Sicherung des Produktabsatzes und des Einkommens der Landwirte im Einzugsgebiet des Unternehmens bei. Die Hochwald Foods GmbH mit acht europäischen Produktionsstandorten ist ein Vollsortimenter in der Milchwirtschaft, das Produktportfolio erstreckt sich von Trinkmilch über Käse, Quark, Joghurt- und Dessertprodukte bis hin zu Kondensmilch und Pulverprodukte. In Hünfeld (Landkreis Fulda) betreibt das Unternehmen eine Produktionsstätte für Käseprodukte.

(siehe auch: www.hochwald.de)



Abbildung 1 : Standorte Hochwald Foods GmbH

1.2. Ausgangssituation

Bei der Herstellung von einem Kilogramm Frischkäse fallen in der Regel 4 kg Molke als Nebenprodukt an, bei der Herstellung von Hartkäse kann der Molkeanfall sogar bis zu 11,3 kg Molke/kg Käse betragen /1/.

Zum Teil wird die anfallende Molke entweder in Form von Molkepulver in der Kälber- und Ferkelaufzucht eingesetzt oder direkt in der Schweinemast verfüttert /2/

Der Strukturwandel in der Milchwirtschaft und die damit einhergehende Zentralisierung der milchverarbeitenden Betriebe lässt jedoch die traditionelle Art des Verfütterns in dem unmittelbaren Umfeld der Molkereibetriebe kaum noch zu.

Daher wird zunehmend versucht, die Molke zu höherpreisigen Produkten zu veredeln (z. B. Energydrink, Sporternährung etc.) und anschließend zu vermarkten.

Häufig ist der Molkeanfall jedoch so hoch, dass auch dies nicht in vollem Umfang gelingt und ein Teil der eigentlich wertvollen Molke mit den übrigen Produktionsabwässern (Spülwässer, CIP- Wässer) entsorgt werden muss. Da ein Liter Molke etwa einem Einwohneräquivalent entspricht, stellt dies eine hohe Belastung für die betreffenden Abwasserreinigungsanlagen dar /3/.

Folgende Verfahrensschritte haben sich bisher allgemein für die Aufbereitung von Abwässern der milchverarbeitenden Industrie bewährt:

- Siebung

Durch die Siebung wird das Abwasser von Feststoffen befreit.

Als besonders vorteilhaft haben sich schräg angeordnete Siebtrommeln mit integrierter Rechengutpresse erwiesen.

- Fettabscheider

Fettabscheider werden meist nur für einzelne Abwasserströme eingesetzt (z.B. Abwässer aus der Milchannahme oder Molke oder der Butterproduktion)

- Misch- und Ausgleichsbecken

Um schwankende pH- Werte auszugleichen, werden die Abwässer in Misch- und Ausgleichsbecken vergleichmäßig. Diese können sowohl belüftet aus auch unbelüftet ausgeführt sein.

Wenn bei der Dimensionierung der Misch- und Ausgleichsbecken der Havariefall nicht berücksichtigt wird, ist (insbesondere bei Direkteinleitung) zusätzlich noch ein Havariebecken erforderlich.

- Flotation

Flotationsanlagen wirken aufgrund physikalischer Kräfte (Auftrieb) als Abscheider ungelöster Stoffe. In Deutschland ist die Druckentspannungsflotation weit verbreitet. Dabei ist der Abscheideprozess umso effektiver, je kleiner die Blase ist. Durch Zugabe von Flockungsmitteln/ Flockungshilfsmitteln kann der Reinigungseffekt erhöht werden.

- Aerobe Reinigung

Hier kommen Belebungsverfahren mit vorgeschalteter, simultaner oder intermittierender Denitrifikation zum Einsatz, ausgeführt als Kaskadenanlagen oder SBR- Anlagen.

P- Fällung

Bei Direkteinleitung kann meist auf eine zusätzliche P- Fällung mittels Eisensalzen, Aluminiumsalzen und/oder Polymeren nicht verzichtet werden.

Häufig kommt eine Verfahrenskombination aus biologischer P- Elimination und Simultanfällung zum Einsatz.

- Schlammbehandlung

In der Prozessstufe der aeroben Reinigung bauen die Bakterien den Phosphor in Bakterienbiomasse ein. Der dabei entstehende Überschussschlamm wird aus dem Becken abgezogen.

Neben der aeroben Schlammbehandlung hat sich insbesondere die Schlammfäulung etabliert.

Daneben kommen Verfahren zur Schlammeindickung (z.B. Scheibeneindicker) und zur Schlammentwässerung (z.B. Zentrifugen) zum Einsatz /4/.

Um die Kosten für die erforderliche Entsorgung überschüssiger Molke abzumildern, wurden in einzelnen Pilotprojekten auch anaerobe Verfahren eingesetzt, wie zum Beispiel das Biomar WAR- Verfahren der Firma Envirochemie, welches im Milchwerk Norrmejerier (Schweden) zur Anwendung kam. Das dabei entstehende Biogas kann energetisch genutzt werden und so beispielsweise die Kosten für die Dampferzeugung mindern /5/.

Ähnliche Wege (Biogaserzeugung aus Molke mit anschließender Verstromung des erzeugten Biogases) beschritt jüngst auch die Teninger Käserei Monte Ziego. /6/.

2. Vorhabensumsetzung

2.1. Ziel des Vorhabens

Vor dem Hintergrund eines wachsenden Bedarfs an Molkeprodukten und Milchpulver für die Säuglingsnahrungsproduktion, vor allem in Europa und auch in den asiatischen Ländern (China, Indien) und Afrika (Nigeria), errichtete die Hochwald Foods GmbH am Standort Hünfeld ein neues Trockenwerk zu Herstellung von demineralisiertem Molkepulver (Demin 90 Anlage). Demineralisiertes Molkepulver (Molkeprotein) ist einer der Ausgangsstoffe für die Herstellung von Babynahrung.

Bei dem Trockenwerk handelt es sich um eine sogenannte Demin 90 Anlage (Demineralisierungsgrad = 90 %). An die Errichtung und den Betrieb einer derartigen Produktionsanlage sind höchste qualitative Anforderungen zu stellen. Die Demin 90 – Technologie wurde erst vor wenigen Jahren entwickelt und patentiert (EP 1 053 685 B1); weltweit sind bisher erst vier vergleichbare Anlagen in Frankreich, Irland, Niederlande und Finnland bekannt.

Das Werk in Hünfeld, in dem mehr als 1.500 t/d Flüssigmolke verarbeitet werden, ist weltweit die fünfte und die erste Anlage dieser Art in Deutschland und wurde speziell für die Weiterverarbeitung zu Säuglingsnahrung errichtet.

Die Molke durchläuft während ihrer Verarbeitung mehrere Konzentrationsstufen, wie die dargestellte Tabelle zeigt:

Tabelle 1: Sauerstoffbedarf von Molke (Eigenanalysen Hochwald Foods GmbH)

	TS in %	CSB in g/l
Molke	6	64
Molkekonzentrat	28	299
Molkehochkonzentrat	60	640
Molketrockenpulver	94	1003

Je 100 t Molke fallen ca.80 kg P (entspricht 40.000 EW), ca. 850 kg CSB (entspricht 7.100 EW) bzw. 590 kg BSB5 (entspricht 9.900 EW) an

Da die kommunale Kläranlage nicht über ausreichend freie Kapazitäten für die Reinigung der anfallenden Produktionsabwässer verfügte, war die Errichtung einer Industrieabwasserreinigungsanlage (IAR) Voraussetzung für die Inbetriebnahme des Trockenwerkes.

Die Industrieabwasserreinigungsanlage wurde im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms gefördert.

Das zu behandelnde Produktionsabwasser ist gekennzeichnet durch hohe Salzfrachten (Alkali- und Erdalkalitionen), hohe Nährstoffgehalte (N, P, K) sowie hohe organische Frachten in einer Größenordnung, die sich ihrer Charakteristik nach sehr deutlich von den bekannten Abwässern aus der Nahrungsmittelindustrie (Milchverarbeitung) unterscheidet.

Während die P- Fracht in traditionellen Molkereibetrieben im Bereich von 6 – 115 kg/d sowie die CSB- Fracht im Mittel zwischen ca. 1.000 – 3.000 kg/d angegeben wird¹ /7/, fallen auf der IAR ca. 10.000 kg/d CSB, ca. 900 kg/d P, ca. 6.700 kg/d Chlorid und ca. 2.600 kg/d Kalium an. Aus den spezifischen Besonderheiten der Demin 90 Anlage, den örtlichen Gegebenheiten und den gesetzlichen Verordnungen ergeben sich für die Abwasserbehandlung erhöhte Anforderungen hinsichtlich der Minimierung der Salzfracht und Vermeidung von Gewässereutrophierung, die über den Stand der Technik hinausgehen.

Damit wurde ein Neubau der im Rahmen des Umweltinnovationsprogrammes geförderte Industrieabwasserreinigungsanlage IAR erforderlich, da die kommunale Anlage diese Anforderungen mit den vorhandenen Reinigungsstufen nicht erreichen kann.

¹ In einem Einzel-Stoffstrom werden bis zu 7200 kg/d angegeben.

2.2. Darstellung der technischen Lösung

Die IAR wurde zum Vorhabensbeginn bemessen, um 2.300 m³/d an Produktionsabwässern des Trockenwerkes zur Direkteinleiter-Qualität aufzubereiten.

Gemessen an der erforderlichen Reinigungsleistung für die im Abwasser enthaltene Fracht entspricht diese Anlage einer Kläranlage der Größenklasse 5 nach AbwV (> 100.000 Einwohnerwerte). Bei der beschriebenen IAR besteht die besondere Anforderung, dass mit der beschriebenen Technologie salzhaltige Abwässer zu behandeln sind.



Abbildung 2: Industrieabwasserreinigungsanlage

Das zu behandelnde Produktionsabwasser des Trockenwerkes ist gekennzeichnet durch hohe Salzfrachten, hohe Nährstoffgehalte und hohe organische Frachten. Dabei fallen je nach Verarbeitungsschritt Wässer unterschiedlicher Zusammensetzung an.

Die Abwassermengen verteilen sich zu

- ca. 26 % auf geringbelastete Abwässer
- ca. 22 % auf hoch belastete Abwässer
- ca. 22 % auf überwiegend mineralisch belastete Abwässer und
- ca. 30 % auf Molkereiabwässer (Käsereiabwasser)

und werden der Abwasserbehandlung getrennt nach Herkunftsbereichen in separaten Leitungen zugeführt. Dies ermöglicht eine zielgerichtete und kostensparende Behandlung, welche in folgenden Verfahrensschritten durchgeführt wird:

- a) Elektrodialyse (Reduzierung der Chloridfracht um 1/3 und der Kaliumfracht um 2/3 gegenüber dem Ausgangswert
Das entspricht einer Eliminationsleistung von min. 2.200 kg Chlorid/ d bzw. 1.600 kg Kalium/ d.
- b) Flotation von ungelösten Stoffen
- c) Anaerobe Abwasserbehandlung (CSB- Abbau, Entlastung der Aerobie, Erzeugung von Biogas als Wertstoff aus einem salzreichen Substrat)
- d) MAP- Fällung (Erzeugung von Magnesiumammoniumphosphat als Wertstoff)
- e) Aerobe Abwasserbehandlung in SBR- Reaktoren (weitergehende P- und N- Elimination in einem salzreichen Substrat)

Mit den Verfahrensschritten b – e soll ein Phosphorabbau um mehr als 99,5 % erreicht werden.

Daneben erfolgen eine Abluftbehandlung sowie die erforderliche Entschwefelung des bei der anaeroben Abwasserbehandlung entstehenden Biogases.

Optional kann das gereinigte Abwasser im letzten Schritt noch einer Abwasserfiltration unterzogen werden, sofern die behördlich festgelegten Einleitgrenzwerte nicht sicher erreicht werden. Für eine Nachrüstung der Abwasserfiltration ergab sich bis zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch keine Notwendigkeit, da der Grenzwert für Gesamtphosphor für einen Zeitraum bis 31.12. 2018 mit 2 mg/l festgelegt wurde. Bis zum Ablauf der Frist wird von der Behörde über weitergehende Anforderungen entschieden werden. Gegenwärtig kann über den Umfang der zusätzlichen Anforderungen und den daraus resultierenden Überwachungswerten noch nicht abschließend entschieden werden, weil die Optimierungsarbeiten im Trockenwerk noch andauern. Erst nach deren Abschluss kann die Optimierung der Phosphorelimination der IAR abschließend durchgeführt werden. Gegenwärtig kann noch nicht mit Sicherheit abgeschätzt werden, ob weitere, noch bestehende Optimierungen im Anlagenbetrieb ausreichend sein werden, um z.B. die P-Ablaufkonzentration sehr viel weiter zu senken. Daher muss die

Entscheidung über ein Nachrüsten einer Abwasserfiltration in der Zukunft noch getroffen werden.

Die Teilströme, die hohe Konzentrationen an anorganischen Salzen enthalten, werden der Elektrodialyse zugeführt, wobei die Ionen über monovalente Membranen aufkonzentriert und ausgeschleust werden.

Da die anorganisch hochbelasteten Stoffströme bereits im Trockenwerk separat erfasst werden, kann dieser Verfahrensschritt kosten- und energieoptimiert erfolgen. Eine Belastung des zu behandelnden Abwassers mit organischen Stoffen würde unweigerlich zur Verblockung der Membranen und damit zu höheren Betriebskosten führen.

Im Anschluss wird das nun abkonzentrierte Abwasser in einem Mischbehälter mit den anderen niedrigkonzentrierten Abwässern des Trockenwerkes vereint und direkt den SBR- Reaktoren zugeführt.

Die Trockenwerksabwässer, die stark mit organischen Verbindungen (Molkeprotein, ungelöste Stoffe) verunreinigt sind, werden der Flotationsanlage zugeführt, in der unter Zuhilfenahme von Flockungsmitteln ein Teil des CSB sowie Schwebstoffe entfernt werden. Im Wesentlichen wird die Flotation im Sinne einer Fettabcheidung betrieben.

Dass aus der Flotation ablaufende Wasser wird anschließend dem anaerob arbeitenden R2S- Reaktor zugeführt, in dem der überwiegende Teil der Organik abgebaut wird. Im Gegensatz zu anderen in der Abwassertechnik üblichen Biogasreaktoren arbeitet der R2S- Reaktor auf der Basis granulierter Biomasse. Die Biomasse ist auf einem Kalziumkarbonatkern immobilisiert.

Systeme mit immobilisierter Biomasse sind unempfindlicher gegenüber Konzentrationsschwankungen. Außerdem ist im System immer genügend aktive Biomasse vorhanden, so dass auch bei geringen Trockensubstanz- Gehalten (Abwasser) kurze Verweilzeiten realisierbar sind. Zudem entstehen bei anaeroben Verfahren nur geringe Mengen an Biomassezuwachs (Überschussschlamm).

Da es sich hier um salzhaltige Abwässer handelt, liegen nach Kenntnisstand der Bearbeiter bislang nur wenige Erfahrungen vor².

Der Überschussschlamm des R2S- Reaktors wird einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt.

² Im Gemeinschaftsklärwerk Bitterfeld Wolfen (Sachsen- Anhalt) wurde ein anaerober Reinigungsprozess für die Vorreinigung von salzreichem Abwasser aus der Methylcelluloseherstellung eingesetzt. Des Weiteren verfügt die Firma Agraferm über Erfahrungen in der Schlempevergärung im Technikumsmaßstab.

Das Biogas selbst wird biologisch entschwefelt und nach Trocknung und Nachreinigung über Aktivkohle anschließend im BHKW verstromt; die entstehende elektrische Energie wird auf der IAR genutzt, die Abwärme des Gasmotors dient der R2S-Beheizung.

Nach Verlassen des R2S- Reaktors wird das Abwasser einer MAP- Fällstufe zugeführt, wobei vorgesehen ist, das ausgefällte Magnesiumammoniumphosphat als Wertstoff zu vermarkten.

Der Ablauf der MAP- Fällstufe wird anschließend im Belebungsverfahren aerob weiterbehandelt. Dabei kommen zwei SBR- Reaktoren (Sequencing Batch Reaktor) zum Einsatz, die wechselseitig beschickt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, mittels Nachfällung weitere Phosphorverbindungen zu eliminieren. Die SBR- Technologie hat sich aufgrund ihrer Robustheit bei industriellen Anlagen bewährt.

Der Klarablauf der IAR wird in die Haune, ein Gewässer 2. Ordnung, abgeleitet.

Da die Abwässer aus der milchverarbeitenden Industrie mikrobiologisch gut abbaubar sind und in der Folge schnell zur Ausbildung unangenehmer Gerüche neigen, wird die Abluft der IAR mittels eines innovativen Verfahrens gereinigt.

Die Abluftbehandlung auf der IAR Hünfeld erfolgt durch energiesparende ProtecAir³-Luftreinigungsanlagen.

Das Oxidationsverfahren basiert auf den natürlichen Reinigungsprozessen der Atmosphäre zum Abbau von Luftschadstoffen und Gasen durch reaktive Sauerstoffverbindungen.

Technisches UV-Licht und Ionisation erzeugen aus dem Sauerstoff der Umgebungsluft hoch oxidative Sauerstoffverbindungen (ionisierter Sauerstoff, Hydroxyl-Radikale), welche direkt zu den Emissionsquellen (Puffer-, Schlammbehälter, etc.) geleitet werden.

Im dortigen Reaktionsraum erfolgt dann die reststofffreie Reduktion von osmogenen Schadgasen und geruchstragenden Stoffen durch eine schnelle und massive Oxidation.

Ergänzt wurde die beschriebene Reinigungstechnologie aus einem miteinander verschalteten Behältersystem zur Havarievorsorge, welches aus drei variabel nutzbaren Pufferbehältern besteht

Die technische Gesamtlösung wurde zum Patent angemeldet. Eine zweite aus dem Fördervorhaben resultierende Patentanmeldung beschreibt eine neuartige umweltschonende Reinigungstechnologie für Elektrodialysmembranen.

2.3. Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Die Bauarbeiten zum Neubau der Industrieabwasserreinigungsanlage begannen mit der Herstellung der Baustelleneinrichtung zum 24.03.2014. Die vorgesehenen Leistungen konnten zunächst planmäßig realisiert werden. Bis zum Jahresende waren mit Ausnahme des Blockheizkraftwerkes und der Restleistungen zum Anaerobreaktor die wesentlichen Hauptausrüstungen, die verbindenden Rohrleitungen, Medien und Betriebsgebäude einschließlich Transformator und Niederspannungshauptverteilung fertiggestellt. Im Verlauf des vierten Quartals begannen die ersten Dichtigkeitsprüfungen und Funktionsproben. Parallel zum Bau der IAR wurde das Abwasserüberleitungssystem zwischen Trockenwerk und IAR einschließlich der Unterquerung der ICE-Trasse Kassel-Fulda fertiggestellt.

In Vorbereitung der Inbetriebnahme wurde ab dem 11.05.2015 mit der Abwasserbehandlung eines Abwasserteilstroms (Käsereiabwasser) der Hochwald Foods GmbH begonnen. Die Übernahme der weiteren Abwasserströme des Trockenwerkes wurde auf den 03.06.2015 fixiert.

Mit der Errichtung und der Inbetriebnahme der Industrieabwasserreinigungsanlage wurde die wks Technik GmbH mit Sitz in Dresden betraut.

Die im Bericht verwendeten Mess- und Analysenergebnisse wurden den Betriebstagebüchern der IAR und den ergänzenden, nicht in den Tagebüchern erfassten Monitoringprogrammen entnommen.

Laut den ursprünglichen Planungen war vorgesehen, im Zeitraum Januar bis März 2015 die trockenen und nassen Funktionstests durchzuführen; ab 28.03.2015 sollte die IAR ihren Probetrieb aufnehmen.

Aufgrund der Verzögerungen im Bauablauf konnte dieser Zeitplan nicht eingehalten werden.

Der Beginn der Inbetriebnahme verzögerte sich bis Mai 2015.

Die Inbetriebnahme der IAR erfolgte zeitgleich mit der Inbetriebnahme des Trockenwerkes. Dies stellte eine große Herausforderung dar, da einerseits das zu behandelnde Abwasser noch sehr stark in Menge- und Zusammensetzung schwankte. Zudem musste die aktive Bakterienbiomasse in den biologischen Stufen der IAR erst aufgebaut werden, bevor diese an die hohen Salzfrachten adaptiert werden konnte.

Deshalb wurden als erste Verfahrensschritte Flotation und die aerobe Reinigung mittels der beiden SBR- Reaktoren mit Molkereiabwasser in Betrieb genommen. Beide Reinigungsstufen sind geeignet, mit ggf. erhöhten Dosiermengen der Flockungsmittel und einem erhöhten Anfall an Flotat und Überschussschlamm dennoch die gesetzlich festgelegte Ablaufqualität zu erreichen, was auch recht schnell gelang.

Am 11.05. 2015 wurde mit der Beschickung der IAR mit Abwasser (ohne Abwässer aus der Demineralisierung) begonnen. Zunächst wurden die behandelten IAR- Abwässer aus Gründen des Gewässerschutzes bis zum Erreichen eines stabilen Betriebszustandes der kommunalen Kläranlage zur Nachbehandlung zugeführt.

Ende Mai konnten die Überwachungswerte (Einleitgrenzwerte) stabil eingehalten werden. Ab dem 03.06.2015 wurde zeitgleich mit der Erstinbetriebnahme der Demineralisierungsstufe des Trockenwerkes mit der Direkteinleitung der gereinigten Abwässer in die Haune begonnen.

Seitens der IAR wurde anschließend mit der Inbetriebnahme des R2S- Reaktors und der MAP- Fällstufe begonnen.

Ab August 2015 konnte der R2S- Reaktor kontinuierlich mit Abwasser des Trockenwerkes beschickt werden. Die Adaptierung der Mikroorganismen auf das veränderte Substrat gelang zügig, so dass ab September 2015 eine konstante Biogasproduktion verzeichnet werden konnte. Mitte des darauffolgenden Monats wurde mit der Verstromung des Biogases im BHKW begonnen.

Mit der Inbetriebnahme der MAP- Stufe wurde im Juli 2015 begonnen. Nach anfänglichen Schwierigkeiten bei der Einstellung des pH- Wertes wurde ab Oktober kontinuierlich MAP ausgefällt und einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt.

2.4. Behördliche Anforderungen

Die Errichtung sowie der Betrieb aller Abwasserreinigungsanlagen unterliegen in Hinsicht auf das Bau- und Umweltrecht strengen Verordnungen, Vorschriften und Gesetzen.

Bei der Planung und Errichtung der IAR mussten die gesetzlichen Grundlagen der Industrieemissionsrichtlinie 2010/75/EU (IED), des Wasserhaushaltgesetzes (WHG), der Abwasserverordnung (AbwV), des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG), der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) und der Industriekläranlagen- Zulassungs- und Überwachungsverordnung (IZÜV) beachtet werden.

Ebenfalls wurde den entsprechenden Regelungen hinsichtlich der Anlagensicherheit, des Brand- und Explosionsschutzes und des Arbeitsschutzes Rechnung getragen. Zusätzlich musste ein behördlich genehmigtes Entsorgungs- und Stoffstromkonzept erstellt werden.

Mit Beginn der Planungen wurde eine Umweltverträglichkeitsstudie in Auftrag gegeben, in welcher die Auswirkungen des neu zu errichtenden Trockenwerkes und der Industrieabwasserreinigungsanlage auf die Schutzgüter Luft, Boden, Grund- und Oberflächenwasser sowie auf Flora und Fauna untersucht wurden.

Diese Umweltverträglichkeitsstudie war Grundlage für den Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis nach Wasserhaushaltsgesetz. In diesem Genehmigungsverfahren war das Genehmigungsverfahren nach der Hessischen Bauordnung inkludiert.

Der Ablauf der IAR wird direkt in den Vorfluter Haune eingeleitet.

Aufgrund der Vorbelastung und der geringen hydraulischen Leistungsfähigkeit der Haune wurden vom Regierungspräsidium Kassel folgende Ablaufgrenzwerte festgelegt, die eine Technologie erfordern, die weit über den Stand der Technik hinausgeht:

Tabelle 2: Überwachungswerte nach wasserrechtlicher Erlaubnis

	Grenzwert
BSB ₅	25 mg/l
CSB	110 mg/l
Ammonium-N	6 mg/l
TN anorg.	12 mg/l
TP	1 mg/l
Kalium	max. 1.000 kg/d
Chlorid	max. 4.500 kg/d

Für den Parameter Phosphor gilt befristet bis zum 31.12.2018 entsprechend Anhang 3 der AbwV die Mindestanforderung 2 mg/l.

Mit Verweis auf die EU- WRRL wurde von der zuständigen Wasserbehörde angeordnet, dass die behördlich festgelegten Ablaufwerte vom ersten Tag der Direkteinleitung an stets einzuhalten sind.

Im Verlauf der Inbetriebnahme der IAR wurde zudem angeordnet, dass der Ablauf gleichmäßig werden muss (Q₂₄)

Zusätzlich wurden ein Gewässermonitoring und ein Lärmschutzgutachten beauftragt und während der Bauphase musste gewässerseitig ein temporärer dichter Zaun zum Schutz des Bibers errichtet werden.

2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Steuerung der IAR erfolgt über ein Prozessleitsystem. Da für Anlagen dieser Komplexität keine handelsüblichen Software-Lösungen zur Verfügung standen, wurde eine eigene Variante auf Basis speicherprogrammierbarer Steuerungen (SPS) als dezentral aufgebaute SPS Siemens S7 realisiert. Die Visualisierung erfolgte über Scada V10 (HydroDat). Somit können sämtliche Pumpen, Schieber, Aggregate von der Leitwarte aus überwacht und gesteuert werden. Zusätzlich werden signifikante Parameter online erfasst und über das Prozessleitsystem in Echtzeit ausgewertet. Bei drohenden betriebskritischen Zuständen erfolgt eine automatische Alarmierung.

Die Automatisierung der Anlage wurde derart realisiert, dass auch die Bedienung und Auswertung mit mobilen Endgeräten vor Ort und aus der Ferne möglich ist. Zudem wurden geeignete Maßnahmen zum Datenschutz umgesetzt

Ergänzt werden die rein technischen Steuerungsparameter durch weitere Messgrößen.

In den Zuläufen der IAR werden Durchflussmengen, Leitfähigkeit und Temperatur online erfasst.

CSB- Frachtspitzen, die während der Inbetriebnahmephase infolge von im Trockenwerk aufgetretenen Havarien der IAR zugeführt wurden, lassen sich mit diesen Parametern allerdings nicht erfassen. Zu diesem Zweck wurde versuchsweise zusätzlich eine Trübungsmessung (SAK) installiert.

Die ausgewählte Trübungsmesssonde mit interner Software zur Umrechnung des Trübungsmesswertes in CSB wurde zunächst leihweise angeschafft, war jedoch für diese spezielle Abwasserzusammensetzung nicht geeignet (schnelle Verkrustungen) und musste wieder ausgebaut werden. Später wurde das ungeeignete Gerät durch ein Gerät der Firma LAR ersetzt.

Im Misch- und Ausgleichsbehälter wird zusätzlich der pH- Wert gemessen.

Die nachfolgenden Reinigungsstufen sind mit folgenden on-line Messsensoren ausgerüstet:

Elektrodialyse	Durchflussmessung Leitfähigkeit Druck pH- Wert Temperatur
Flotation	SAK im Ablauf
R2S	Schaumdetektor Füllstandsüberwachung pH-Wert Temperatur
MAP-Stufe	Schaumdetektor Füllstandsüberwachung pH-Wert Ammoniumkonzentration in Zulauf und im Ablauf Phosphorkonzentration im Zulauf
SBR	Füllstandsüberwachung pH-Wert Sauerstoffkonzentration Trübung Druck (Belüftung)

Zur Dokumentation der Reinigungsleistung werden chemische Analysen durchgeführt. Die untersuchten Parameter orientieren sich im Wesentlichen an den im Erlaubnisbescheid nach WHG formulierten Überwachungsparametern.

Die Probenahme findet an folgenden Stellen überwiegend per Schöpfprobe statt:

Zulauf Trockenwerk

Zulauf Käserei

Zulauf Flotation, Ablauf Flotation

Ablauf R2S

Ablauf MAP

SBR 1 Reaktionsphase, SBR 1 Klarwasserphase

SBR 2 Reaktionsphase, SBR 2 Klarwasserphase

Des Weiteren wird der Klarwasserablauf in die Haune mittels 24 h Mischprobe untersucht. Hier wurde ein automatischer Probenehmer installiert.

3. Ergebnisse

3.1. Bewertung der Vorhabensdurchführung

Die IAR wurde errichtet, um alle anfallenden Produktionsabwässer des Molketrockenwerkes und des Käsewerkes der Hochwald Foods GmbH in Hünfeld zu behandeln.

Abwässer aus der Lebensmittelindustrie sind in der Regel in Abhängigkeit von Produktpalette, Produktionsmenge, Spül- und Reinigungsschritten durch starke Schwankungen der Abwassermenge und Abwasserzusammensetzung gekennzeichnet. Dies spiegelt sich auch hier wieder.

Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Ausschnitt der Schwankungsbreiten von Abwassermenge und –fracht während einer stabilen Produktionsperiode.

Tabelle 3: Abwassermengen und CSB–Frachten nach Betriebstagebuch

Datum	Abwassermenge m3/d	Auslastung	CSB-Fracht kg/d	Auslastung
		Abwassermenge lt. Wasserrecht %		CSB-Fracht %
28.02.2016	1.762	84	13.220	123
29.02.2016	1.856	88	11.424	107
01.03.2016	1.355	65	8.943	83
02.03.2016	2.230	106	13.878	130
03.03.2016	1.998	95	12.441	116
04.03.2016	1.760	84	8.642	81
05.03.2016	1.647	78	7.143	67
06.03.2016	1.916	91	7.692	72
07.03.2016	2.008	96	15.100	141
08.03.2016	1.875	89	10.734	100
09.03.2016	2.128	96	8.261	77
10.03.2016	1.531	73	7.236	68
11.03.2016	1.879	89	11.029	103
12.03.2016	2.087	99	11.026	103
13.03.2016	2.090	100	11.181	104

Zur gezielten Behandlung der Abwässer wurden diese im Trockenwerk am Ort des Anfalls erfasst und in separaten Leitungen den jeweiligen Behandlungsstufen der IAR zugeführt.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der einzelnen Reinigungsstufen beschrieben.

Elektrodialyse

Die Elektrodialyse ist ein elektrochemisch getriebener Membranprozess. Dabei werden Ionenaustauschmembranen in Kombination mit einer elektrischen Potentialdifferenz benutzt, um bestimmte Ionen von ungeladenen Lösungsmitteln oder Verunreinigungen abzutrennen³. Organische Abwasserinhaltsstoffe und die zweiwertigen Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+}) und Anionen verbleiben im Permeat der Elektrodialysestufe.

Mittels Elektrodialyse wird nur der stark salzhaltige Teilstrom aus der Demineralisierung behandelt (Regenerate der Ionenaustauscher des Trockenwerkes sowie ein Teilstrom der RO- Anlage). Die zu behandelnde Wassermenge beträgt laut Planungsunterlagen im Maximum ca. 500 m³/d.

Durch diese Entnahme von einwertigen Ionen werden die Chlorid- und Kaliumfrachten aus der Demineralisierung abgemindert.

Das Abwasser wird vor Eintritt in die Elektrodialysestufe pH-reguliert, um eine möglichst lange Lebensdauer der ausgewählten Membranen zu gewährleisten

Um Frachtstöße einwertiger Ionen auch während der für die ED- Membranen notwendigen Reinigungszeiten behandeln zu können, wurde die Elektrodialyseanlage zwei-straßig errichtet. Somit können bei gleichzeitigem Betrieb beider Straßen maximal 400 m³/d teilentsalzt werden. (Ein Teil der Ionenaustauscherregenerate muss nicht direkt entsalzt werden, sondern dient lediglich der pH-Korrektur – daher resultiert die im Vergleich zur anfallenden Wassermenge etwas geringere Auslegung der ED- Anlage)

Üblicherweise werden zur Bemessung der Elektrodialyse Vorversuche im Labor- bzw. Technikumsmaßstab durchgeführt.

Da aufgrund des Pilotcharakters dieses Projektes kein reales Abwasser zur Verfügung stand, mussten die Versuche durch das ausführende Unternehmen (Deukum GmbH) an einem synthetisch hergestelltem Modellwasser durchgeführt werden.

³ www.wikipedia.de

Zu dessen Herstellung wurden 1.000 l vollentsalztes Wasser mit

11,17 g/l KH_2PO_4 ,

24,21 g/l NaCl,

10,00 g/l KCl und

7,30 g/l CaCl_2 angereichert.

Diese Salzlösung wurde dann mit 1.000 l Molke vermischt.

In der Versuchsreihe 1 wurden verschiedene Membrantypen auf ihre Eignung für das Modellsubstrat untersucht

Tabelle 4: Untersuchte Membrantypen

Hersteller	Membrantyp
FumaTech	FAS
	FKS
FujiFilm	AEM 1
	AEM 2
	CEM 1
	CEM 2

Diese Membranen wurden in 2014 (Mai bis August) in 7 einzelnen Versuchsperioden getestet.

Im Ergebnis der ersten Versuchsreihe wurde festgestellt, dass

- die Technologie „Entsalzung von salz- und molkehaltigem Abwasser mittels Elektrodialyse“ realistisch ist.
- die beiden Membrantypen der Firma FumaTech stärker zum organischen Fouling neigen und daher häufiger gereinigt werden mussten,
- mit den beiden Membrantypen der Firma FumaTech ein sehr hoher Ionenrückhalt erzielt wurde,
- die Membrantypen AEM 1 und CEM 1 der Firma FujiFilm zu einem hohen Strombedarf führten und infolge dessen (vermutlich durch eine Überschreitung der Grenzstromdichte) zerstört wurden,
- mit den beiden Membrantypen AEM 2 und CEM 2 der Firma FujiTech die besten Ergebnisse erzielt wurden,

Die anschließenden Versuche zur Frachtreduzierung wurden folglich mit den Membranen AEM 2 und CEM 2 weitergeführt.

In allen Versuchsperioden wurden die Kalium- und Chloridionenkonzentrationen zu mehr als 70 % vermindert.

Im Rahmen der Versuche mit der IAR- Elektrodialyse wurde ein Ausfällen von Kalziumphosphat auf und innerhalb der Anionenaustauschermembran beobachtet. Diese Ausfällung führte zur Beschädigung der Membranen.

Um diesen Sachverhalt näher eingrenzen zu können, erfolgten in einer zweiten Versuchsreihe (März bis Mai 2015) zusätzliche Reinigungsversuche in einer separaten Laboranlage mit folgenden Ergebnissen:

- der Einsatz von Antiscalant erwies sich als teuer und nicht erforderlich,
- bei Betrieb der Versuchsanlage mit Polumkehr war die Effizienz der FumaTech-Membranen geringer als die der FujiFilm- Membranen,
- tensidhaltige Reiniger sind zur Reinigung der FumaTech- Membranen ungeeignet,
- die FujiFilm- Membranen waren gegenüber tensidhaltigen Reinigungsmitteln unempfindlicher, wurden aber dennoch deutlich beeinträchtigt
- die FujiFilm- Membranen zeigten einen gleichmäßigeren Stromverlauf über die Betriebszeit und damit eine höhere Effizienz.

Im Ergebnis der beiden Versuchsreihen wurde für den reibungslosen Betrieb der Elektrodialyseanlage in der IAR für zeitlich begrenzte Zeiträume ein deutlich erhöhter Frischwasserbedarf (Trinkwasserqualität) festgestellt. Diese Wassermenge (170 m³/d bei Vollast) kann seitens der zuständigen Stadtwerke nicht stetig bereitgestellt werden.

Daher wurde die Elektrodialyseanlage erst ab 08.12.2015 mit zunächst 12 der 24 Module in Betrieb genommen, wobei sicherheitshalber für einen kurzen zeitlich begrenzten Zeitraum zur Frischwasserreserve Tankwagen bereitgestellt wurden., Für die Funktionstests und die noch erforderlichen Programmierungsarbeiten wurde eine Kochsalzlösung eingesetzt.

Der Betrieb mit realem salzreichem Abwasser startete in der letzten Januarwoche 2016 mit zunächst nur einer der beiden Straßen. Dies war ausreichend, um die zu diesem Zeitpunkt der IAR zugeführte stark salzhaltige Abwassermenge zu behandeln.

Im Dauerbetrieb wurde die Chloridkonzentration im salzbelasteten Teilstrom der IAR von durchschnittlich 34.500 mg/l auf 5.100 mg/l abgemindert. Die Kaliumkonzentration wurde von zugeführten 14.400 mg/l auf 2.100 mg/l vermindert. Das entspricht in beiden Fällen einer Eliminationsrate von ca. 85 %.

Während eines im Trockenwerk aufgetretenen Störfalles gelangten mit den salzreichen Abwässern auch unerwarteterweise Tenside und andere organische Verbindungen zur Elektrodialyseanlage. Dies führte zu starken Ablagerungen auf den Membranen. In der Folge traten punktuell sehr hohe Stromdichten auf, was zu Lochfraß und damit zur Zerstörung der Membranpakete führte.

Aus versicherungstechnischen Gründen konnten die Membranen nicht zeitnah wieder neu bestückt und weiterbetrieben werden.

Zur Ursachenforschung wurde der Störfall mit einem Membranstapel nachgestellt, so dass für eine ausreichende Entsalzung der Trockenwerksabwässer nun nicht mehr genügend Membranpakete zur Verfügung standen (diese waren in der zweiten, noch nicht benutzten Straße verbaut).

Daher wurde die Elektrodialyseanlage während der Leistungsfahrt der IAR (Juni 2016) nicht betrieben und konnte erst nach Austausch der Membranen in einem separaten Procedere (September 2016) abgenommen werden. Seitdem wird die Elektrodialyseanlage im Dauerbetrieb betrieben.

Belastbare Aussagen zu Standzeiten der Membranen sind allerdings erst nach mehrjährigem Dauerbetrieb möglich.

Während der Stillstandszeit der Elektrodialyseanlage wurde mit Hilfe einer zusätzlichen Versuchsanlage (Technikumsmaßstab) das Reinigungsschema für die Membranen mit dem realen Abwasser mehrfach wiederholt, angepasst und verbessert.

Dazu wurde in verschiedenen Versuchsreihen das Feed der Versuchsanlage filtriert, der pH- Wert variiert und andere Reinigungsmittel beim CIP- Prozess eingesetzt. Damit konnte das Scaling auf die Membranen deutlich vermindert werden, auch ließen sich die Beläge beim Reinigen besser entfernen.

Im Folgenden wurde die Elektrodialyse- Anlage um weitere Dosierstellen für NaOH und HCl nachgerüstet, so dass die pH- Werte des Diluat- und Konzentratkreislaufs mit höherer Sicherheit konstant gehalten werden können (Das Löslichkeitsgleichgewicht der verschiedenen Salze, die an den Membranen ausfallen können, ist pH- und temperaturabhängig).

Unter Anwendung der Optimierungsparameter konnten sowohl die Versuchsanlage als auch die Elektrodialyseanlage der IAR störungsfrei betrieben werden, ohne dass Lochfraß an den Membranen in den Membranpaketen entstand (Testbetrieb 28.09.2016 bis 12.10.2016 = Leistungsfahrt); seit 13.10.2016 ist die Anlage im Regelbetrieb.

Die Elektrodialyseanlage erreichte im Dauerbetrieb eine hohe Entsalzungsleistung mit einer Eliminationsleistung von 84 % für Chlorid und 88 % für Kaliumionen.

Das anfallende Konzentrat (Na K – Lösung) wurde vom LANUV NRW als Düngemittel genehmigt.

Flotation

In dieser Stufe sollen im Wesentlichen partikuläre Abwasserinhaltsstoffe, Suspensa und Fett abgeschieden werden. Unterstützt wird dies durch die Dosierung von Flockungsmitteln.

Das Gleichgewicht Adsorption/ Desorption ist temperaturabhängig. Die vergleichsweise hohe Wassertemperatur (das Abwasser fällt mit bis zu 38°C an) schränkt die Adsorption von ungelösten Verbindungen am Flockungsmittel daher etwas ein.

Im Hinblick auf gute Abbaubarkeit in der Anaerobstufe wurden sowohl kationische als auch anionische Polymerflockungsmittel eingesetzt (Hersteller der Flockungsmittel: Kemira).

Um das optimale Flockungsmittel für den betreffenden Prozess auszuwählen, wurden im Becherglasversuch zunächst 20 kationische und 5 anionische Flockungsmittel getestet. Dazu wurde ein Becher mit 200 ml Abwasser auf einem Magnet-rührwerk mit schneller Drehzahl gerührt und dann 0,2 %ige Polymerlösung dosiert, bis sich kleine Flocken bildeten. Dann wurde der Rührer abgestellt, um den gebildeten Primärflocken das Wachstum zu ermöglichen.

Die Produkte, bei denen eine gute Flockenbildung visuell erkennbar war, wurden dann mit verschiedenen Dosiermengen und ggf. bei verschiedenen pH-Werten getestet (Zugabe von Fällmittel und Einstellen von pH-Wert in Neutralbereich)

Bei 200 ml eingesetztem Abwasser entsprechen 10 ml Polymerlösung 100 g Polymer (Handelsware) pro Kubikmeter Abwasser.



Abbildung 3: Abwasser vor und nach Flockung (Quelle ABS Steding GmbH)

In der Inbetriebnahmephase der IAR wurden dem Abwasser üblicherweise ca. 25 l/h Eisen(III)sulfat zudosiert, anschließend wurde mit anionischem Polymer geflockt. Dabei wurden 20 - 50 g Handelsware pro Kubikmeter dosiert. Dies entspricht 2 - 5 l/h Polymerkonzentrat, welches mit Wasser auf 0,2 - 0,5% verdünnt und vorhydrolysiert wurde.

Die Dosierung erfolgt direkt vor dem Einlaufen des Abwassers in die Flotationsstufe. Hier ist infolge der turbulenten Strömung im Einlauf genügend Energie für die Primärflockungsphase vorhanden, so dass auf zusätzliche bauliche Maßnahmen verzichtet werden kann.

Der zusätzliche Einsatz von Eisensulfat zum Polymerflockungsmittel wurde in der Inbetriebnahmephase erforderlich, weil hohe CSB- Frachten mehrfach zur temporären Überlastung der Flotation führten. Auf diese Weise konnte durch einen stetig hohen Chemikalienverbrauch die Einhaltung der CSB- Ablaufgrenzwerte gewährleistet werden.

Die damit eingetragenen Sulfationen führten jedoch zwangsläufig zu einer erhöhten H_2S - Konzentration im R2S- Reaktor (im Rohgas wurden bis zu 8.000 ppm H_2S gemessen) und damit auch zu höheren Aufwendungen bei der Gasentschwefelung. Anfang Dezember 2015 wurde bei stabilem Anlagenbetrieb die Eisensulfatdosierung daher wiedereingestellt.

Wenn infolge einer Prozessstörung oder Havarie im Trockenwerk hohe Nitrat- bzw. Nitritwerte im Abwasser gemessen wurden, musste der nachfolgende R2S- Reaktor „umfahren“ werden, weil der dort ablaufende streng anaerobe Prozess der Methanbildung durch hohe Nitratkonzentrationen nachhaltig gestört wird.

Um einen höheren Wirkungsgrad bei der Flotationsstufe zu erreichen, musste in diesen zeitlich begrenzten Fällen von anionischen auf kationische Flockungsmittel umgestellt werden. Dazu wurden ca. 1-2 l/m³ Natriumaluminat dosiert, auf welches dann ca. 60-120 g/m³ kationisches Polymer dosiert wurde. Diese Verfahrensweise kann jedoch nur in zeitlich begrenzten Havariefällen bei „Umfahrung“ des R2S- Reaktors eingesetzt werden, weil die Befürchtung besteht, dass diese Flockungsmittelkombination zur Anlagerung an die Pellets neigt und zu deren Zerstörung führt (die Mikroorganismen im R2S- Reaktor liegen auf einem CaCO₃- Kern immobilisiert in Pelletform vor).

Seit Dezember 2015 (post- Inbetriebnahmephase) traten im Trockenwerk im Ergebnis durchgeführter Produktionsoptimierungen deutlich seltener Frachtstöße auf, so dass auch die Abwasserzusammensetzung nicht mehr so stark schwankte. Somit konnte der Flockungsmittelbedarf wieder vermindert werden und die Flotationsstufe wurde im Wesentlichen zur Fettflotation genutzt. Der überwiegende Teil des CSB wurde seitdem im R2S- Reaktor abgebaut

R2S-Reaktor

Die anaerobe Reinigungsstufe stellt einen wichtigen Beitrag zur energie- und ressourcenoptimierten Betriebsweise der IAR.

Der Überschussschlammanfall (bezogen auf die abgebaute CSB- Fracht) ist wesentlich geringer als bei aeroben Verfahren.

Weiland /8/ gibt für acetogene Bakterien eine Generationszeit von 80 – 90 Stunden und für Methanococcus von ca. 10 Tagen an. Dagegen beträgt die Generationszeit von aerobem Belebtschlamm etwa 2 Stunden.

Weiterhin entsteht in der anaeroben Reinigungsstufe wertvolles Biogas, das auf der IAR in einem BHKW des Typs 2G verstromt wird und den Gesamtenergiebedarf der IAR senkt. Die Abwärme des BHKW dient der Fermenterheizung⁴.

Zudem sind wegen der erzielbaren höheren Raumbelastung bei anaeroben Verfahrensstufen kleinere Reaktorvolumina erforderlich als bei aeroben Verfahren, was sich nicht nur im Platzbedarf, sondern auch in den Kosten für den Behälterbau widerspiegelt.

Der zur Anwendung gebrachte R2S- Reaktor, welcher in eine Hochlast- und eine Schwachlastzone unterteilt ist, stellt eine Weiterentwicklung klassischer UASB- Reaktoren dar.

Das Abwasser wird im unteren Teil des Reaktors eingespeist und durchströmt ein aus Schlamm pellets bestehendes Schlamm Bett. Die Pellets sind idealerweise kugelförmige Aggregationen versäuernder und methanbildender Bakterien. In diesem Schlamm Bett erfolgt der Abbau organischer Kohlenstoffverbindungen und es entstehen Methan und CO₂.

Durch die anhaftenden Gasblasen steigen die Schlamm pellets auf, wobei im oberen Teil des Reaktors mittels einer Trenneinrichtung das Gas abgeschieden und dem Gasspeicher zugeführt wird.

Die so vom Gas befreiten Pellets sinken wieder ab.

Eine biologische Behandlung von salinen Abwässern ist aber nur dann möglich, wenn den Mikroorganismen eine Adaptionszeit eingeräumt wird, wenn Schwankungen in der Salzkonzentration vermieden werden und wenn zudem den Absatzproblemen (aufgrund der höheren Dichte des salzhaltigen Abwassers) Rechnung getragen wird /9/.

Die Auslegung dieses Prozesses wurde dadurch erschwert, dass keine Versuche zur Prozessstabilität an kleintechnischen Pilotanlagen möglich waren, weil das Hünfelder Trockenwerk die erste Anlage dieser Art in Deutschland ist. Trotz inten-

⁴ Da das Abwasser des Trockenwerkes mit einer durchschnittlichen Temperatur von ca. 26°C in den Fermenter eingespeist wird, muss weniger Wärmeenergie für den Fermenter bereitgestellt werden, als dass bei klassischen Faultürmen der Fall ist

siver Bemühungen seitens der ausführenden Firmen gelang es nicht, repräsentative Abwässer aus den anderen in Europa betriebenen Demin 90 Anlagen zu beschaffen. Somit erfolgte die Bemessung des R2S- Reaktors (wie auch die Bemessung der anderen Verfahrensstufen) anhand der in Kalkulationen ermittelten Werte und unter Einbringung des Erfahrungsschatzes der an der Planung beteiligten Firmen.

Der Reaktor wurde mit Pelletschlamm aus einem Spremberger Anaerobreaktor, welcher für die Reinigung von Papierabwässern eingesetzt wird, beimpft. Dieser wurde wegen der analogen CSB- Frachten ausgewählt. Das sogenannte Animpfen ist eine übliche Vorgehensweise, da es aufgrund der geringen Wachstumsgeschwindigkeit der anaeroben Bakterien zu lange dauern würde, die für den Abbauprozess erforderliche Biomasse selbst heranzuzüchten.

Der R2S- Reaktor wurde ab 13.08.2015 erstmals mit einem Durchsatz von 15 m³/h beschickt. Die Beschickung erfolgte zunächst mit Molkereiabwasser und Trockenwerksabwasser ohne Salzfrachten (FOS = 1.098 mg/l; CSB = 3.380 mg/l - das entspricht 1,2 t CSB/d).

Bis zum 04.09.2015 wurde die Fütterungsmenge auf 70 m³/h gesteigert.

Es konnte recht zügig eine Gasproduktion verzeichnet werden. Die erste Gasanalyse erfolgte am 08.09.2015 und ergab einen CO₂- Anteil von 12 % und einen H₂S- Anteil von 0,25 % im Biogas.

Am 22.10.2015 konnte das BHKW (Typ 2G) in Betrieb genommen und das Biogas verstromt werden. Da zu diesem Zeitpunkt die Elektrodialyse noch nicht in Betrieb genommen wurde, konnte zeitweise die IRA fast energieautark betrieben werden.

Tabelle 5: Auszug der Betriebsdaten des R2S- Reaktors (Quelle wks Technik GmbH)

2015 KW	Gas m³	Abwasser m³	Zulauf CSB mg/l	Ablauf CSB mg/l	Abbau- rate %	Raum- belastung kgCSB/m³*d
43	6.147	10.039	2.513	291	88,4	8,5
44	9.741	10.182	2.574	273	89,4	8,9
45	7.489	10.100	2.505	246	90,2	8,6
46	9.179	10.907	1.945	192	90,1	7,2
47	13.089	12.756	3.207	321	90	13,8
48	11.945	12.416	2.420	299	87,6	10,2
49	11.317	13.342	2.557	263	89,7	11,5
50	11.634	12.305	2.840	255	91	11,8
51	9.275	10.928	2.250	265	88,2	8,3
52	10.919	10.329	2.663	271	89,8	9,3
53	10.863	9.170	2.609	238	90,9	8,1

Rein stöchiometrisch entstehen beim vollständigen Abbau von 1 kg CSB 0,35 Nm³ Methan (CH₄). Berücksichtigt man den C- Verlust durch Biomassebildung der am Abbau beteiligten Bakterien mit etwa 10 %, so ist mit einer maximalen Methanproduktion von 0,32 Nm³/ kg abgebautem CSB zurechnen /10/ /11/.

Der Methangehalt im Biogas wurde während der Inbetriebnahme meist einmal monatlich zur Kontrolle bestimmt.

Die folgende Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung der theoretischen und der real gemessenen Methanproduktion während der Phase der Inbetriebnahme der IAR:

Tabelle 6: Methangasproduktion R2S-Reaktor

Datum	abgebaute CSB-Fracht in kg/d	theoret. CH4- Ertrag in Nm³	gemessener Biogaser- trag in m³	davon CH₄ in m³
12.11.2015	5.178,9	1.657,2	1.731,9	1.454,8
02.12.2015	6.288,6	2.012,3	1.737,3	1.442,0
03.01.2016	4.553,9	1.457,2	1.815,7	1.543,3
18.04.2016	8.668,1	2.773,8	1.026,0	779,8
09.05.2016	7.858,6	2.514,7	2.696,8	2.103,5
11.05.2016	7.133,6	2.282,7	2.561,8	1.947,0
23.05.2016	6.360,9	2.035,5	2.367,6	2.012,5
04.06.2016	5.091,0	1.629,1	1.288,5	1.030,8
10.06.2016	2.232,7	714,5	641,1	545,0

Vernachlässigt man die Abweichungen zwischen Nm³ und m³, so zeigt sich doch, dass die Methanerträge unter den rechnerisch ermittelten Werten liegen. Hierfür müssen mehrere Ursachen in Betracht gezogen werden:

- a) das saline Milieu hemmt den anaeroben Abbau teilweise
- b) das saline Milieu und Metallionen in ihrer reduzierten Oxidationsstufe beeinflussen die analytische Bestimmung des CSB, so dass mit hohen Abweichungen vom Messwert gerechnet werden muss
- c) der R2S- Reaktor wird so betrieben, dass der überwiegende Teil der organischen Fracht in dieser Reinigungsstufe abgebaut wird, jedoch noch Kohlenstoffverbindungen für die nachfolgende SBR- Biologie verbleiben (allerdings muss angemerkt werden, dass die leicht abbaubaren C-Verbindungen bereits in der anaeroben Stufe bevorzugt umgesetzt werden, der aeroben SBR- Stufe dann lediglich schwerer abbaubare Verbindungen zur Verfügung stehen)

- d) die zugrunde gelegten stöchiometrischen Berechnungen beziehen sich auf die Zusammensetzung kommunalen Abwassers, so dass eine Übertragbarkeit nur bedingt gegeben ist.

Entsprechend der Literaturangaben ist eine Ca- Konzentration von 50 - 200 mg/l im Zulauf zum Reaktor für einen stabilen Biomasserückhalt in Form der Pellets erforderlich /12/ /13/.

Die Ca- Konzentration im Zulauf der IAR- Anaerobstufe entspricht während der Betriebszeit in 2015 diesen Werten, ist aber eher im unteren Bereich angesiedelt.

Tabelle 7: Ca- Konzentration im R2S-Zulauf (Quelle ABS Steding)

Datum	Ca [mg/l]
16.11.2015	55
22.11.2015	62
01.12.2015	55
07.12.2015	98

Im weiteren Betriebsverlauf lagen die Ca- Konzentrationen häufig unterhalb des Literaturwertes

Tabelle 8: Auszug aus dem Betriebstagebuch wks Technik GmbH

Datum	Ca [mg/l]
18.01.2016	42
15.02.2016	32
03.03.2016	50
21.03.2016	42
11.04.2016	45
24.04.2016	50
23.05.2016	47

Zeitgleich verringerten sich die Abbauraten.

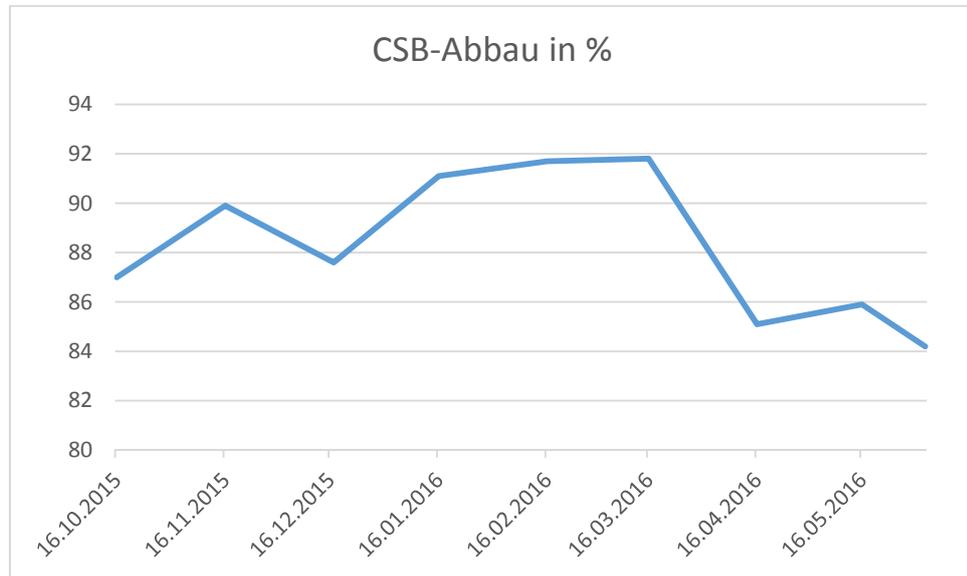


Abbildung 4: Anaerobstufte Abbauraten CSB

Schönborn et.al. /9/ haben beim Betrieb der Anaerob- Reaktoren im Gemeinschaftsklärwerk Bitterfeld- Wolfen festgestellt, dass die Pelletgröße trotz einer den Literaturangaben entsprechenden Ca-Konzentration abnahm (Biomasseverlust). Es wird vermutet, dass sich ein hohes Ca/Na- Verhältnis günstig auf die Flockenstruktur auswirkt. Eine Erhöhung dieses Verhältnisses ist z.B. durch Dosierung von Kalkmilch möglich, jedoch muss bei einer solchen Vorgehensweise auch mit Ausfällungen im Reaktor (insbesondere im Bereich der Messeinrichtungen, wie z.B. Durchflussmesser, pH- Sonden) gerechnet werden.

Beim Betrieb des R2S auf der IAR scheinen ähnliche Effekte aufgetreten zu sein. Es ist zu vermuten, dass aufgrund einer Verringerung der Ca- Kerne auch die Stabilität der Belebtschlamm pellets während der Inbetriebnahmephase langsam abnahm.

Kalziumionen (Ca^{2+}) dienen als Brückenbildner zwischen den negativ geladenen Zellen und den von diesen ausgeschiedenen extrazellulären polymeren Substanzen. Infolge der Verdrängung der Kalziumionen durch Natriumionen, die nur eine geringere Ladungsdichte und einen kleineren Ionenradius besitzen, verlieren diese Konglomerate an Stabilität /14/.

Zur Stabilisierung wurde dem Reaktor im Sommer und im Winter 2016 nochmals aktive Biomasse aus einer Fremdanlage zugeführt.

Abläufe anaerober Anlagen müssen vor ihrer Einleitung ins Gewässer aerob nachbehandelt werden, damit sauerstoffzehrende Prozesse im Vorfluter vermieden werden.

Im betrachteten Fall der IAR werden für die aerobe Behandlung zwei SBR- Reaktoren wechselseitig als letzte Reinigungsstufe betrieben.

MAP-Fällung

Nach dem anaeroben Abbau der organischen Kohlenstoffverbindungen weist das Abwasser noch hohe Konzentrationen an Ammonium- und Phosphationen auf. Bei gleichzeitiger Anwesenheit von Magnesiumionen können bei entsprechendem pH-Wert spontane MAP- Fällungen (Magnesiumammoniumphosphat) auftreten und zu Inkrustationen in Rohrleitungen oder an anderen Anlagenteilen führen.

Daher soll das MAP durch eine kontrollierte Fällung aus dem Abwasserstrom abgeschieden werden.

Darüber hinaus können auf diese Weise Nährstoffe (N, P) zurückgewonnen und vermarktet werden, was insbesondere unter dem Aspekt der weltweit begrenzten Phosphorlagerstätten nicht nur von ökologischer, sondern auch von ökonomischer Bedeutung ist.

Die Fällung von Magnesiumammoniumphosphat wurde Anfang Juli 2015 in Betrieb genommen und alle verbauten Komponenten auf ihre Betriebsfähigkeit geprüft. Dabei dient die Phosphorkonzentration als „Fix- Wert“, auf den Ammonium- und Magnesium stöchiometrisch ergänzt werden können.

Da in den vorgeschalteten Reinigungsstufen der überwiegende Anteil organischer Verbindungen abgebaut wird und das Substrat selbst aus der Lebensmittelerzeugung stammt und somit keine Belastung mit pathogenen Keimen zu erwarten ist, ist hier ein sehr reines MAP mit guten Vermarktungschancen zu erwarten.

Aufgrund der während der Inbetriebnahme des Trockenwerkes aufgetretenen inbetriebnahmebedingten Frachtstöße musste mehrfach die Betriebsführung der IAR modifiziert werden, um die gesetzlich festgelegten Ablaufgrenzwerte gewährleisten zu können.

Dies erforderte einen hohen zeitlichen und personellen Aufwand.

Wegen dieses Sachverhaltes und der Tatsache, dass die anaerobe Reinigungsstufe noch nicht zufriedenstellend an die Abwasserzusammensetzung adaptiert wurde, war die organische Fracht während der Inbetriebnahmephase noch zu hoch, um Magnesiumammoniumphosphat in einer Reinheitsqualität auszufällen, welche eine Vermarktung als Düngemittel erlaubt.

Um Chemikalienkosten und die Kosten, die bei einer eventuellen Entsorgung eines Misch- Fällproduktes anfallen, einzusparen, wurde der Betrieb der MAP-Stufe zunächst auf einen späteren Zeitraum verschoben, in welchem wieder mit einer stabilen Abwasserzusammensetzung zu rechnen ist.

Ab Anfang Oktober 2015 wurde die MAP- Fällung erneut in Betrieb genommen. Obwohl die sich einstellenden pH- Werte etwas unterhalb des allgemein als Fälloptimum angegebenen Bereiches von 8,5 – 9,0⁵ lagen, konnte kontinuierlich MAP ausgefällt werden.

⁵ Gheysa de Rocio Moraias Pires Kombinierte Verfahren zur Gewinnung von Biogas und MAP aus kommunalem Abwasser
Masterarbeit, TU Braunschweig 2009

Tabelle 9: Übersicht über die gewonnenen Struvitmengen
(Magnesiumammoniumphosphat)

Datum	MAP [m³/d/Reaktor]
20.10.2015	24
21.10.2015	32
22.10.2015	32
23.10.2015	32
24.10.2015	36
25.10.2015	36
26.10.2015	36
27.10.2015	36
28.10.2015	36
29.10.2015	36
30.10.2015	36
02.11.2015	36
03.11.2015	36
04.11.2015	36
05.11.2015	36
09.11.2015	36
11.11.2015	36
13.11.2015	45

Durch die bei der Inbetriebnahme des Trockenwerkes aufgetretenen Frachtstöße musste der Regelbetrieb der IAR häufig abgewandelt werden, was sich leider auch auf die Prozessführung der der MAP-Fällung vorgeschalteten Stufen auswirkte. Dadurch und durch einen unzureichenden Abscheidegrad der MAP- Austragschnecke (der durch konstruktive Veränderungen später behoben werden konnte) wurde die Abscheidung von Schwebstoffen und/oder Belebtschlamm nachteilig be-

einflusst, so dass das ausgefällte MAP zunächst noch nicht den gewünschten Reinheitsgrad aufwies. Auch das Waschen der Kristalle vor der Vermarktung konnte noch keine zufriedenstellende Produktqualität erzielt werden. Das Salz MAP ließ sich zunächst nur unzureichend von den organischen Verunreinigungen trennen

Tabelle 10: Ergebnisse der MAP- Probe vom 27.10.2015, analysiert von LUFA-ITL, Kiel

Wassergehalt	6,7 % der OS
oTS	26,2 % der TS
Chlorid	< 0,11 % der TS
gesamt-N	7,8 % der TS
Ammonium-N	7,1 % der TS
gesamt-P (P ₂ O ₅)	44,1 % der TS
K (K ₂ O)	1,7 % der TS
Ca (CaO)	0,2 % der TS
Mg (MgO)	25,7 % der TS
S	< 0,05 % der TS
Na	< 0,11 % der TS

Nachdem bauliche Änderungen an der Austragsschnecke vorgenommen wurden, wurde ab der 2. Kalenderwoche 2016 das MAP mit einem deutlich verbesserten Reinheitsgrad (gelblich-weiße Kristalle) gewonnen.

Auch konnte durch Bildung größerer, besser abtrennbarer Kristalle mehr MAP abgeschieden werden. Während der Leistungsfahrt (Juni 2016) wurden durchschnittlich 48 m³/d/Reaktor MAP gewonnen. Dies entspricht einer Steigerung um ca. 33 % gegenüber den Erträgen des Jahres 2015.



Abbildung 5: Probe von ausgefälltem Magnesiumammoniumchlorid

Die Zulassung des MAP als Düngemittel wurde beantragt. Die Entscheidung der Behörde steht noch aus.

SBR-Reaktoren

Die aerobe Reinigung ist als „Nachreinigung“ ausgelegt, in der Rest-CSB (Organika) und Ammoniumionen abgebaut und dabei freiwerdende Phosphate in Bakterienbiomasse eingelagert werden. Das Abwasser muss dazu belüftet werden. Aus Platzgründen wurde diese Reinigungsstufe als SBR- Verfahren realisiert. Dieses unterscheidet sich von klassischen Belebungsverfahren dadurch, dass alle zur biologischen Reinigung erforderlichen Schritte (Vorklärung, Belebungsbecken, Nachklärung) nicht in voneinander getrennten Reaktionsräumen stattfinden, sondern in einer zeitlichen Abfolge in ein und demselben Behälter.

Die SBR- Anlage der IAR besteht aus zwei Becken, die alternierend beschickt und betrieben werden (12 h – Rhythmus). Die Anlage wurde für einen Tagesdurchfluss von 2.300 m³/d ausgelegt. Dies schließt auch den Fall mit ein, dass die anaerobe Reinigungsstufe nicht in Betrieb ist (z.B. Wartungsarbeiten am R2S- Reaktor) oder dass die MAP- Fällstufe lediglich 50 % ihrer geplanten Reinigungsleistung erreicht.

Daher wurde die aerobe Reinigungsstufe gemeinsam mit der Flotation als erste Reinigungsstufen in Betrieb genommen und zunächst überwiegend mit dem Molkereiabwasser beschickt.

Um einen schnellen Aufbau von Bakterienbiomasse zu erreichen, wurde mit Belebtschlamm (Überschussschlamm) aus der kommunalen Kläranlage Hünfeld angeimpft.

Da zunächst noch keine hohen Salzfrachten der Anlage zugeführt wurden, gelang die Adaption an die neue Abwasserzusammensetzung zunächst reibungslos.

Am 03.06.2015 (ca. drei Wochen nach Beginn der Beschickung) wurden die behördlichen Überwachungswerte über mehrere Tage stabil eingehalten, so dass mit der Direkteinleitung in die Haune begonnen wurde.

Zu diesem Zeitpunkt wurden mit den Reinigungsschritten Flotation und aerobe Reinigung der CSB (für nicht salzhaltige Molkereiabwässer) um durchschnittlich mehr als 95 % eliminiert.

Inbetriebnahmebedingte Stoßbelastungen aus dem Trockenwerk (Demin 90- Anlage) im der IAR zugeführten Abwasser (bis zu 20 t CSB/d; die Auslegung beträgt dagegen 10 t CSB/d) sowie starke Schwankungen im Salzgehalt und beim pH-Wert hatten in den darauffolgenden Wochen eine Verminderung der Reinigungsleistung zur Folge.

Da infolge der Frachtstöße die Biologie der aeroben SBR- Stufe mehrfach geschädigt wurde, traten immer wieder erhöhte Risiken hinsichtlich der Überschreitungen der Überwachungswerte auf. Deshalb wurde in Absprache mit den zuständigen Behörden der Klarwasserablauf bis Februar 2016 indirekt in die kommunale Kläranlage abgeleitet, danach wurde die Direkteinleitung wiederaufgenommen. Seit dieser Zeit arbeitet die Anlage betriebsstabil.

Um das Absetzverhalten/Sedimentation des Belebtschlammes zu verbessern und einen Schlammabtrieb zu vermeiden, mussten die Belebtschlammflocken zusätzlich mit Hilfe von Flockungsmitteln beschwert werden.

Hierzu wurden zunächst Becherglasversuche durchgeführt, um das Flockungsmittel auszuwählen und die benötigte Menge an Flockungsmittel zu bestimmen.

In 100 ml Belebtschlamm wurden ca. 20-40 g/m³ Polymer (als 0,2 %ige Polymerlösung) dosiert. Dann wurde mittels Magnetrührer ca. 10 Sekunden gerührt.

Das Produkt wurde als geeignet bewertet, wenn sich eine relativ feste Flocke schnell bildete, die sich schnell absetzt und einem klaren Überstand bildet. Als effektiv erwies sich ein kationisches Polymer (ABS Floc 398)

Bei großen Frachtstößen stieg der Polymerverbrauch auf bis zu 120 g/m³ an.

Der im SBR- Reaktor anfallende Überschussschlamm wird mittels Zentrifuge entwässert und einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt. Der Entwässerungsgrad der Zentrifuge lässt sich bekanntlich durch Einsatz von Flockungsmitteln erhöhen. Um die optimalen Dosiermengen der Flockungsmittel zu ermitteln, wurden auch hier zunächst Vorversuche im Becherglas durchgeführt und anschließend im Probebetrieb mit der Zentrifuge validiert.

Es wurden in 200 ml Schlamm ca. 1.000 -2.000 g Handelsware pro Kubikmeter Schlamm (als 0,2 %ige Polymerlösung) dosiert. Dann wurde der Schlamm 10 Sekunden intensiv mit einem Rührgerät auf höchster Stufe gerührt, so dass Schlamm und Polymerflocken hohen Scherkräften ausgesetzt waren. Danach sollte sich im Idealfall ein „Ring“ aus klarem Zentrat um einen festen Schlamm herum gebildet haben.

In einem anderen Versuch wurden 100 ml Schlamm mit 1.000-2.000 g Handelsware versehen, in einen anderen Becher geschüttet und zwischen beiden Bechern kräftig immer hin und her „geschüttet“. Wenn die Flockung zwischen 2-10 x Schütten begann, wurde das Produkt als geeignet betrachtet.

Das beste Ergebnis auch hier mit einem kationischen Produkt erzielt. Für die Entwässerung des Überschussschlammes wird ABS Flocc 324 eingesetzt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Auszug aus der Laboruntersuchung des Überschussschlammes (Quelle: agrolab)

Tabelle 13: Analysenergebnisse der Überschussschlammprobe vom 17.09.2015, untersucht von Agrolab Labor GmbH Bruckberg (Auszug)

Parameter	Einheit	Wert
Salzgehalt	g KCl/l	4,26
pH-Wert		7,8
TS	%	22,8
oTS	%	8,3
gesamt-N	%	0,69
Ammonium-N	mg/l	1.110
Nitrat-N	mg/l	1,8
gesamt-P (P2O5)	%	3,08
K (K2O)	%	0,14
Mg (MgO)	%	0,77

Eine Zulassung/ Zertifizierung des Überschussschlammes wurde während der in diesem Bericht beschriebenen Inbetriebnahme der IAR noch nicht vorgenommen. Dies erscheint erst im Regelbetrieb der IAR sinnvoll.

Für eine umfassende Zertifizierung nach Düngemittelrecht ist es erforderlich, neben der analytischen Untersuchung repräsentativer Proben auch die Wirkung des Produktes auf Pflanzen zu untersuchen (Keimfähigkeit, Wachstumstest). Aufgrund klimatischer Gegebenheiten können Untersuchungen im Freiland nur während der Wachstumsperiode durchgeführt werden.

Mit Aufnahme des Regelbetriebes des R2S- Reaktors konnten die geltenden Grenzwerte im IAR- Ablauf im Wesentlichen erreicht werden. Sollte für die Zukunft ein Überwachungswert von z.B. 1 mg/l an Gesamtphosphor festgelegt werden, wird dieser jedoch noch häufig überschritten. Bezüglich dieses Parameters muss noch am Zusammenspiel der Reinigungsstufen MAP- Fällung / SBR- Stufe gearbeitet werden. Hiermit wurde bereits nach Abschluss der Umbaumaßnahmen für das Ha-varievorsorgesystem begonnen. Die Optimierungsarbeiten sind noch nicht abgeschlossen, weil auch die Optimierungsarbeiten im Trockenwerk noch immer andauern.

Havarievorsorgesystem

Das Havarievorsorgesystem entspricht einer zusätzlichen Prozessstufe der Abwasserbehandlung und umfasst zulaufseitig einen Vorsorgestapelbehälter und einen Denitrifikationsbehälter sowie ablaufseitig einen Behälter zur Vergleichsmäßigung des Abwasserstromes (Q_{24}).

Die einzelnen Abwasserströme werden noch im Leitungssystem zur IAR auf festgelegte Leitparameter untersucht. Registriert das Prozessleitsystem eine außergewöhnliche Tendenz in der Abwasserzusammensetzung, wird der betroffene Abwasserteilstrom automatisch in einen Vorsorgestapelbehälter im Zulauf der IAR umgeleitet, in dem die genaue analytische Untersuchung der Abwasserzusammensetzung erfolgen kann. Der reguläre Zufluss zu den Pufferbehältern der IAR wird dann gesperrt und kann erst nach Quittierung der Störung durch den Betriebsführer der IAR wieder aufgehoben werden. Der Vorsorgestapelbehälter ist auf die Zwischenspeicherung einer Abwassertagesmenge ausgelegt. Bei derartiger Sperrung eines einzelnen Teilstromes wird die IAR mit den in den regulären Pufferbehältern gespeicherten Wässern weiterbetrieben.

Das im Vorsorgestapelbehälter zwischengespeicherte Abwasser (mit abnormer Zusammensetzung) kann entweder frachtgesteuert der IAR zugeführt werden oder einem der IAR vorgeschaltetem Denitrifikationsbehälter zugeführt werden. Dieser Denitrifikationsbehälter wurde erforderlich, weil während der Inbetriebnahme des Trockenwerkes der IAR mehrfach Wässer mit extrem hohen Nitratkonzentrationen⁶ zugeführt wurden. Gelangen diese in großen Mengen in den anaerob betriebenen R2S- Reaktor, so hätte das Schädigungen in der Prozessbiologie zur Folge. Gleiches gilt für Wässer mit extrem niedrigen bzw. extrem hohen pH- Werten.

Wird nach der Abwasserbehandlung eine Abwasserqualität erreicht, bei der ein oder mehrere Überwachungswerte überschritten ist/sind, kann das Abwasser nicht in den Vorfluter abgeleitet werden. In diesem Fall verriegelt die Anlage die Ablaufleitung zum Gewässer und das nicht ausreichend gereinigte Abwasser wird aus dem Ablaufspeicher (Q_{24}) über korrespondierende Rohrleitungen wieder dem Vorsorgestapelbehälter und aus diesem erneut dosiert der IAR zugeführt. Das Gewässer Haune wird somit vor Frachtstößen geschützt.

Zur Vermeidung von Geruchsemissionen sind auch die Behälter des Havarievorsorgesystems mit Abluftreinigung ausgestattet.

⁶ Resultierend aus den CIP- Prozessen des Trockenwerkes

Das Havarievorsorgesystem wurde zum 30.06.2016 fertiggestellt.

3.2. Bilanzen

Die IAR wurde errichtet, um die Produktionsabwässer des Hünfelder Trockenwerkes der Hochwald Foods GmbH zur Herstellung entmineralisiertem Molkenkonzentrat/Pulver bis auf Direkteinleiterqualität zu reinigen. Die neben dem Produktionsabwasser anfallenden häuslichen Abwässer und die Niederschlagsabwässer werden getrennt von den Produktionsabwässern der öffentlichen Kanalisation zugeführt und auf der kommunalen Kläranlage Hünfeld behandelt.

Die behördlich festgelegten Überwachungswerte der IAR konnten nach Abschluss der Inbetriebnahme aller Reinigungsstufen sicher eingehalten werden.

Beim Parameter CSB wurde der Grenzwert mit 110 mg/l festgelegt, Dies wurde kontinuierlich erreicht.

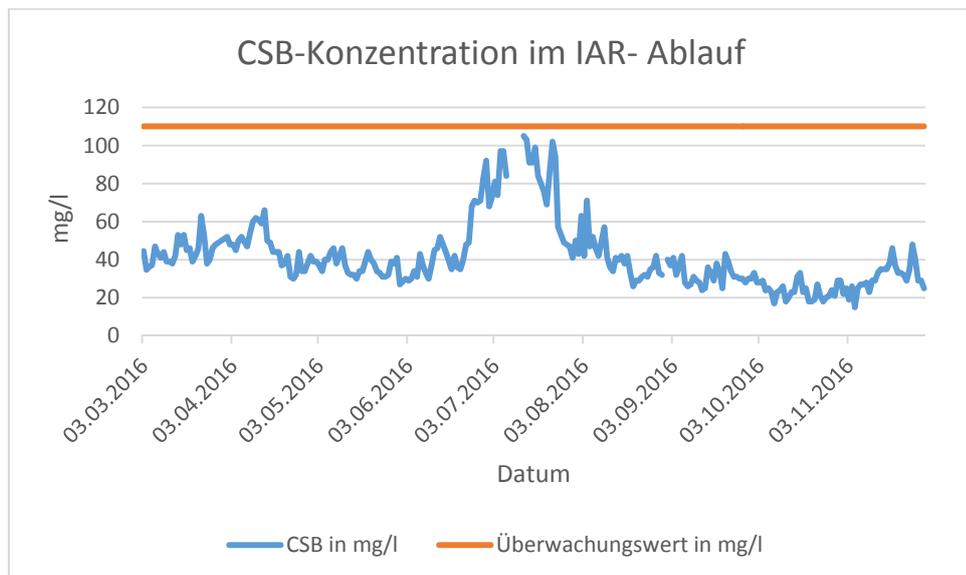


Abbildung 6: CSB-Ablaufkonzentrationen

Der Überwachungswert zur Phosphorkonzentration im Ablauf der IAR in die Haune von 2,0 mg/l wird erreicht und meist deutlich unterschritten.

Im Hinblick auf die betriebsstabile Einhaltung eines Ablaufwertes von 1,0 mg/l besteht für den Parameter Pges noch Optimierungsbedarf.

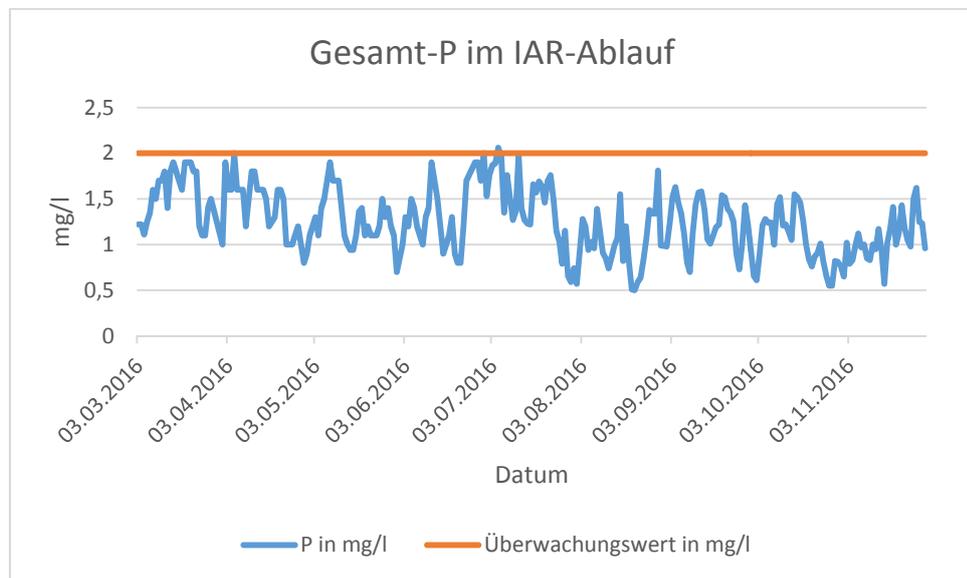


Abbildung 7: Ablaufkonzentration Gesamt-P

Die zulässigen Frachten für die Ableitung einwertiger Ionen in den Vorfluter (4.500 kg Chlorid je Tag bzw. 1000 kg Kalium je Tag) wurden deutlich unterschritten.

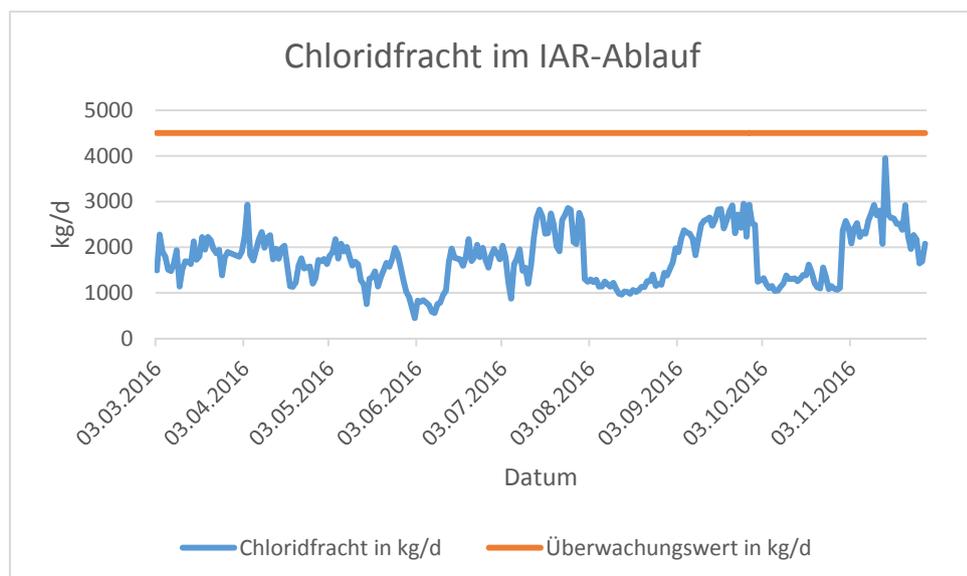


Abbildung 8: Chloridfracht im IAR-Ablauf

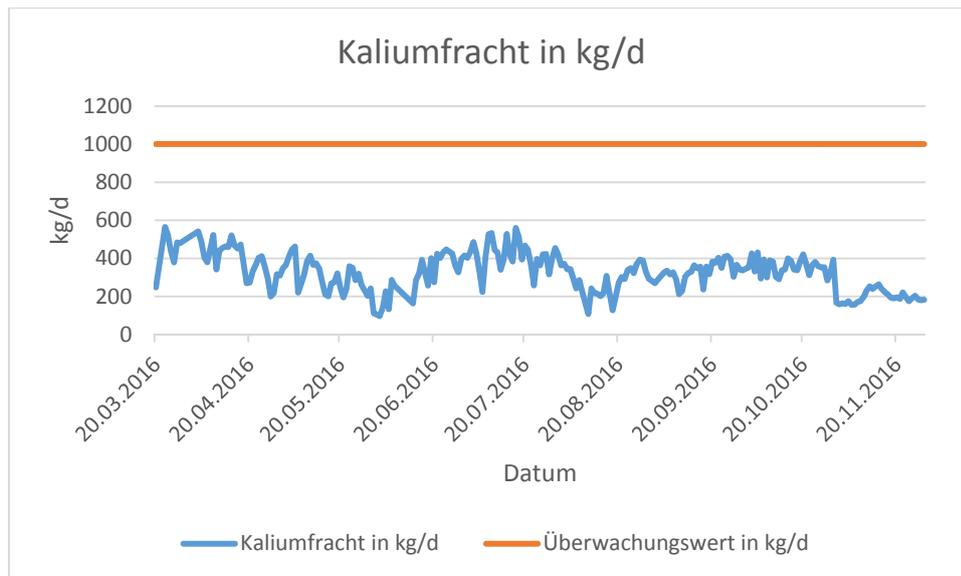


Abbildung 9: Kaliumfracht im IAR-Ablauf

Beim mikrobiologischen Proteinabbau entstehen als Stoffwechselprodukt Ammoniumionen. Gelangen diese in natürliche Gewässer, so besteht die Gefahr, dass bei hohen Assimilationsraten des Phytoplanktons infolge der damit verbundenen pH- Wert- Verschiebung fischtoxischer Ammoniak gebildet wird. Aufgrund dessen wurde der Ammoniumstickstoffgrenzwert im Ablauf der IAR anfangs mit 10 mg/l (im Jahresmittel < 6 mg/l) festgelegt. Im Ergebnis der gewässerkundlichen Untersuchung wurde der Überwachungswert für Ammoniumstickstoff ab dem 17.03.2016 auf < 6 mg/l korrigiert. Auch dieser Wert wurde kontinuierlich weit unterschritten.

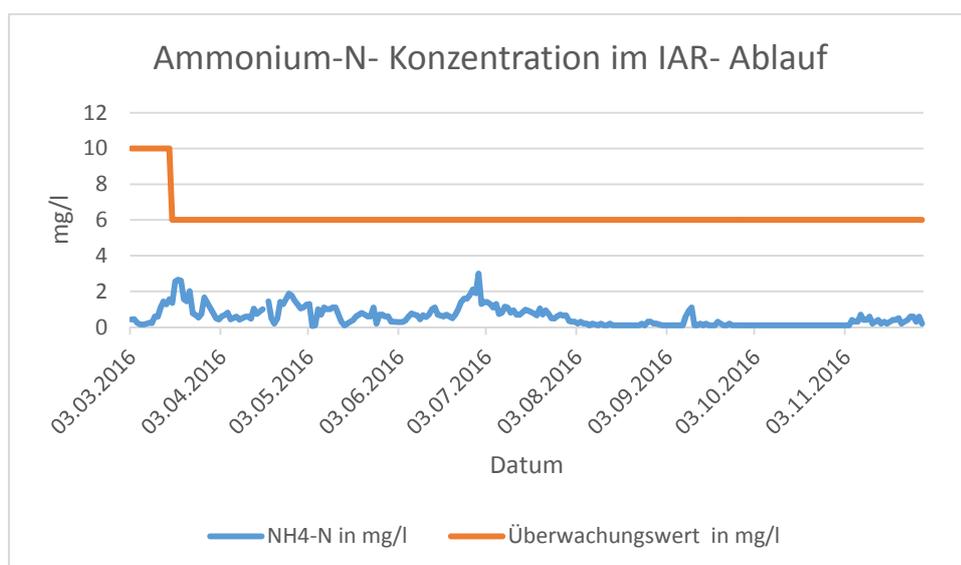


Abbildung 10: Ammonium-N-Konzentration im IAR-Ablauf

Im Folgenden sind die Eliminationsraten der einzelnen Reinigungsstufen dargestellt.

Im Summenparameter CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) werden alle Stoffe erfasst, die mit starken Oxidationsmitteln auf chemischen Wege oxidiert werden können, darunter auch alle Metallionen in ihrer reduzierten Form. Ebenso wirken sich Chloridionen in höheren Konzentrationen störend auf die CSB- Bestimmung aus.

Bei der Bewertung der Abwasserreinigungsleistung hinsichtlich ihrer organischen Fracht erscheint eine Auswertung mittels des CSB für diese spezielle Abwasserzusammensetzung problembehaftet.

Aus diesem Grund wurde der Abbau der organischen Verbindungen (insbesondere auch unter dem Bezug auf die biologischen Reinigungsstufen) im Zeitraum der Leistungsfahrt zusätzlich mittels des Parameters TOC (Total Organic Carbon) bilanziert.

Die Tabelle weist die Eliminationsraten nach Verlassen der jeweiligen Reinigungsstufe aus.

Dabei wird ersichtlich, dass die größten TOC- Eliminationsraten in der anaeroben Reinigungsstufe erzielt werden. Hier wird neben dem Primärziel Abwasserreinigung mit wenig Schlammfall zusätzlich Biogas gewonnen, welches der Eigenerzeugung von Elektroenergie dient.

Die hohe P- Elimination im R2S- Reaktor beruht auf der Zugabe von Eisenverbindungen, die zur Prozessstabilisierung und vorsorglich zur Verhinderung von Geruchsemissionen (H₂S) erforderlich sind.

Tabelle 14: Reinigungsleistung nach Prozessstufen

	P- Elimination in %	TOC- Elimination in %
Zulauf Flotation	0	0
Ablauf Flotation	11,7	11,8
Ablauf R2S	49,5	80
Ablauf MAP	81,2	
Ablauf SBR	99,5	99,0

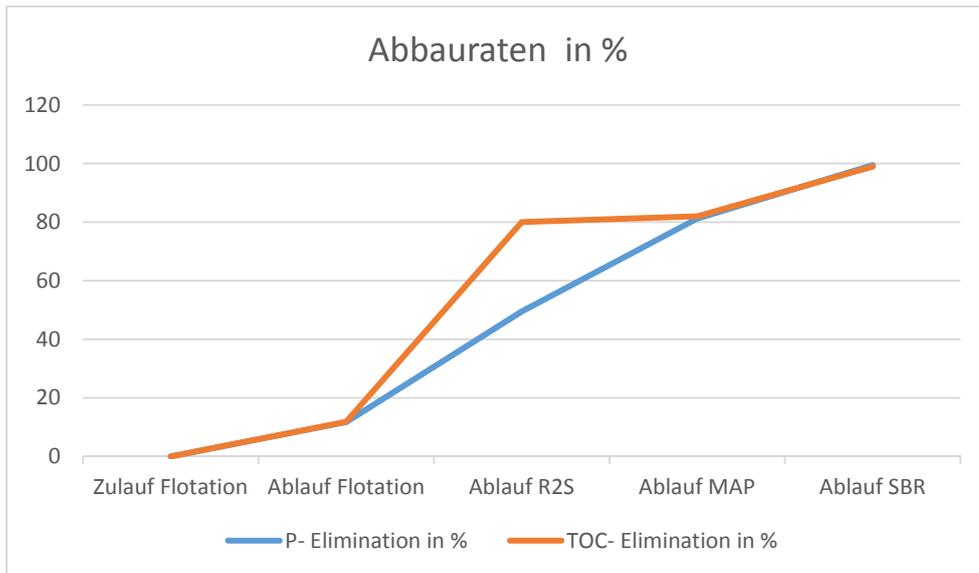


Abbildung 11: Phosphor- und TOC-Elimination nach Prozessstufen

Der Bemessungswert der Anlagenplanung (P- Elimination > 99,5 %) wurde erreicht.

3.3. Umweltbilanz

Emissionen

Grundsätzlich gehen von Abwasserreinigungsanlagen

- Abluftemissionen
- Schallemissionen
- Gerüche und
- Stoffliche Emissionen aus dem Anlagenablauf in den Vorfluter aus.

Die betrachtete IAR und die benachbart gelegene kommunale Kläranlage der Stadt Hünfeld leiten ihre gereinigten Abwässer über einen gemeinsam genutzten offenen Abwassergraben in die Haune ein. Die Haune ist ein ca. 66 km langer Nebenfluss der Fulda mit einem Einzugsgebiet von ca. 500 km² /15/.

Gemäß LAWA- Fließgewässertypologie ist die Haune im Bereich zwischen Hünfeld und Hünhan als silikatischer, fein- bis grobmaterialreicher Mittelgebirgsfluss einzuordnen.

Die Haune wird mit dem abgeleiteten gereinigten Wasser der IAR mit nicht vollständig abgebauten organischen Verbindungen, mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen sowie mit einwertigen Ionen (Kalium, Natrium, Chlorid) und zweiwertigen Ionen (Karbonat, Sulfat) belastet.

Die behördlich festgesetzten Überwachungswerte werden seit Abschluss der Inbetriebnahme des Havarievorsorgesystems eingehalten.

Durch das gezielte Auskreisen und Zwischenspeichern extrem hoher Frachtstöße, wie sie ggf. im Havariefall auftreten können, können diese Frachten später dem Abwasser gezielt zudosiert und somit der zu behandelnde Abwasserstrom gleichmäßig werden. Dies wird ermöglicht durch das getrennte Erfassen und Sammeln der einzelnen (unterschiedlich stark belasteten) Abwasserströme, das während der Inbetriebnahmephase zusätzlich errichtete Havarievorsorgesystem sowie durch die innovative Verschaltung spezifischer Messsignale des Prozessleitsystems des Trockenwerkes mit korrespondierenden Signalen des Prozessleitsystems der IAR.

Somit werden eine Überlastung der Anlage und stoßartige Abwassereinleitungen in die Haune vermieden.

Um die Einflüsse der neu errichteten IAR auf die Gewässergüte quantifizieren sowie weitere Schutzmaßnahmen ableiten zu können, wurde ein Gewässermonitoring für den Zeitraum März 2015 bis Juli 2016 in Auftrag gegeben.

Im Ergebnis der Untersuchungen kommt der Gutachter zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Die IAR stellt 17,0 % der o-PO₄-P- Frachtanteile im Untersuchungsgebiet, wogegen der Anteil der kommunale Kläranlage 27,3 %⁷ und die Vorbelastung der Haune 55,7 % beträgt
- Die IAR stellt 14,4 % der Gesamt-- P- Frachtanteile, wogegen der Anteil der kommunale Kläranlage 22,1 % und die Vorbelastung der Haune 63,3 % beträgt
- Die IAR wies schon in der Inbetriebnahmephase eine sehr gute Reinigungsleistung auf (Störfallereignisse wurden hier nicht berücksichtigt)
- Das gereinigte Abwasser wurde mit einer mittleren Temperatur von 22,3°C in den offenen Abwassergraben eingeleitet, in dem über die Fließstrecke eine Abkühlung

⁷ Die kommunale Kläranlage ist eine Anlage der Größenklasse 4, die IAR entspricht dagegen der Größenklasse 5

des Wassers verzeichnet wurde. An der Einleitstelle der Haune erhöhte sich die mittlere Temperatur der Haune lediglich von 14,4°C auf 14,6°C.

- Die Sauerstoffzehrung wird als unproblematisch eingeschätzt. Der im Untersuchungszeitraum gemessene Sauerstoffgehalt liegt in einem für Fische und Kleinlebewesen günstigen Bereich.
- An der Einleitstelle in die Haune wurde eine deutliche TOC- Belastung durch beide Kläranlageneinläufe gemessen. Aufgrund des Selbstreinigungspotentials des Gewässers wurden nach etwa 1,1 km Fließstrecke wieder TOC- Konzentrationen gemessen, die in der Größenordnung der oberhalb der Einleitstelle gemessenen Werte lagen. Ein ähnliches Verhalten zeigen die Konzentrationen der Stickstoffverbindungen.
- Bezüglich der Parameter Chlorid und Kalium wurden an den verschiedenen Messstellen der Haune Konzentrationen gemessen, die deutlich kleiner als die Zielvorgaben (LAWA, Güteklasse II) sind.

Um eine weitere Entlastung der Haune zu erreichen, wurde vom Gutachter empfohlen, die aus der Verfahrensweise der SBR- Technologie resultierende stoßartige Abwassereinleitung zu vergleichmäßigen (Q_{24}).

Weiterhin wurde empfohlen, den künftigen Überwachungswert für NH_4-N von 10 mg/l auf 6 mg/l abzusenken. Korrespondierend dazu sollte der Überwachungswert von Gesamt-N von 18 mg/l auf 12 mg/l abgesenkt werden.

Beide Empfehlungen wurden inzwischen von der Behörde aufgenommen und im Anlagenbetrieb der IAR umgesetzt /16/.

Da der überwiegende Teil der organischen Substanz mittels der anaeroben Stufe behandelt wird, wird weniger Biomasse gebildet, als mit ausschließlich aerober Behandlung; somit fällt insgesamt weniger Klärschlamm an. Weiterhin werden N und P als MAP ausgefällt. Mit dessen landwirtschaftlicher Verwertung kann der Stoffkreislauf Boden - Milchvieh – Milchverarbeitung zu Teilen wieder geschlossen werden.

Des Weiteren kann durch die gewählte Verfahrenskombination eine potentiell erforderliche Klärschlammverbrennung (und somit auch die Emissionen, die von dieser ausgehen) vermieden werden.

Die Anlagenkomponenten sind in geschlossener Bauweise ausgeführt und mit innovativen und energiesparenden Abluftbehandlungsanlagen ausgestattet. Daher können Schall- und Geruchsemissionen verringert werden.

Laut Genehmigungsbescheid mussten die darin festgelegten Schall-Immissionsrichtwerte an vorgegebenen Messpunkten in der Nachbarschaft messtechnisch überprüft werden. Diese Untersuchungen erfolgten am 17.11.2016. Der Gutachter kommt zu dem Ergebnis, dass die im Genehmigungsbescheid festgelegten Immissionsrichtwertanteile im Tages- und im Nachzeitraum um min. 2 dB bzw. 3 dB unterschritten werden. Da somit auch die Immissionsrichtwerte der TA Luft um min. 6 dB unterschritten werden, wird postuliert, dass die IAR tags und nachts keinen relevanten Beitrag zur Gesamtgeräuschsituation liefert. Auch sind an den untersuchten Immissionspunkten in der Nachbarschaft der IAR tags und nachts keine unzulässigen Geräuschimmissionen durch kurzzeitige Geräuschspitzen zu erwarten /17/.

CO₂- Emissionen

Durch die Energieerzeugung aus dem in der Anaerobstufe produziertem Biogas konnte der Fremdbezug von Elektroenergie verringert werden. Somit wurden auch die mit den Kraftwerken verbundenen CO₂- Emissionen verringert.

Die Maßeinheit für die Summe der klimaschädlichen Gase wird CO₂- Äquivalent genannt.

Bei der Erzeugung von Biogas aus Rückständen der milchverarbeitenden Industrie sind im Wesentlichen CH₄ und CO₂ als klimarelevante Gase zu nennen, wobei das Methan im vorliegenden Fall der Energiegewinnung dient.

Das Umweltbundesamt gibt für den deutschen Energiemix eine CO₂- Emission von 564 g/ kWh für das Jahr 2014 an /18/. Im Vergleich dazu erzeugen konventionelle Braunkohlekraftwerke sogar mehr als 1.000 g CO₂ äq./ kWh. Bei der Energieerzeugung aus Biogas liegt dieser Wert unter 250 g CO₂ äq. /19/.

In der Zeit vom 01.11.2015 bis zum 31.07.2016 wurden aus dem Biogas der Anaerobstufe 1.212.145,6 kWh an elektrischer Energie erzeugt. Somit wurden in diesem Zeitraum ca. 909,1 t CO₂ äq. aus fossilen Energiequellen (Kohle) eingespart.

3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Mit der beschriebenen IAR werden die Abwässer, die bei der Herstellung demineralisierter Trockenmolke (Demin 90) anfallen, bis auf Direkteinleiterqualität gereinigt.

Das Hünfelder Trockenwerk ist die erste und bisher einzige Demin 90- Anlage in Deutschland. Das zu behandelnde Produktionsabwasser ist gekennzeichnet durch hohe Salzfrachten (Alkali- und Erdalkalitionen), hohe Nährstoffgehalte (N, P, K) sowie hohe organische Frachten in einer Größenordnung, die sich ihrer Charakteristik nach sehr deutlich von den bekannten Abwässern aus der Nahrungsmittelindustrie (auch von denen der Milchverarbeitung) unterscheidet, insbesondere durch die behördlich geforderte Teilentsalzung einwertiger Ionen.

Somit ist es nicht möglich, für diesen speziellen Abwassertypus konventionelle Abwasserreinigungsanlagen zu beschreiben und die IAR mit diesen zu vergleichen.

4. Empfehlungen

4.5. Empfehlungen aus der Praxiseinführung

Die Bemessung der IAR konnte, ebenso wie die Prozessleitsystem- Steuerung nicht im Technikumsmaßstab geprüft werden. Eine Überprüfung der Prozessauslegung ohne eine vorherige Skalierung vom kleineren hin zum großen Maßstab ist grundsätzlich immer mit gewissen Unsicherheiten bzw. Unwägbarkeiten behaftet.

Sollten hier im technischen Maßstab Abweichungen zu den planerischen Ansätzen auftreten, hat dies erschwerenden Einfluss auf die Inbetriebnahme der IAR. Das ist insbesondere der Fall, wenn hinsichtlich der behördlich festgelegten Grenzwerte sehr hohe Anforderungen gestellt werden bzw. wie im vorliegenden Fall die Inbetriebnahme einer Produktionsanlage zeitgleich mit der der zugehörigen IAR (wegen mangelnder Alternativen) erfolgen muss

Die Sammlung der Produktionsabwässer getrennt nach Herkunft und Beschaffenheit am jeweiligen Prozessschritt der Demin 90- Anlage sowie deren Zuführung zur IAR in voneinander getrennten Leitungen hat sich bewährt.

Allerdings traten während der Inbetriebnahme der IAR durch äußere Umstände mehrfach zeitlich begrenzte Stoßbelastungen auf, durch die die planmäßige Inbetriebnahme der IAR zunächst nicht mehr gewährleistet werden konnte:

- erhebliche CSB- Überschreitung durch Einleitung von Produkt aus dem Trockenwerk
- hohe Nitratfrachten infolge azyklischer Reinigungsprozesse des Trockenwerkes
- pH-Wert-Stöße

Die Betriebserfahrungen zeigen, dass für weitere Projekte dieser Art (insbesondere in Verbindung mit der Erstinbetriebnahme von Produktionsanlagen oder der großtechnischen Umrüstung bestehender Anlagen) ein Havarievorsorgekonzept zwingend erforderlich ist.

Das Havarievorsorgekonzept erweitert die bestehenden Pufferbecken um drei weitere Becken, die in modularer Art und Weise miteinander verschalten sind:

- ein Havariespeicher
- ein Becken für eine vorgeschaltete Denitrifikation
- ein Ablaufpuffer.
- Verknüpfung mit Prozessleitsystem

Dieses nachfolgend beschriebene Havarievorsorgesystem wurde im Rahmen der Projektlaufzeit errichtet, in Betrieb genommen und hat sich bewährt.

Der Havariespeicher dient dem Auskreisen von extrem hochbelasteten Abwasserströmen, wie sie z.B. bei Störfällen, Ausfall von Anlagenkomponenten in der Trockenmolkeproduktion auftreten können und während der Inbetriebnahme der Demin 90- Anlage auch mehrfach aufgetreten sind. Das ausgekreiste Abwasser kann entweder einer externen Entsorgung zugeführt werden oder es wird frachtgesteuert in vertretbaren Mengen zur Aufreinigung in die IAR gespeist. Somit können die biologischen Reinigungsstufen vor unerwarteten schädlichen Frachtstößen geschützt werden, ohne zusätzliche Mengen an Flockungsmitteln (die letztlich die Betriebskosten erhöhen und auch die Umwelt belasten) einsetzen zu müssen. Somit wird auch der Vorfluter von Flockungsmittelrückständen, die im Wasserabfluss verbleiben, entlastet.

Müssen Reinigungsabwässer mit hohem Nitratgehalt in die IAR abgeleitet werden, so werden diese in ein dem eigentlichen Abwasserreinigungsprozess vorgeschaltetes Denitrifikationsbecken gespeist. Hier wird Nitrat in Gegenwart von zugeführtem Belebtschlamm zu N_2 umgesetzt, somit die Nitratkonzentration zum Schutz der anaeroben Reinigungsstufe deutlich gesenkt. Dies ist kostengünstiger als die anaerobe Reinigungsstufe redundant zu errichten.

Der Ablaufpuffer wurde durch eine Forderung der Genehmigungsbehörde erforderlich (Gewährleistung des Q_{24} Abflusses = Vergleichsmässigung des Klarwasserablaufes als Beitrag zum Gewässerschutz) und korrespondiert zudem über Rohrleitungen mit dem Havariespeicher. Somit kann z.B. bei Störungen im SBR- Reaktor unzureichend gereinigtes Wasser über den Ablaufpuffer auch im Havariespeicher zwischengespeichert und der IAR erneut zugeführt werden.

Während der Inbetriebnahmephase traten immer wieder Probleme mit salzartigen Verkrustungen oder Ablagerungen von Biofilmen auf den Prozessmesssonden auf. Bei der Planung von Industrieabwasserreinigungsanlagen, in denen stark salzhaltige und/oder stark mit organischen Verbindungen belastete Abwässer gereinigt werden sollen, sollte darauf geachtet werden, dass speziell für die Sonden, mit deren Messsignalen der Prozess gesteuert wird, ein konsequentes und engmaschiges Reinigungsregime etabliert wird. Wenn möglich, sollten Messsonden in selbstreinigender Ausführung eingebaut werden.

Sollten die biologischen Stufen von Industrieabwasserreinigungsanlagen zum Zweck des schnelleren Aufbaus aktiver Biomasse mit Belebtschlämmen aus Fremdanlagen angeimpft werden, so ist ein Eintrag pathogener Keime nach Möglichkeit zu vermeiden, sofern die Überschussschlämme einer landwirtschaftlichen Verwertung im höheren Preissegment (Dünger) zugeführt werden sollen.

4.6. Modellcharakter

Mit der dargestellten Technologie der Industrieabwasserreinigungsanlage lassen sich grundsätzlich Abwässer reinigen, die sowohl durch hohe organische Frachten als auch durch hohe Frachten insbesondere einwertiger Ionen gekennzeichnet sind. Damit ist der Einsatz nicht nur auf die Verarbeitung von Molke beschränkt, sondern in vielfältigen Bereichen möglich.

Stellvertretend sind hier Abwässer aus anderen Bereichen der lebensmittelverarbeitenden Industrie (Zuckerherstellung), aus der Lederherstellung oder auch aus der Bioethanolproduktion zu nennen. Insbesondere letztere sind durch hohe organische Frachten sowie hohe Stickstoff- Chlorid- und Kaliumfrachten gekennzeichnet.

In Kling/Wöhlbier /21/ ist folgende Zusammensetzung von Vinassen (Reststoffe der Ethanolherstellung mittels Fermentation) angegeben:

Zuckerrübenvinasse (Alkoholherstellung)	Protein	33 – 39 % der TM
	Asche	34 – 35 % der TM
	Zucker	3 – 4 % der TM
Zuckerrohrvinasse (Alkoholherstellung)	Protein	9 – 12 % der TM
	Asche	26 – 33 % der TM
	Zucker	10 – 16 % der TM

Der Ascheanteil spiegelt die hohe Salzbelastung wieder. Je nach geogener Belastung der für den Zuckerrüben- oder Zuckerrohranbau genutzten Flächen ist zudem in einigen Vinassen mit Schwermetallkontaminationen zu rechnen, so dass deren Weiterverwertung zu Futtermitteln (DDGS) nicht immer möglich sein wird. Somit muss nach neuen Verwertungswegen gesucht werden. Ein möglicher Verwertungsweg kann die Biogaserzeugung sein, die dann aber eine gezielte Aufarbeitung der flüssigen Gärreste erfordert.

Unabhängig von gegenwärtig bekannten Einsatzmöglichkeiten der im Bericht dargestellten Technologie sind in der Zukunft weitere Einsatzmöglichkeiten zu erwarten, da Wasserwiederverwertung bzw. Kreislaufführung bei den eingesetzten Produktionswässern in zunehmenden Maße Anwendung finden⁸ und somit in verschiedensten Bereichen der Industrie hochkonzentrierte Abwasserströme erzeugt werden. Da die gesetzlichen Regelungen ein Verdünnen dieser hochkonzentrierten Abwässer zu deren Behandlung und Ableitung nicht zulassen, kann die in der IAR Hünfeld zur Anwendung gekommene Technologie einen Beitrag zur Abwasserbehandlung hochbelasteter Wässer liefern.

⁸ In diesem Zusammenhang sei auf die Ausführungen im BVT-Merkblatt bzw. der Industrieemissionsrichtlinie verwiesen.

5. Zusammenfassung

Der Bericht dokumentiert die Inbetriebnahme einer Industrieabwasserreinigungsanlage für Abwasserabflüsse aus der Herstellung demineralisierter Molke.

Als Besonderheit ist zu beachten, dass die Inbetriebnahme der Industrieabwasserreinigungsanlage zeitgleich mit der Inbetriebnahme des Trockenwerkes erfolgte.

Bei dem Trockenwerk handelt es sich um eine sogenannte Demin 90 Anlage (Demineralisierungsgrad = 90 %). Das Werk Hünfeld ist die erste Demin 90-Anlage in Deutschland und das fünfte Werk dieser Art weltweit.

Da in der Planungsphase keine entsprechenden Abwässer zur Verfügung standen, konnten keine Technikumsversuche einzelner Verfahrensschritte durchgeführt werden.

Die Herausforderung für die Industrieabwasserreinigungsanlage besteht darin, große Abflussmengen hochbelasteter und stark salzhaltiger Abwässer zur Direkteinleiterqualität aufzubereiten. Zur Reinigung wird eine Kombination aus den Verfahrensschritten Elektrodialyse, Flotation, anaerobe Reinigungsstufe mit BHKW (Kraft-Wärme-Kopplung), MAP- Fällung und aerobe Reinigungsstufe zur Anwendung gebracht.

Die Inbetriebnahme der Industrieabwasserreinigungsanlage (IAR) erfolgte zeitgleich mit der Inbetriebnahme des Trockenwerkes, wobei die behördlich festgelegten Überwachungswerte der Abwasserbehandlung vom ersten Tag der Inbetriebnahme an einzuhalten waren.

Die Inbetriebnahme der IAR erfolgte stufenweise. Zuerst wurden Flotation und die aerobe Reinigungsstufe in Betrieb genommen und zunächst mit Molkereiabwässern (Käseereiabwasser) beschickt. Die Inbetriebnahme dieser beiden Stufen gelang problemlos. Im anschließenden Zeitraum wurden dann Abwässer des Trockenwerkes zugeführt und die anaerobe Verfahrensstufe sowie die MAP- Fällung in Betrieb genommen. Als letzte Stufe wurde die Elektrodialyse für den stark salzbefrachteten Abwasserteilstrom in Betrieb genommen.

Obwohl während der zeitgleichen Inbetriebnahme des Trockenwerkes die Zusammensetzung und zugeführte Abwassermenge zum Teil extrem schwankte, wurde das Abwasser bis zu den behördlich festgelegten Grenzwerten für eine Direkteinleitung gerei-

nigt. Weitere Optimierungen sind noch hinsichtlich des Parameters Phosphor erforderlich, da dieser Grenzwert in Zukunft neu festgelegt wird (Tendenz: statt 2 mg/l nur noch 1 mg/l), was gegenwärtig noch nicht dauerhaft erreicht wird.

Einen wesentlichen Anteil an der sicheren Betriebsweise stellt das zugehörige Havariervorsorgekonzept sowie die Tatsache, dass die mit unterschiedlichen Stoffen beaufschlagten Abwasserteilströme bereits am Ort ihres Anfalls erfasst, der IAR in getrennten Leitungen zugeführt werden und somit in der IAR gezielt und kostensparend behandelt werden können.

Der Abwasserreinigungsgrad beträgt mehr als 99 %.

Aus dem Projekt resultieren zwei Patentanmeldungen. Durch Hochwald wurden ein "Modulares Verfahren und Abwasserbehandlungsanordnung zur Reinigung von Abwasser" (AZ 10 2016 105 071.7) und ein "Verfahren zur Reinigung von Elektrodialysenmodulen" (AZ 10 2016 105 080.6) beim Deutschen Patent- und Markenamt zum Patent angemeldet und für beide Anmeldungen die Prüfanträge gestellt.

6. Literatur

- /1/ Fachhochschule Münster, Labor für Abfallwirtschaft Siedlungswasserwirtschaft Umweltchemie, Mitbehandlung von Abfällen in kommunalen Kläranlagen, 2001
- /2/ Monika Stolte, Untersuchungen zum Sulfatgehalt in Molkepulvern und Milchaustauschern sowie dessen Einfluss auf die Kotqualität und die scheinbare Verdaulichkeit der organischen Substanz und der Mengenelemente bei Kälbern, Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover 2009
- /3/ R. Rautenbach, K. Rauch, Membranverfahren zur wirtschaftlichen Aufbereitung von Molken, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 1978
- /4/ www.dr-steinle.de/html/molkereiabwasserbehandlung.pdf.
- /5/ www.chemieundmore.com
- /6/ Badische Zeitung vom 15.Juli 2016
- /7/ Merkblatt DWA-M 708 „Abwasser aus der Milchverarbeitung“ Oktober 2011
- /8/ Weiland, P.; Biologie der Biogaserzeugung, Vortrag auf der ZNR- Biogastagung Bad Sassendorf- Ostinghausen 2003
- /9/ Schönborn et.al., Anaerobe Reinigung von hochsalinem Abwasser, Korrespondenz Abwasser, Abfall 2013 (60) Nr.11, 969-975
- /10/ ATV-DVWK- Arbeitsbericht Nr.2 der AG 7.5 (1993)
Technische Beurteilungskriterien zur anaeroben Abwasserbehandlung,
- /11/ Korrespondenz Abwasser 40(2), pp. 217-223 (1993)
- /12/ Bischofsberger, W. et. al., Anaerobtechnik, Springer- Verlag, Berlin 2005;

- /13/ Ibrahim, S., Structure, Function and Formation of Anaerobic Granular Sludge, Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig, Heft 75 (2008)
- /14/ Jeison, D.; Del Rio, A., Van Lier, J. (2008)
Impact of high saline wastewaters on anaerobic granular sludge functionalities
Water Science and Technology 57 (6), pp. 815-819
- /15/ www.wikipedia.de.
- /16/ Dr. rer. nat. Karl Schöcke „
Gutachterliche Stellungnahme zum Gewässermonitoring der Haune wegen Neubaus einer Industrieabwasserreinigungsanlage in Hünfeld“ Teil 1 (31. März 2016) und Teil 2 (01. Oktober 2016)
- /17/ Wihard, Thomas, Schalltechnischer Bericht Nr. LL12268.1/01
- /18/ www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-der-spezifischen-kohlendioxid-3
- /19/ www.agrarheute.com/news/biogasanlagen-kammer-berechnet-die-co2-bilanzen;
Donnerstag, 13.02.2014, 12.02 Uhr)
- /20/ www.dwa-st.de/tl_files/_media/content/PDFs/LV_ST/nb/kan/lv_2012_st_strom.pdf.
- /21/ Kling/Wöhlbier, Handelsfuttermittel, Band 2a (1983)

7. Abkürzungen und Symbole

AbwV	Abwasserverordnung
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf
CH ₄	Methan
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CO ₂	Kohlendioxid
DGGS	Dried Distillers Grain with Solubles
EU- WRRL	EU- Wasserrahmenrichtlinie
ED	Elektrodialyse
FOS	Flüchtige organische Säuren
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
IAR	Industrieabwasserreinigungsanlage
IED	Industrial Emissions Directive
IZÜV	Industrieanlagen- Zulassungs- und Überwachungs- verordnung
MAP	Magnesiumammoniumphosphat (Struvit)
OGewV	Oberflächengewässerverordnung
ppm	parts per million
RO	reverse osmosis
R2S	Typ eines Biogasreaktors
SAK	Spektraler Absorptionskoeffizient
SBR	Sequencing Batch Reaktor
TOC	Gesamtkonzentration an organisch gebundenem Kohlenstoff
TN	Gesamtkonzentration an Stickstoff
TP	Gesamtkonzentration an Phosphor
TS	Trockensubstanz
UASB	Upstream Anaerobic Sludge Blanket
WHG	Wasserhaushaltsgesetz