

80.000 Stunden Betriebserfahrung mit einer Monoklärschlammverbrennungsanlage – anlagentechnische, energetische und wirtschaftliche Optimierung

1 Vorstellung der WFA Elverlingsen GmbH

Die WFA Elverlingsen GmbH wurde im Jahr 1999 gegründet. Die beiden Gesellschafter mit je 50 % der Gesellschaftsanteile sind die Mark-E Aktiengesellschaft, Hagen und der Ruhrverband in Essen. Die Gesellschaft ist mit einem Stammkapital von 2,6 Millionen Euro ausgestattet.

Der Unternehmenszweck bei Gründung wurde mit „Bau und Betrieb einer Wirbelschichtfeuerungsanlage zur Verbrennung von Steinkohle und entwässertem Klärschlamm am Kraftwerksstandort Werdohl Elverlingsen der Mark-E AG“ beschrieben.

Die geplante Verbrennungskapazität wurde mit 50.000 Tonnen Trockenmasse pro Jahr, was einer Menge von ca. 170.000 Tonnen mechanisch entwässertem Klärschlamm entspricht, ausgelegt. 60 % der Klärschlammengen kommen aus den eigenen Kläranlagen des Ruhrverbandes, die weiteren Mengen werden auf dem freien Markt akquiriert.

Die gesamte Investitionssumme betrug ca. 50 Millionen Euro. Die Anlage wurde im Dezember 2002 in Betrieb genommen.

Nach nunmehr gut 80.000 Stunden Betrieb sind mehr als 1,9 Millionen Tonnen Klärschlamm thermisch behandelt worden.

2 Anlagenkonzeption

Der mechanisch entwässerte Klärschlamm wird am Standort Werdohl Elverlingsen per LKW und per Bahn angeliefert. Die per Bahn angelieferten Container werden über eine automatische Bahnentladung (Abb. 1) entleert und über einen Muldengurtförderer einem der drei Vorratssilos, die jeweils ein Fassungsvermögen von 1.400 m³ haben, zugeführt.



Abb. 1 Bahnentladung

Neben der Bahnentladung stehen noch zwei LKW Entladestellen (Abb. 2) zur Verfügung. Aus dem Abkippbunker wird der Klärschlamm über Schnecken ebenfalls einem der drei Vorratssilos zugeführt.

Für Revisionen und ungeplante Stillstände steht darüber hinaus auch noch ein Klärschlammzwischenlager (Abb. 3) mit einer Kapazität von 2 mal 10.000 m³ zur Verfügung. Der Klärschlamm wird aus den Vorratssilos über Förderorgane einer Mischschnecke



Abb. 3 Klärschlammzwischenlager

zur Stützung Erdgas- und Öllanzen installiert, über die die Betttemperatur beeinflusst werden kann. Dem Wirbelschichtofen nachgeschaltet ist die Kesselanlage.

Die Kesselanlage kann grundsätzlich in zwei Druckstufen betrieben werden (zwischen 11 bar / 350 °C und 25 bar / 350 °C). Aktuell wird der Kessel mit 17 bar und 320 °C betrieben. Der Dampf wird in das Dampfnetz des benachbarten Kraftwerks eingespeist und dort der weiteren Verwertung zugeführt.

Die nach der Kesselanlage abgekühlten Rauchgase werden einer 5-stufigen Rauchgasreinigungsanlage, bestehend aus Elektrofilter, Sprühtrockner, Gewebefilter mit Kalk/Koks-Dosierung und einer 2-stufigen Nasswäsche, bestehend aus saurem und SO₂ Wäscher, gereinigt. Nach Wiederaufheizung werden die gereinigten Abgase über den Kamin abgeleitet (Abb. 4).

Die Rückstandsprodukte Kesselasche, Gips und Sprühtrocknerprodukt werden in Silos gelagert und von dort auf LKW verladen. Die Kesselasche kann sowohl trocken als auch nass verladen werden; dies sowohl auf LKW als auch auf Bahnwaggonen.

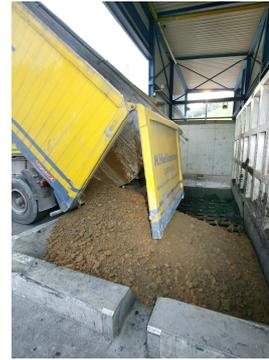


Abb. 2 LKW Entladestelle

zugeführt. Hier findet die Vermischung mit dem Heizwertträger Wirbelschichtbraunkohle – in der Ursprungsplanung Steinkohle – statt. Diese Mischung wird über einen Wurfbeschicker in den Wirbelschichtofen eingebracht. Die Zuführung ist zweilinig ausgeführt. Der Wirbelschichtofen ist als stationäre Wirbelschicht mit einem offenen Düsenboden ausgestattet. Im Wirbelbett sind

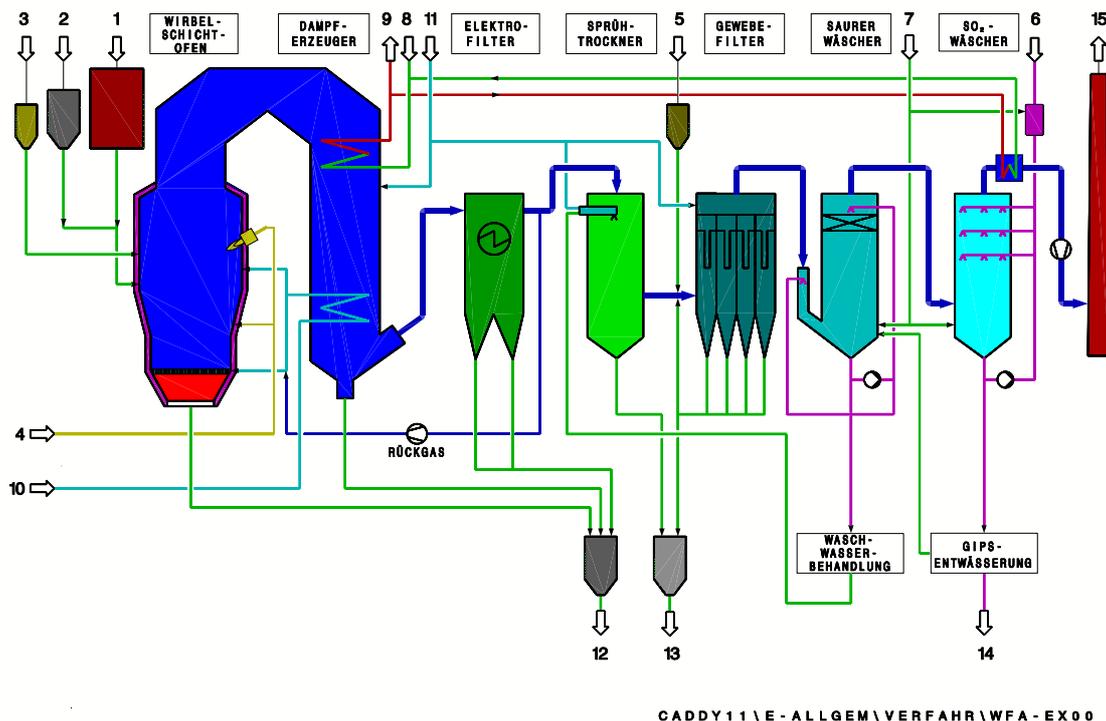


Abb. 4 Verfahrensschema

3. Optimierungen

Die Investitionsentscheidung zum Bau der WFA Elverlingsen war geprägt durch den strategischen Ansatz des Ruhrverbandes die Klärschlämme aus den eigenen Kläranlagen in der weiteren Zukunft nahezu vollständig thermisch zu behandeln. Dies wurde durch die Umsetzung der TA Siedlungsabfall im Jahr 2005 und dem damit beschlossenen Deponierungsverbot für Klärschlämme weiter unterstützt.

Zusätzlich zu der Verwendung von Klärschlämmen in der landwirtschaftlichen Verwertung hat sich neben den Monoverbrennungsanlagen die Mitverbrennung in Kraftwerken, Zementwerken und Müllverbrennungsanlagen etabliert. So wurden beispielsweise im Jahr 2011 von den 1.950.000 t Trockensubstanz (TS), die in Deutschland angefallen sind, ca.55 % (1.067.500 t TS) thermisch verwertet; hiervon wiederum 40 % in Kraftwerken, 10 % in Zementwerken, 10 % in Müllverbrennungsanlagen und 40 % in Monoverbrennungsanlagen.

Geleitet davon, dass die WFA E GmbH im harten Wettbewerb zwischen landwirtschaftlicher Verwertung von Klärschlämmen und der Mitverbrennung in Kraftwerken und Zementwerken als Monoverbrennungsanlage wirtschaftlich bestehen muss, haben wir uns nach den ersten Jahren, die noch von erheblichen Problemen aus der Inbetriebnahme geprägt waren, seit 2006 mit der Optimierung der Anlage beschäftigt. Im Vordergrund standen dabei natürlich immer solche Maßnahmen, die zu einer

wirtschaftlichen Verbesserung führen. Diese schließen meist anlagentechnische und energetische Optimierungen mit ein.

Wesentliche Einflussfaktoren auf die **Wirtschaftlichkeit** sind

- ❖ Steigerung der Umsatzerlöse durch
 - ◆ Erhöhung der Dampferzeugerleistung und
 - ◆ Steigerung des Klärschlammurchsatzes
- ❖ Reduzierung der Kosten durch
 - ◆ Minimierung der Instandsetzungsaufwendungen
 - ◆ Verkürzen der Anfahrzeiten/Verminderung der Erdgasmengen
 - ◆ Umstellung von Steinkohle auf Wirbelschichtbraunkohle
 - ◆ Ersatz des Edeltreibstoffs Steinkohle / Wirbelschichtbraunkohle auf abfallstämmige Ersatzbrennstoffe

Neben diesen Faktoren sind natürlich **anlagentechnische Optimierungen** notwendig, um einen stabilen und störungsarmen Betrieb zu gewährleisten. Folgende beispielhafte Maßnahmen wurden in den Jahren durchgeführt:

- ❖ Umbau von tangentialer in radiale Sekundärluftzuführung
- ❖ Kesselumbauten, insbesondere zur Strömungsvergleichmäßigung
- ❖ Optimierung des Bedüsungssystems SO₂ Wäscher
- ❖ Modifizierung der Waschwasserbehandlung
- ❖ Umbau der Rauchgasrezirkulation von der Wirbelluft auf die Sekundärluft
- ❖ NO_x Reduktion
- ❖ Modifizierung der Mischschnecke (Klärschlamm und Stützbrennstoff) vor Ofen
- ❖ Diverse Optimierungen der Werkstoffe und des Verschleißschutzes

Weitere Maßnahmen dienen bevorzugt der **energetischen Optimierung** und damit der Kostenreduktion.

- ❖ Verkürzung der Anfahrzeiten durch den Einbau von Öllanzen im Wirbelbett
- ❖ Reduzierung des Eigenbedarfs durch Optimierung der SO₂ Wäscherpumpen

- ❖ Reduzierung des Druckverlustes durch Vergrößerung der Filterfläche im Gewebefilter.

Zur systematischen Untersuchung unserer Vorüberlegungen haben wir im Jahr 2006 eine Studie in Auftrag gegeben, um die Verbesserungspotentiale der gesamten Anlage zu ermitteln.

Parallel dazu haben wir in umfänglichen Versuchen, die jeweils mit befristeten Versuchsgenehmigungen begleitet waren, Erfahrungen sammeln können. Diese umfangreichen Untersuchungen haben letztlich zu den aufgelisteten Anlagenumbauten und – veränderungen geführt. Diese Änderungen in der Anlage haben wir in folgender zeitlichen Abfolge durchgeführt:

- Herbst 2007 - Modifikation des Economizers (Strömungsvergleichmäßigung)
- Frühjahr 2008 - Anlagenerweiterung (SBS Brenner, Öllanzen, Sekundärluftumbau, Reduktionsmittelzugabe)
- November 2008 - SO₂ Wäscher, Bedüsungssystem
- 2009 / 2010 - Erhöhung der DE Leistung, Anhebung des Dampfdrucks
- 2013 – Umbau der Mischschnecke, Vergrößerung der Filterfläche im Gewebefilter und Modifizierung der SO₂ Wäscherpumpe

Die geänderte Betriebsgenehmigung mit der Integration zahlreicher Versuchsgenehmigungen haben wir im Mai 2009 erhalten.

Diese Genehmigung mit einem umfänglichen AVV Katalog in Verbindung mit der Zertifizierung als Entsorgungsfachbetrieb seit 2005 versetzt uns in die Lage Marktpartnern zügig, kompetent und verlässlich zur Verfügung zu stehen.

4. Beschreibung der Anlagenmodifikationen

An einigen ausgewählten Beispielen sollen die Verbesserungspotentiale beschrieben werden.

4.1 Dampferzeugerleistung / Dampfdruck

Eine wesentliche Begrenzung beim Betrieb der Anlage war immer wieder die Dampferzeugerleistung. Eine Überprüfung mit dem Kesselhersteller und dem TÜV gab uns die Möglichkeit, unter Einhaltung der genehmigten Feuerungswärmeleistung die produzierte Dampfmenge von 26 t/h auf 28 t/h zu erhöhen. Der Einspeisedruck in die Hilfsdampfschiene des Kraftwerkes liegt bei ca. 10 bar. Der niedrige Druck in Verbindung mit der höheren Dampfmenge hatte dann allerdings zur Folge, dass wir im Jahr 2009

gehäuft Kesselschäden im Bereich des Verdampfers hatten, die durch Abtragungen in den Umlenkungen auf der Rohrrinnenseite hervorgerufen wurden. Im Rahmen der vorgezogenen Revision haben wir im August 2009 eine umfängliche Sanierung durchgeführt. Nach Installation einer Druckreduzierstation wird die Anlage seit Anfang 2010 mit dem auf 17 bar angehobenen Druck betrieben. Damit lässt sich nun ein dauerhafter Anlagenbetrieb nahe der Auslegungsgrenze von 28 t/h fahren. Mit der Erhöhung der DE Leistung konnte natürlich auch der Durchsatz an Klärschlamm proportional erhöht werden. Beides führt zu einer deutlichen Steigerung der Umsatzerlöse.

4.2 NO_x Emissionen / Temperaturabschaltungen

Eine erhebliche Störung im Betrieb waren immer wieder leichte Überschreitungen des NO_x Grenzwertes. Hiermit einher gingen z.B. Lastreduzierungen, um den Grenzwert gesichert einzuhalten. Ebenso beeinträchtigend waren Abschaltungen der Brennstoffzufuhr, da die maximal zulässige Rauchgastemperatur im Ofenkopf vor Kesselanlage überschritten wurde. Diesen Problemkreis haben wir mit der Installation einer Reduktionsmittelzugabe im Temperaturbereich für die nichtselektive katalytische Reduktion sowohl für die NO_x Werte als auch für die Rauchgastemperatur beheben können (Abb. 5). Wir halten gesichert den NO_x Grenzwert ein und können die Anlage ebenso gesichert über dem genehmigungsrechtlich vorgeschriebenen Temperaturgrenzwert von 850 °C betreiben. Eine weitere Verbesserung ist eingetreten mit dem Umschluss des Rezirkulationsgases auf die Sekundärluft. Nach der letzten Zugabe von Verbrennungsluft kann die Anlage mit ca. 4 Vol.-% O_2 betrieben werden.

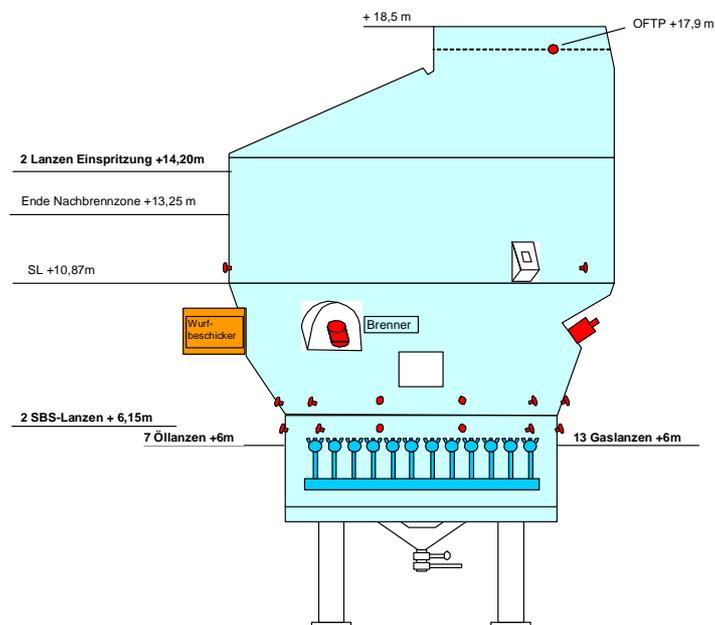


Abb. 5 Ofenschema

4.3 Ölbrenner im Wirbelbett

Im Zuge der Umbaumaßnahmen haben wir 1/3 der vorhandenen Erdgasanlagen im Wirbelbett umgebaut auf Öllanzen (Abb. 5). Diese können sowohl mit Heizöl als auch mit Altöl betrieben werden. Mit dieser Einrichtung sind wir in der Lage sowohl die Wirbelbetttemperatur im laufenden Betrieb zu stützen als auch durch die Zuführung von Energie in das Wirbelbett die Anfahrzeit um nahezu 50 % deutlich zu verkürzen.

4.4 SBS Brenner im Wirbelbett

Wir haben zwei separate Brenner für die Zugabe von Sekundärbrennstoffen ins Wirbelbett installiert (Abb.5).



Die Zuführung der Sekundärbrennstoffe erfolgt über einen stationär installierten walking floor. Über mechanische Fördereinrichtungen wird der Sekundärbrennstoff zu einem Injektor gefördert und von dort über eine ca. 150 m lange Leitung pneumatisch den Brennern zugeführt (Abb. 6). Die Annahme, hiermit einen erheblichen Teil der Primärenergie Kohle zu ersetzen, hat sich leider nicht bestätigt.

Abb. 6 Lagerung und Förderung Sekundärbrennstoff

Der so in das Wirbelbett eingebrachte Sekundärbrennstoff verbrannte zum Teil erst in dem freeboard oberhalb des Wirbelbettes und erfüllte damit nicht die Anforderung, mit dem Energieinhalt den Klärschlamm zu inertisieren. Die Reaktivierung einer Versuchsanlage, bei der der Klärschlamm vor Beschickung des Wirbelschichtofens mit dem Sekundärbrennstoff vermischt wird, verbesserte die Verbrennungsbedingungen erheblich. Nach umfangreichen Versuchen haben wir im Oktober dieses Jahres eine neue Mischschnecke installiert. Wir erwarten damit den kalorischen Anteil der Ersatzbrennstoffe an der Stützenergie von derzeit 25 % auf größer 50 % steigern zu können.

4.5 Umbau Bedüsungssystem/Pumpen SO₂ Wäscher

Der SO₂ Wäscher ist mit 4 Düsenebenen ausgestattet. Alle Düsenebenen werden von einer Umwälzpumpe gespeist. Für den sicheren Betrieb ist eine redundante Pumpe installiert worden.

Im Betrieb mussten wir feststellen, dass eine sichere Einhaltung der SO₂ Emissionswerte nur mit einer Erhöhung des l/g Verhältnisses möglich war. Hierzu wurden die Betriebs- und die redundante Pumpe gleichzeitig betrieben, welches zu einer ausreichenden Umwälzmenge führte.

Es galt nun, entweder die Umlaufmenge zu erhöhen oder eine bessere Flüssigkeitsverteilung zu erzielen.

Zu diesem Zweck haben wir eine Strömungssimulation mittels CFD Analyse durchführen

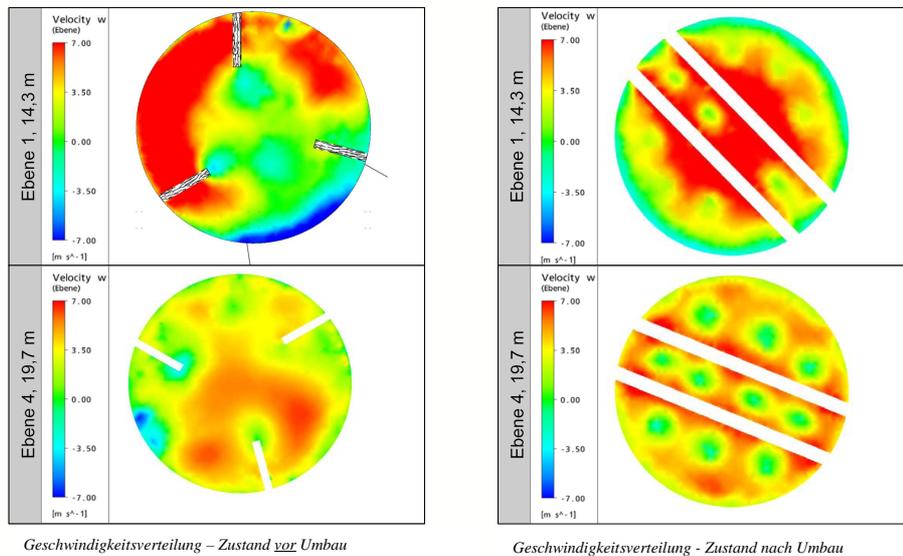


Abb. 7 CFD Analyse

lassen, den IST Zustand bewertet und daraus eine Optimierung abgeleitet, die den Ein-Pumpenbetrieb wieder zulassen sollte (Abb. 7). Bereits die Analyse zeigte aber, dass sich das l/g Verhältnis an der unteren Grenze einer sinnvollen Auslegung befand. Nach Umbau des Bedüsungssystems können wir in den meisten Betriebsfällen mit einer Pumpe fahren. Eine weitergehende und endgültige Lösung der Betriebseinschränkungen haben wir mit einer Modifikation des Pumpenantriebes erreicht. Beides führt zu der notwendigen Erhöhung der Umwälzmenge und des Förderdrucks, die im Ein-Pumpenbetrieb notwendig sind, um ein ausreichendes l/g Verhältnis und den nötigen Vordruck an den Düsen einzustellen. Diese Maßnahme wurde aktuell umgesetzt.

4.6 Vergrößerung der Filterfläche

Durch die weiter oben beschriebenen Maßnahmen wurde die Durchsatzleistung der Anlage erhöht. Dies zieht logischerweise auch ein größeres Rauchgasvolumen mit einem dadurch bedingten höheren Druckverlust nach sich. Der Engpass in der Gesamtanlage hatte sich damit auf das Rauchgasgebläse verlagert. Im Kurzstillstand dieses Jahres haben wir die Filterfläche um ca. 5 % durch Verlängerung eines Teils der Filterschläuche erzielen können. Nach den ersten Betriebsstunden scheint sich diese Modifikation zu bewähren.

4.7 Revisionszyklen / Verfügbarkeit

Neben den anlagentechnischen Veränderungen haben wir durch Verlängerung der Revisionszyklen – alle 18 Monate eine große Revision und alle 9 Monate einen Reinigungsstillstand – sowohl auf der Durchsatzseite als auch auf der Kostenseite erhebliche Vorteile generieren können. Vergleichbares gilt auch für die Modifikation von Anlagenkomponenten, geänderte Werkstoffwahl und beständigere Verschleißmaterialien. Alle diese Veränderungen ziehen eine höhere Verfügbarkeit, erhöhten

Klärschlamm durchsatz / erhöhte Dampfproduktion und damit auch eine entsprechende Ergebnisverbesserung nach sich.

5 Ergebnisse der beschriebenen Modifikationen

Aus dem Diagramm ist erkennbar, dass die WFA Elverlingsen in Jahren ohne große Revision mit einer Betriebszeit von gut 8.000 Vollaststunden betrieben werden kann, was einer Verfügbarkeit von > 91 % entspricht (Abb. 8).

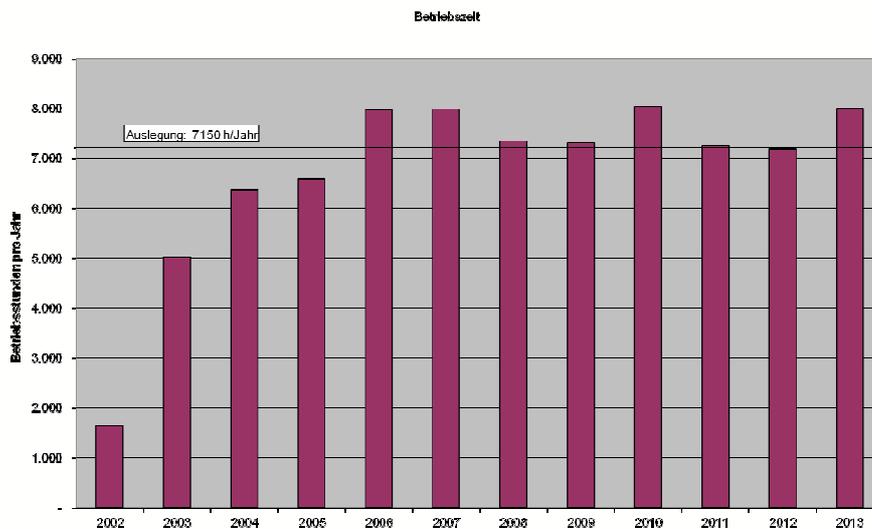


Abb. 8 Benutzungsstunden

Der Klärschlamm durchsatz konnte von dem Designdurchsatz - 175.000 Tonnen mechanisch entwässertem Klärschlamm – deutlich auf über 200.000 Tonnen pro Jahr gesteigert werden (Abb. 9).

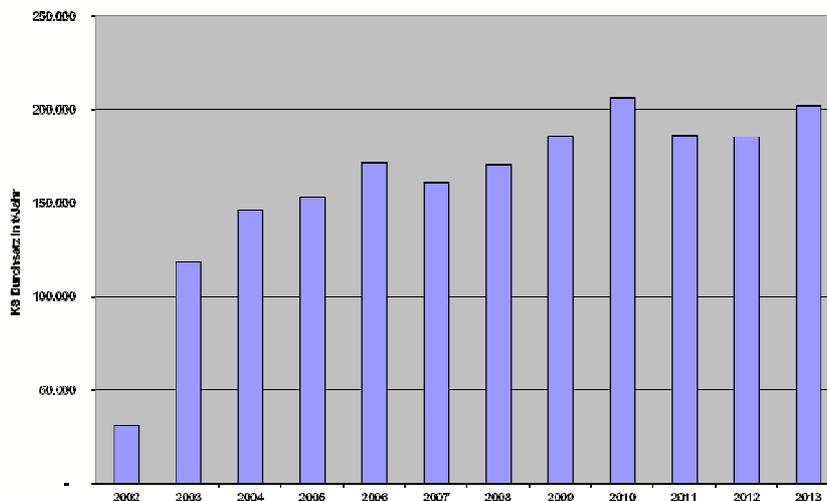


Abb. 9 Klärschlamm durchsatz

Das Ergebnis der Gesellschaft konnte durch diese Änderungen, die zu einer deutlichen Steigerung der Umsatzerlöse führte, positiv beeinflusst werden. Die Umsatzerlöse werden im Wesentlichen aus den Entsorgungsentgelten für den Klärschlamm bestimmt. Diese stehen jedoch nach wie vor unter dem Wettbewerb der oben beschriebenen Mitverbrennung von Klärschlamm in anderen Anlagen.

Wir erwarten eine Veränderung dieser Situation durch die Novellierung der Düngemittelverordnung. Mit dieser Verordnung sollten größere Mengen Klärschlamm nicht mehr in der Landwirtschaft eingesetzt werden können und damit vermehrt der thermischen Verwertung zugeführt werden. Einen weiteren Zuwachs in der thermischen Verwertung in Monoverbrennungsanlagen erwarten wir aus der Forderung des Phosphorrecyclings. Dies setzt die Herstellung einer „sauberen“ Asche aus Monoklärschlammverbrennungsanlagen voraus.

7. Zusammenfassung

Die systematische Analyse der Einflussfaktoren und die konsequente und hartnäckige Verfolgung der möglichen Verbesserungspotentiale, die zur Steigerung der Umsatzerlöse und zur Senkung der Kosten geführt hat, versetzte die WFA Elverlingsen GmbH in die Lage, mit positiver Unterstützung der Gesellschafter und einer außerordentlich hoch motivierten Betriebsmannschaft die wirtschaftlichen Probleme, die im Wesentlichen marktgetrieben sind, zu beherrschen.

Die Genehmigung mit einem umfänglichen AVV Katalog in Verbindung mit der Zertifizierung als Entsorgungsfachbetrieb versetzt uns in die Lage, Marktpartnern zügig, kompetent und verlässlich zur Verfügung zu stehen.

In Revisionszeiten der einlinigen Anlage steht uns das Klärschlammzwischenlager zur Verfügung, um unseren Kunden jederzeit eine zuverlässige Entsorgung zu gewährleisten.

Wir werden weiterhin an den sich immer wieder verändernden Aufgaben arbeiten und die Anlage stetig verbessern.