

Erbslöh Lohrheim GmbH
Schaumburger Straße 34
65558 Lohrheim

Röhrenpresse als Ersatz für die thermische Trocknung bei der Kaolinproduktion

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem AZ 25513-24/2 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Bernd Hahn

Juni 2010

Projektkennblatt

 der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt


Az	25513-24/2	Referat	Fördersumme	€ 125.000,00
Antragstitel	Röhrenpresse als Ersatz für die thermische Trocknung bei der Kaolinproduktion			
Stichworte	Tube Press, Filterpresse, Hochdruckfilterpresse, Kaolin, Industriemineralien, CO2-Einsparung			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
31 Monate	01.11.2007	31.05.2010		
Zwischenberichte				
Bewilligungsempfänger	Erbslöh Lohrheim GmbH Schaumburger Straße 34 65558 Lohrheim		Tel	06430 / 9142 - 0
			Fax	06430 / 9142 - 45
			Projektleitung	Bernd Hahn
			Bearbeiter	Bernd Hahn
Kooperationspartner	entfällt			

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Kaolin ist ein pulverförmiges, helles Mineral, das als Rohstoff in vielen Bereichen der industriellen Fertigung eingesetzt wird: als Füllstoff für Papier, Kunststoffe, Gummiprodukte, Farben und Klebstoffe, Porzellan und Keramik. Bei der industriellen Kaolinproduktion wird für die thermische Trocknung sehr viel Energie in Form von Erdgas benötigt. Ziel des Projektes ist es, mittels einer Hochdruckröhrenpresse Kaolin so stark mechanisch zu entwässern, dass auf einen Teil der energieintensiven thermischen Trocknung verzichtet werden kann. Dabei können pro Jahr bis zu 4 GWh thermische Energie in Form von Erdgas eingespart werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Im ersten Schritt wurde eine Pilotanlage, bestehend aus 4 Röhrenpressen einschließlich der zum Betrieb erforderlichen Peripherie (Stahl- und Hallenbau, Rohrleitungen, EMSR-Technik, Beleuchtung, Bauleistungen) installiert und in den bestehenden Produktionsablauf integriert.

Während der anschließenden Erprobungsphase wurde die Leistungsfähigkeit des Verfahrens ermittelt. Dabei wurden untersucht:

- Wie wirken sich Schwankungen in der Zusammensetzung der Kaolinsuspension (Feststoffgehalt, Korngrößenverteilung) auf das Entwässerungsergebnis und die Durchsatzleistung aus. Wie stark lässt sich Kaolin mit dieser Technik entwässern.
- Entsprechen die Betriebskosten (Personal- und Wartungskosten) den erwarteten Angaben.
- Wird das Kaolinkorn durch die hohen Drücke verändert.
- Wie verhält sich das stark kompaktierte Kaolin in der anschließenden Mahltrocknung, wie stark werden die Korngrößenverteilung und die Kornstruktur beeinflusst.

Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen des Projektes wurde erstmals in Deutschland eine Hochdruckpresse zur Entwässerung von Kaolinsuspensionen im großtechnischen Maßstab errichtet und betrieben. Die Anlagentechnik arbeitet parallel zu der konventionellen Entwässerungstechnik bestehend aus Kammerfilterpresse und thermischer Trocknung (Etagentrockner).

Während des Betriebes konnte gezeigt werden, dass Restfeuchten im Filterkuchen von 12 % erreicht werden. Damit werden die Ergebnisse des Etagentrockners von 12 - 15 % teilweise noch unterschritten. Die Durchsatzleistung der Anlage beträgt bei optimalen Betriebsbedingungen ca. 1,1 t/h. Damit konnte gezeigt werden, dass die aus Vorversuchen ermittelte Anlagendimensionierung von 1,0 t/h erreicht wird.

Der Energieverbrauch kann im Vergleich zur konventionellen Technik deutlich gesenkt werden. Die Gesamtenergiekosten (Summe aus Strom- und Erdgaskosten) betragen bei optimaler Betriebsweise weniger als 30 % gegenüber der konventionellen Technik.

Zu Beginn des Probetriebes wurden verschiedene anlagentechnische Probleme erkannt und schrittweise behoben. Es zeigte sich darüber hinaus, dass Anpassungen an den vorgeschalteten Aufbereitungsstufen erforderlich sind, um einen stabilen Anlagenbetrieb zu ermöglichen. Die Röhrenpressen arbeiten dann besonders stabil, wenn die Prozessparameter Feststoffgehalt und Temperatur der Suspension genau eingestellt und möglichst konstant gehalten werden.

Während der Erprobungsphase wurden analytische Untersuchungen an den Filterkuchen aus der Röhrenpresse und der konventionellen Technik durchgeführt. Die Korngrößenanalysen zeigen nur geringe Unterschiede der beiden Produktionsverfahren. Bei der Weiterverarbeitung des Kaolins sind damit keine anwendungstechnischen Unterschiede zu erwarten.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Zwischenergebnisse wurden im Rahmen eines Vortrages auf dem 4. Höhr-Grenzhäuser Keramik Symposium am 16.09.2009 vorgestellt. Weitere Veröffentlichungen sind geplant. Darüber hinaus stellen wir die Anlagentechnik als Pilotanlage / Demonstrationsanlage für andere Kaolin- und Mineralproduzenten zur Verfügung. Der Anlagenhersteller Metso Minerals plant ebenfalls Veröffentlichungen in verschiedenen Fachzeitschriften.

Fazit

Während des Probetriebes konnte gezeigt werden, dass die Anlagentechnik die vorgegebenen Auslegungsparameter bezüglich Entwässerungsgrad und Anlagendurchsatz erreicht. Der Energieverbrauch kann durch die Technik deutlich gesenkt werden.

Die nachgeschaltete Mahltrocknungsanlage lässt sich mit dem Filterkuchen aus der Hochdruckpresse stabil betreiben. Anpassungen an der nachgeschalteten Anlagentechnik wurden nicht erforderlich. Bei der vorgeschalteten Aufbereitungstechnik wurden Anpassungen erforderlich, um einen stabilen Anlagenbetrieb zu ermöglichen. Die Röhrenpressen arbeiten dann besonders stabil, wenn die Prozessparameter Feststoffgehalt und Temperatur der Suspension genau eingestellt und möglichst konstant gehalten werden.

Die analytischen Untersuchungen haben gezeigt, dass der Einfluss der Hochdrucktechnik auf die Korngrößenverteilung und die Kornstruktur zu vernachlässigen ist.

Inhalt:

Verzeichnis der Abbildungen	5
Verzeichnis der Tabellen	5
Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen	6
Zusammenfassung	7
1. Einleitung	9
1.1 Ausgangssituation	9
1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung	10
2. Hauptteil	12
2.1 Technische Konzeption der Anlagentechnik	12
2.2 Planungsphase	21
2.3 Bauphase	22
2.4 Inbetriebnahme	25
2.5 Betrieb und Optimierung der Anlagentechnik	26
2.6 Energieverbrauch / Ökologische Relevanz	29
2.7 Laboruntersuchungen	31
3. Fazit	37
Literaturverzeichnis	38

Anlagen

- A1 Test Report vom 26.08.2003
- A2 Prüfbericht 0348-10-4032 vom 04.05.2010
Korngrößenanalysen mittels Laserverfahren und Sedigraph sowie spezifische Oberfläche nach BET, erstellt durch: Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe - Glas/Keramik - GmbH, Höhr-Grenzhausen
- A3 Prüfbericht 0528-10-1-4027 vom 11.06.2010
Korngrößenanalysen mittels Laserverfahren und Sedigraph sowie Bestimmung der spezifische Oberfläche nach BET, erstellt durch: Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe - Glas/Keramik - GmbH, Höhr-Grenzhausen

Verzeichnis der Abbildungen

Nr.	Bezeichnung
Abb. 2.1	Prinzip einer Membranfilterpresse, Quelle: Metso Minerals
Abb. 2.2	Grundlegender Aufbau der Röhrenpresse, Quelle: Metso Minerals
Abb. 2.3	Startstellung der Röhrenpresse, Quelle: Metso Minerals
Abb. 2.4	Suspension wird in die Röhrenpresse eingespeist, Quelle: Metso Minerals
Abb. 2.5	Filtrationsprozess, Quelle: Metso Minerals
Abb. 2.6	Abgeschlossener Filtrationsprozess, Quelle: Metso Minerals
Abb. 2.7	Entspannung der Membran durch Vakuum, Quelle: Metso Minerals
Abb. 2.8	Abwurf des Filterkuchens, Quelle: Metso Minerals
Abb. 2.9	Versorgung der Röhrenpresse, Quelle: Metso Minerals
Abb. 2.10	Aufstellungsort vor Baubeginn
Abb. 2.11	Montage der Röhrenpressen
Abb. 2.12	Stahlbauhalle, Rechts: Stahlgerüst, Links: mit fertig gestellter Fassade
Abb. 2.13	Röhrenpressen fertig installiert
Abb. 2.14	Maschinenraum, Links: Hochdruckpumpe, Mitte: Niederdruckpumpe, Rechts: Schlammpumpe
Abb. 2.15	Fließbild konventionelle Aufbereitungstechnik
Abb. 2.16	Fließbild Röhrenpresse

Verzeichnis der Tabellen

Nr.	Bezeichnung
Tabelle 1.1	Vergleich des Energiebedarfs bei 100 % Wirkungsgrad
Tabelle 1.2	Auslegungsparameter
Tabelle 2.1	typischer Pressenzyklus
Tabelle 2.2	Betriebsparameter der Filterpressen
Tabelle 2.3	Typische Prozessparameter bei unterschiedlichem TS- Gehalt der Suspension
Tabelle 2.4	Energiekostenvergleich
Tabelle 2.5	Röhrenpresse, Korngrößenkennwerte (Lasergranulometrie)
Tabelle 2.6	Kammerfilterpresse, Korngrößenkennwerte (Lasergranulometrie)
Tabelle 2.7	Röhrenpresse, Korngrößenkennwerte (Sedigraph)
Tabelle 2.8	Kammerfilterpresse, Korngrößenkennwerte (Sedigraph)
Tabelle 2.9	Röhrenpresse, BET Oberfläche
Tabelle 2.10	Kammerfilterpresse, BET Oberfläche
Tabelle 2.11	Mahltröcknung, Korngrößenkennwerte
Tabelle 2.12	Mahltröcknung, BET Oberfläche

Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

Symbol/Abkürzung	Dimension	Beschreibung
D10-Wert (Korngrößenkennwert)	µm	10 % der gemessenen Partikel weisen eine kleinere Korngröße auf als der angegebene Wert.
D50-Wert (Korngrößenkennwert)	µm	50 % der gemessenen Partikel weisen eine kleinere Korngröße auf als der angegebene Wert. Der Wert gibt den mittleren Teilchendurchmesser an.
D90-Wert (Korngrößenkennwert)	µm	90 % der gemessenen Partikel weisen eine kleinere Korngröße auf als der angegebene Wert.
E	kWh	Energieverbrauch
EMSR-Technik		Elektro-, Mess-, Steuer- und Regeltechnik
m	kg	Masse
PE-HD		Polyethylen high density, Polyethylen hoher Dichte
Q	kJ	Wärmemenge
r	kJ/kg	spezifische Verdampfungswärme
TS	%	Trockensubstanzgehalt, alle bei 105 °C nicht flüchtigen Anteile einer Suspension
ΔH	m	Förderhöhe

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes wurde erstmals in Deutschland eine Hochdruckpresse zur Entwässerung von Kaolinsuspensionen im großtechnischen Maßstab errichtet und betrieben. Die Anlagentechnik arbeitet parallel zu der konventionellen Entwässerungstechnik bestehend aus Kammerfilterpresse und thermischer Trocknung (Etagentrockner).

Durch den Einsatz der Hochdruckpresse können Entwässerungsgrade erreicht werden, die bislang nur mittels thermischer Trocknung im Etagentrockner erzielt wurden. Thermische Trocknungsverfahren sind im Vergleich zur Hochdruckentwässerung sehr energieintensiv. Die Etagentrocknung kann zukünftig komplett durch die Hochdruckpressentechnik ersetzt werden.

Die Röhrenpressen wurden aus der Produktion von Kieselsäure der Wacker Chemie übernommen, vom Hersteller (Metso Minerals) komplett überholt und für den Einsatzzweck umbauen lassen. Alle erforderlichen Neben- und Versorgungsanlagen, die Rohrleitungen und Ventile sowie die EMSR-Technik wurden als Neuaggregate geplant. Für die Anlage wurde ein eigens dafür konzipiertes Gebäude errichtet.

Die Planungsphase einschließlich des Genehmigungsverfahrens betrug 7 Monate, die Bauphase ebenfalls 7 Monate.

In der zweiten Phase wurde die Anlagentechnik in Betrieb genommen und optimiert. Zu Beginn des Probetriebes wurden verschiedene anlagentechnische Probleme erkannt und schrittweise behoben. Es zeigte sich, dass an der vorgeschalteten Anlagentechnik Änderungen vorgenommen werden mussten, um einen stabilen Anlagenbetrieb zu erreichen. Die Prozessparameter Feststoffgehalt und Temperatur der Suspension mussten angepasst und möglichst konstant gehalten werden.

Hierzu wurden Maßnahmen ergriffen:

- Vorwärmung der Suspension durch Nutzung der Abwärme aus der Mahltrocknung.
- Erhöhung des TS Gehaltes der Suspension durch geänderte Betriebsweise der Sedimentationsbecken.

Während des Betriebes konnte gezeigt werden, dass Restfeuchten im Filterkuchen von 12 % erreicht werden. Damit werden die Ergebnisse des Etagentrockners von 12 - 15 % teilweise noch unterschritten. Die Durchsatzleistung der Anlage erreicht bei optimalen Betriebsbedingungen ca. 1,1 t/h. Damit konnte gezeigt werden, dass die aus Vorversuchen ermittelte Anlagendimensionierung von 1,0 t/h erreicht wird.

Der Energieverbrauch kann im Vergleich zur konventionellen Technik, bestehend aus Kammerfilterpresse und Etagentrockner, deutlich gesenkt werden. Die Gesamtenergiekosten (Summe aus Strom- und Erdgaskosten) betragen bei optimaler Betriebsweise weniger als 30 % gegenüber der konventionellen Technik.

Während der Erprobungsphase wurden analytische Untersuchungen an den Filterkuchen aus der Röhrenpresse und der konventionellen Technik durchgeführt. Die Analysen zeigen nur geringe Unterschiede der beiden Produktionsverfahren. Bei der Weiterverarbeitung des Kaolins sind damit keine anwendungstechnischen Unterschiede zu erwarten.

Das Projekt „Röhrenpresse als Ersatz für die thermische Trocknung bei der Kaolinproduktion“ wurde gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück unter dem Aktenzeichen 25513-24/2.

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die Erbslöh Lohrheim GmbH betreibt seit 1921 am Standort Lohrheim (Rheinland-Pfalz, Rhein-Lahn-Kreis) eine Kaolinaufbereitung. Produziert werden verschiedene Kaolin-Qualitäten für technische Anwendungen aus eigenen und zugekauften Rohkaolinen, die im Tagebau gewonnen werden.

Kaolin ist ein pulverförmiges, helles Mineral, das als Hauptbestandteil Kaolinit enthält. Kaolin ist ein Rohstoff, der in vielen Bereichen der industriellen Fertigung eingesetzt wird, wie z. B. als Füllstoff und Aufheller für Papier, als Füllstoff für Kunststoffe, Gummiprodukte, Farben und Klebstoffe, als Trägerstoff für Pflanzenschutzmittel. Die Jahresproduktion in Europa beträgt ca. 3,9 Mio. Tonnen, die Produktion in Deutschland ca. 0,7 Mio. Tonnen (Stand 2003) [1].

Kaolin ist ein natürlich vorkommendes Tonmineral und wird im Tagebau gewonnen. Vor der industriellen Weiterverarbeitung muss ein Großteil des Rohkaolins aufbereitet und gereinigt werden. Dabei werden die groben Partikel (Fein-, Grobsand und Steine) von den Feinstpartikeln abgetrennt. Die Abtrennung erfolgt in einem mehrstufigen Waschprozess. Dabei wird das Rohkaolin mit Wasser aufgeschlämmt. Die feinen Kaolin- und Sandpartikel verbleiben dabei in der Schwebelösung, Grobsand und kleine Steine setzen sich ab und werden abgetrennt. Die verbleibende Suspension enthält immer noch feine Sandpartikel, die über einen mehrstufigen Hydrozyklonprozess abgetrennt werden. Nach diesem Wasch- und Reinigungsprozess wird das Wasser über mehrere Verfahrensschritte wieder vom Kaolin abgetrennt. Im ersten Schritt erfolgt eine Sedimentation der Kaolinpartikel in Absetzbecken. Der dabei entstehende Kaolinschlamm wird im zweiten Schritt über Kammerfilterpressen hydraulisch/mechanisch ausgepresst. Dabei entsteht ein pastöser Filterkuchen, der anschließend in einem zweistufigen Trocknungs- und Mahlprozess zu Kaolinpulver aufbereitet wird.

Dieser Trocknungsprozess ist sehr energieintensiv. Zur Produktion von einer Tonne Kaolinpulver müssen ca. 430 kg Wasser verdampft werden.

Mechanische Entwässerungsverfahren wie z.B. Filterpressen benötigen nur einen Bruchteil der Energie, die bei der thermischen Trocknung benötigt werden. Mit den Kammerfilterpressen kann Kaolin bei derzeitigem Stand der Technik allerdings nur bis auf einen Feuchtigkeitsgehalt von ca. 25 - 30 %, abhängig von der Korngröße des Kaolins entwässert werden. Kammerfilterpressen werden mit einem Pressdruck von 8 bis 20 bar betrieben.

Schon im Jahr 2000 führten wir Experimente gemeinsam mit Fa. Passavant durch. Wir wollten eine Kammerfilterpresse entwickeln, die durch mechanisches Auspressen des Filterkuchens das Wasser so stark aus dem Kaolin auspresst, dass wir nur noch wenig trocknen müssen. Bei einem Vorversuch auf der Kläranlage Wiesbaden konnte eine Restfeuchtigkeit von 15 % bei einem Pressdruck von 100 bar erzielt werden. Dabei zeigte sich, dass Pressdrücke bis ca. 50 bar nur eine geringe Verbesserung der Entwässerung bewirken.

Weitere Versuche sollten auf einer Pilotanlage in unserem Werk erfolgen. Schon zu Beginn der Versuche wurde die Presse allerdings durch die hohen Pressdrücke mechanisch so zerstört, dass ein Betrieb der Presse nicht möglich war.

Die Firma Metso Minerals hat ebenfalls eine Hochdruckpresse entwickelt, die auf Grund ihrer besonderen Röhrenkonstruktion die hohen Drücke hydraulisch per Membran auf den Filterkuchen wirken lässt. In Vorversuchen haben wir festgestellt, dass wir damit die Restfeuchte des Kaolins von derzeit 30% auf 12-15% durch Auspressen reduzieren können.

Röhrenfilterpressen wurden bislang für die Kaolinaufbereitung von Imerys in Großbritannien und Brasilien eingesetzt [2]. In Deutschland wurden Röhrenpressen bisher nicht für die Kaolinproduktion eingesetzt. In allen deutschen Kaolin-Werken werden zur mechanischen Entwässerung Kammerfilterpressen verwendet. Mit diesen Kammerfilterpressen werden Restfeuchten von 25 – 30 % erreicht, abhängig von der Korngrößenverteilung. Alternative Anlagentechniken, die mit hohen Pressdrücken von ca. 100 bar arbeiten, sind am Markt nicht verfügbar.

1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Das Projekt umfasst die Errichtung einer Anlage im mindestens halbertechnischen Maßstab und die Integration in den bestehenden Produktionsablauf der Kaolinaufbereitung, mit dem Ziel weitergehende Untersuchungen durchzuführen.

Als Pilotanlage konnte eine gebrauchte Röhrenpresse aus der Produktion von Kieselsäure der Wacker Chemie übernommen werden, die vom Anlagenhersteller (Metso Minerals) für unseren Einsatzzweck umgebaut wird. Die Pilotanlage wurde auf eine Gesamtdurchsatzleistung von 1000 kg/h dimensioniert. Die maximale Produktionskapazität beträgt damit 1/4 - 1/3 der im Werk installierten konventionellen Technik.

Die Weiterverarbeitung des Filterkuchens erfolgt in der bestehenden Mahltrocknungsanlage. Hier wird eine zweirotorige Hammermühle der Fa. Hazemag, Typ Novorotor eingesetzt. Während des Zerkleinerungsprozesses wird Heißgas durch die Hammermühle geleitet und so das Material getrocknet. Der Mühle ist ein Sieb nachgeschaltet, der noch nicht durchgetrocknete Kaolinagglomerate wieder in den Mahlprozess zurückführt.

Bei diesem Prozess werden die bei der Druckfiltration zusammengedrückten Kaolinpartikel wieder voneinander getrennt (desagglomeriert). Die von uns verwendete Mühle ist auch für die Vermahlung härterer Produkte geeignet. Der gleiche Mühlentyp wird z.B. auch zur Vermahlung von Kalkstein, Talkum, Bentonit und Tonen verwendet. Wir gehen daher davon aus, dass auch das stark kompaktierte Kaolin aus der Röhrenpresse in der bestehenden Mahltechnik verarbeitet werden kann.

Bei der Vorplanung gingen wir von einer Verringerung der Durchsatzleistung aus, wobei beim Betrieb mit der Röhrenpresse ausreichend Reserven vorhanden sind. Die Durchsatzleistung der Mahltrocknung beträgt bei unserem bestehenden Prozess max.

4 t/h. Beim Umstellen auf die Röhrenpresse wird die Durchsatzleistung auf 1 t/h reduziert und der verminderte Anlagendurchsatz durch einen Dreischichtbetrieb kompensiert.

Durch eine längere Verweilzeit des Kaolins in der Mühle rechneten wir auch mit einer geringfügigen Zerkleinerung der einzelnen Kaolin-Partikel. Dies kann zu etwas geringeren Korngrößen im Endprodukt führen.

Während der Versuchsphase soll insbesondere ermittelt werden:

- Wie lässt sich eine solche Presse in unseren Produktionskreislauf integrieren, welche Detail-Anpassungen sind erforderlich?
- Entsprechen die Wartungskosten (Standzeiten der Filtertücher) den erwarteten Angaben?
- Wie wirken sich Schwankungen in der Zusammensetzung der Kaolinsuspension (Feststoffgehalt, Korngrößenverteilung) auf das Entwässerungsergebnis und die Durchsatzleistung aus?
- Wird das Kaolinkorn durch die hohen Drücke verändert?
- Wie verhält sich das stark kompaktierte Kaolin in der anschließenden Mahltrocknung, wie stark wird die Korngrößenverteilung beeinflusst?

Insbesondere den letzten Punkt konnten wir im Vorfeld des Projektes mit den im Labormaßstab produzierten Mengen nicht verifizieren.

2. Hauptteil

2.1 Technische Konzeption der Anlagentechnik

Vergleich Thermische / Mechanische Entwässerung

Bei der thermischen Entwässerung (Trocknung) von Kaolin erfolgt die Entfernung des Prozesswassers durch Verdampfen. Die hierzu benötigte Wärmemenge wird mittels Heißgas in das Produkt eingebracht. Die erforderliche Energie wird im Wesentlichen durch die Verdampfungswärme des Wassers bestimmt. Die Wärmemenge Q , die zum Verdampfen des Wassers erforderlich ist, errechnet sich aus der Masse m des zu verdampfenden Wassers und der spezifischen Verdampfungswärme r .

Um 1000 kg Wasser zu verdampfen ergibt sich:

$$Q [kJ] = m [kg] \cdot r \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 1000 \text{ kg} \cdot 2256 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 2256000 [kJ]$$

Die Wärmemenge entspricht der thermischen Energie. Die Umrechnung erfolgt über die Formel:

$$E [kWh] = \frac{Q [kJ]}{3600 \left[\frac{s}{h} \right]} = \frac{2256000 [kJ]}{3600 \left[\frac{s}{h} \right]} = 627 [kWh]$$

Bei der mechanischen Entwässerung erfolgt die Abtrennung des Prozesswassers durch Druckerhöhung der Kaolinsuspension. Die erforderliche Energie wird durch die Pumpleistung bei der Druckerhöhung und Förderung der Suspension in die Filterpressen bestimmt. Die Pumpenergie ergibt sich aus der Fördermenge und der Förderhöhe und kann nach folgender Formel errechnet werden:

$$E [kWh] = \frac{m [t] \cdot \Delta H [m]}{367} = \frac{1 [t] \cdot 1000 [m]}{367} = 2,72 [kWh] \approx 3 [kWh]$$

Die Tabelle 1.1 zeigt einen Vergleich des Energiebedarfes von mechanischer und thermischer Entwässerung bei einem theoretisch angesetzten Wirkungsgrad von 100 %.

Mechanische Entwässerung	Thermische Entwässerung (Trocknung)
1 t Wasser Druckerhöhung um 100 bar	1 t Wasser Verdampfen bei 100 °C
Pumpenergie	Thermische Energie
2,7 kWh	627 kWh

Tabelle 1.1: Vergleich des Energiebedarfs bei 100 % Wirkungsgrad

Die Werte lassen sich aufgrund der theoretischen Betrachtungsweise nicht 1:1 auf die Praxis übertragen. Sie zeigen jedoch das enorme Einsparpotential, das sich durch den Ersatz der Trocknung durch mechanische Verfahren bietet.

Vorversuche

Im März 2003 wurden Vorversuche mit einer mobilen Versuchsanlage durchgeführt. Die Versuchsanlage ist analog einer großtechnischen Anlage aufgebaut. Alle Versorgungseinrichtungen wie Pumpen, Verdichter, Vakuumeinheit und Hydraulik sind in einem 20 ft Container errichtet. Die Anpassung der einzelnen Betriebsparameter erfolgt durch Optimierung der Befüll- und Entleerungszeiten. Die detaillierten Testergebnisse sind in Anlage 1 dargestellt.

Für die Dimensionierung einer stationären Pilotanlage ergaben sich aus den Versuchsreihen die Auslegungsparameter gemäß der Tabelle 1.2.

Medium	Kaolinsuspension
Feststoffgehalt (TS)	17 %
Temperatur	20 °C
Anlagendurchsatz	
Durchsatz je Filterröhre	250 kg/h (bezogen auf 100 % TS)
Durchsatz gesamt	1000 kg/h (bezogen auf 100 % TS)
Restfeuchte im Filterkuchen	< 15 %

Tabelle 1.2: Auslegungsparameter

Funktionsprinzip der Röhrenfilterpresse

Röhrenfilterpressen arbeiten nach dem Prinzip von Membranfilterpressen. Aufgrund der zylindrischen Konstruktion kann ein Pressdruck von bis zu 140 bar erreicht werden. Das Arbeitsprinzip einer Membranpresse ist in Abb. 2.1 dargestellt:

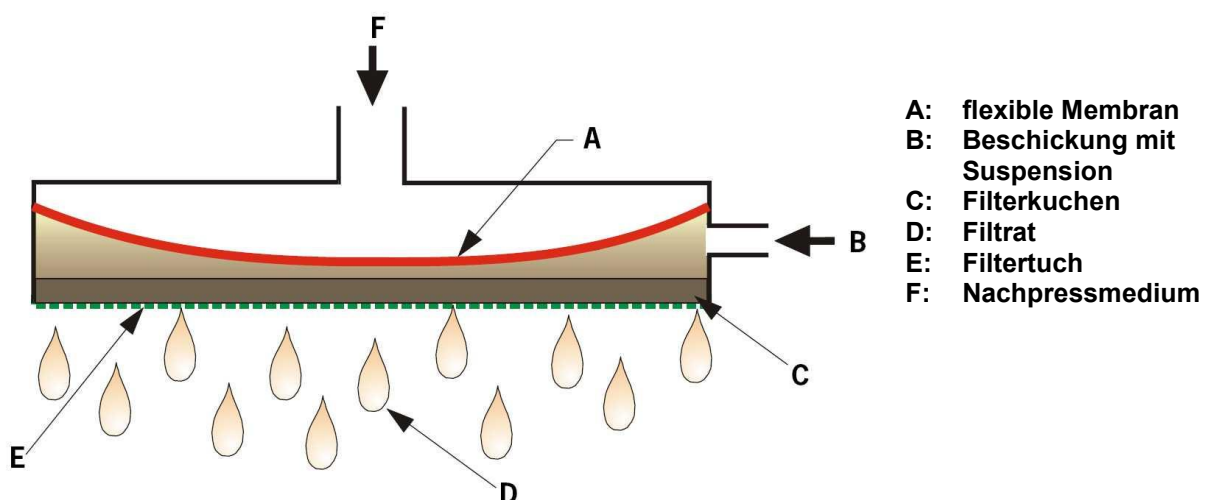


Abb. 2.1: Prinzip einer Membranfilterpresse

Der Filtrationsprozess erfolgt zweistufig. In der ersten Stufe wird die zu entwässernde Suspension in die Filterpresse gefördert. Durch den Förderdruck erfolgt eine Vorentwässerung der Suspension. Es bildet sich ein Filterkuchen am Filtertuch aus. Aufgrund des steigenden Filtrationswiderstandes nimmt der Durchsatz ab. Im zweiten Schritt wird die Beschickung unterbrochen und über ein Nachpressmedium die Membran gegen den Filterkuchen angepresst. Es findet eine zusätzliche Entwässerung des Filterkuchens statt.

Beschreibung der Röhrenpresse

Die Röhrenpresse besteht aus zwei konzentrischen, zylindrischen, vertikal montierten Stahlrohren. In Abb. 2.2 ist der grundlegende Aufbau einer Röhrenpresse dargestellt.

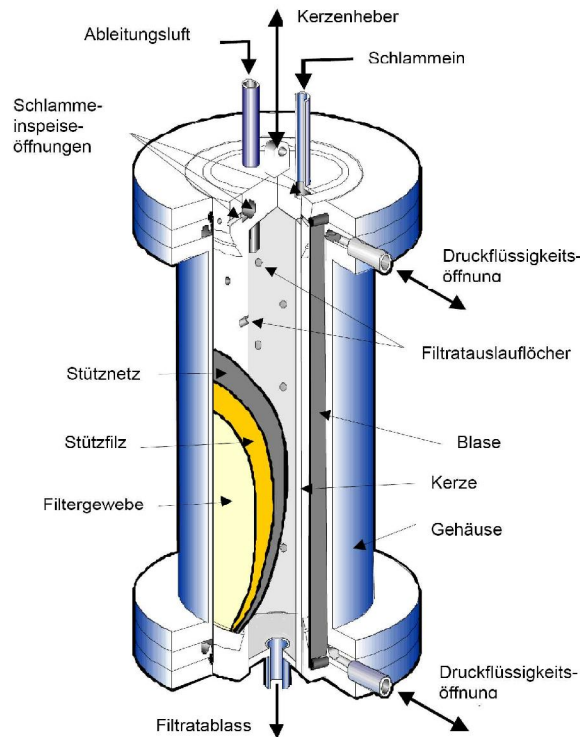


Abb. 2.2: Grundlegender Aufbau der Röhrenpresse

Das Gehäuse besteht aus einem druckfesten Stahlrohr. Im Inneren des Gehäuses befindet sich eine flexible Gummimembran (Blase) in der Form eines Schlauches, der an den Enden mit dem Gehäuse verbunden ist. Über die Druckflüssigkeitsöffnung kann der Raum zwischen Gehäuse und Membran befüllt und unter Druck gesetzt werden. Dadurch wird die Gummimembran gegen das Filtermedium gedrückt. Durch Ansaugen kann die Blase wieder gegen die innere Oberfläche des Gehäuses gezogen werden.

Die Filterkerze besteht ebenfalls aus einem perforierten Stahlzylinder mit einer gerillten äußeren Oberfläche. Am oberen Ende sind die Schlammeinspeiseöffnungen und am unteren Ende das Filtratablassrohr angebracht. Das Filtergewebe befindet sich auf der äußeren Oberfläche der Filterkerze. Die Kerze lässt sich mit Hilfe eines Hydraulikzylinders nach unten Absenken.

Filtrationsprozess

Die Filtration in Röhrenpressen erfolgt chargenweise nach einem vorher definierten Filtrationszyklus.

Am Beginn des Hauptzyklus befindet sich die Kerze in der oberen Position. Die Startstellung der Röhrenpresse ist in Abb. 2.3 dargestellt.

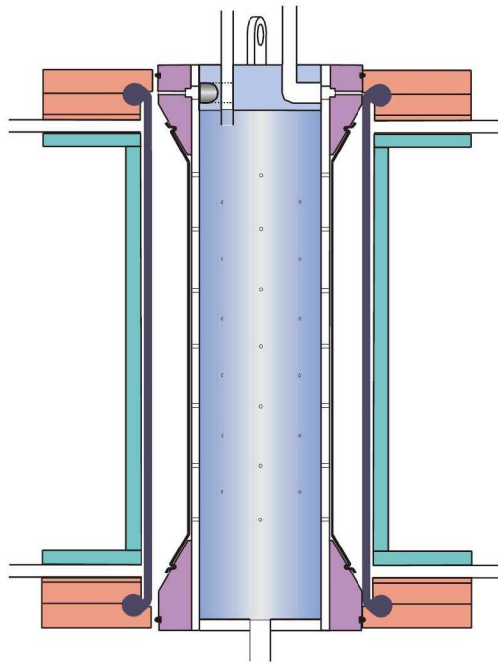


Abb. 2.3: Startstellung der Röhrenpresse

In der Schlammfüllstufe, dargestellt in Abb. 2.4, wird das Schlammventil für eine vorbestimmte Zeitdauer geöffnet und der ringförmige Raum zwischen Blase und Filter mit Kaolinsuspension gefüllt. Die Menge der in die Röhrenpresse eingespeisten Suspension kann durch Verlängern oder Verkürzen der Zeit, in der das Steuerungsventil geöffnet ist, angepasst werden. In dieser Phase findet bereits eine Vorentwässerung statt und es bildet sich ein Filterkuchen aus.

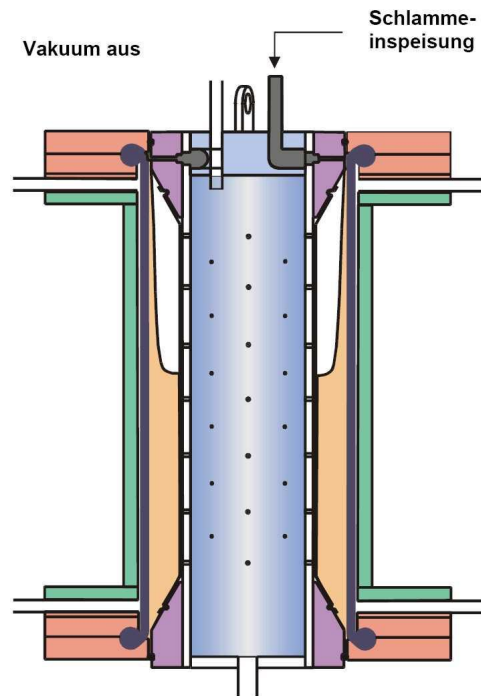


Abb. 2.4: Suspension wird in die Röhrenpresse eingespeist

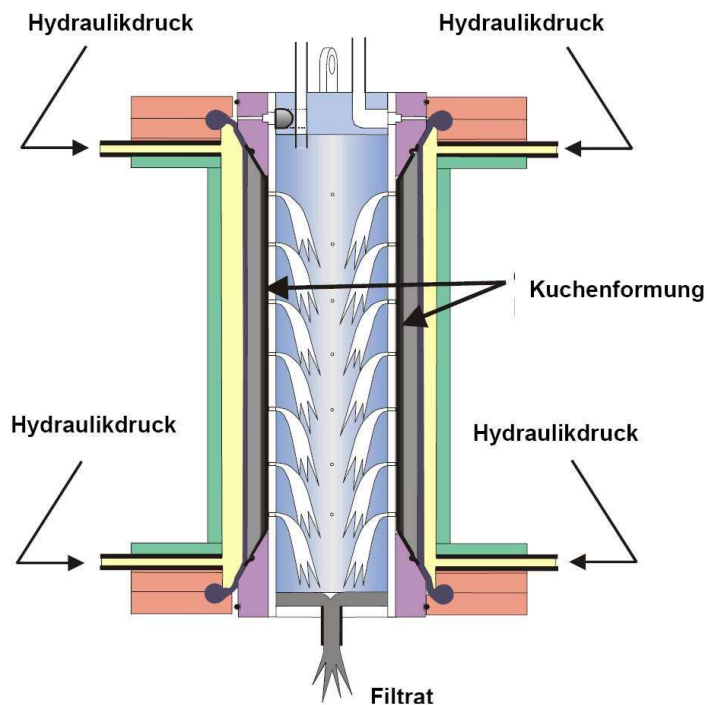


Abb. 2.5: Filtrationsprozess

Der eigentliche Filtrationsprozess ist in Abb. 2.5 dargestellt. Hydraulikflüssigkeit (Wasser) wird zunächst mit Niederdruck (max. 16 bar) und anschließend mit Hochdruck (max. 100 bar) in den Raum zwischen Gehäuse und Membran gepumpt. Die Membran

presst den Filterkuchen weiter aus. Die Entwässerung erfolgt über das Filtergewebe und durch die Öffnungen der Filterkerze. Die Dauer der Nieder- und Hochdruckfiltrationszeiten kann an die jeweilige Anwendung angepasst werden. Der Hochdruck wird bis zum Ende der Filtration und der Bildung des Filterkuchens aufrechterhalten. Nach Abschluss der Filtration wird der Zufluss von Hydraulikflüssigkeit unterbrochen und der Überdruck entspannt (Abb. 2.6).

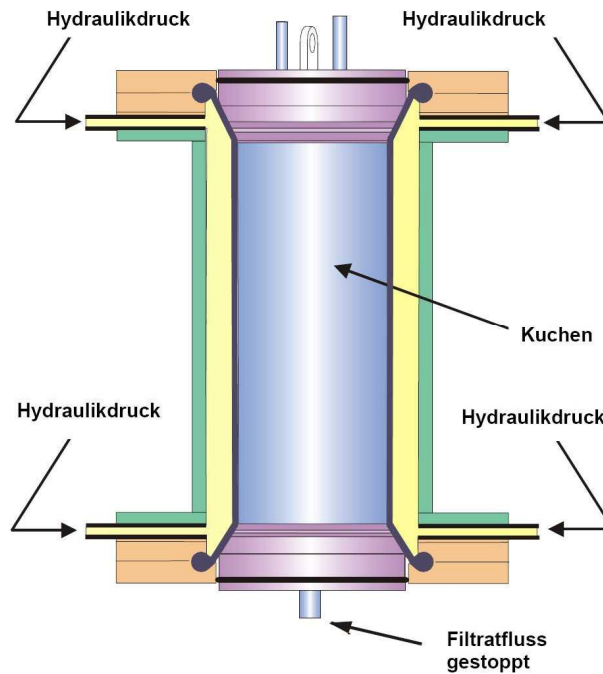


Abb. 2.6: Abgeschlossener Filtrationsprozess

Nach Ende des Filtrationsprozesses (Abb. 2.6) kann der Filterkuchen zusätzlich mit Druckluft aufgelockert werden. Anschließend wird dann nochmals mit Niederdruck und Hochdruck nachgepresst. Damit kann Restwasser aus den Kapillaren zwischen den einzelnen Kaolinpartikeln herausgepresst werden, was zu höheren Entwässerungsgraden führt.

Vor dem Kuchenabwurf wird die Membran durch Vakuum wieder in die ursprüngliche Position gebracht. Dies ist erforderlich um die Membran beim Auswurf des Filterkuchens vor Beschädigung zu schützen (Abb. 2.7).

Die Kerze wird dann durch einen Hydraulikzylinders abgesenkt. Der Filterkuchen wird durch einen Druckluftstoß vom Filtergewebe gelöst. Dazu wird Druckluft in die Filterkerze eingeblasen, das Filtergewebe dehnt sich nach außen, der Kuchen wird gelöst und fällt anschließend aus der Presse. Dieser Vorgang ist in Abb. 2.8 dargestellt.

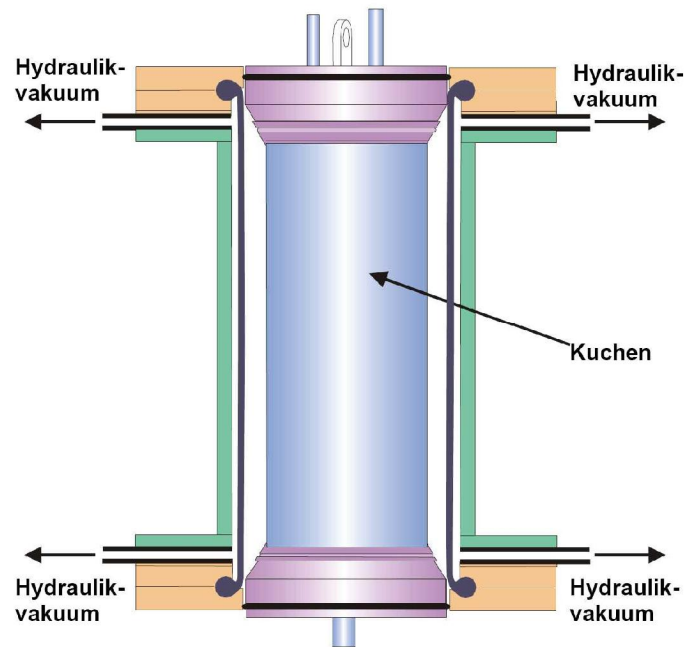


Abb. 2.7: Entspannung der Membran durch Vakuum

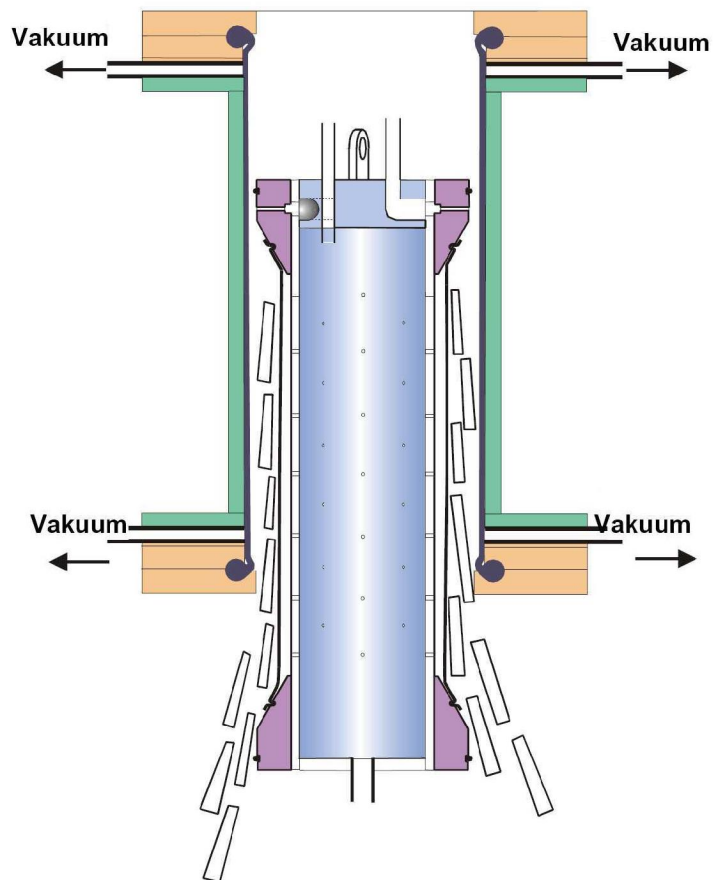


Abb. 2.8: Abwurf des Filterkuchens

Bestandteile der Anlage

Die Röhrenpressenanlage besteht neben der eigentlichen Presse aus verschiedenen Nebenaggregaten, die für die Versorgung mit Betriebsmedien notwendig sind. Die Abb. 2.9 zeigt die Versorgung der Röhrenpresse mit den verschiedenen Betriebsmedien.

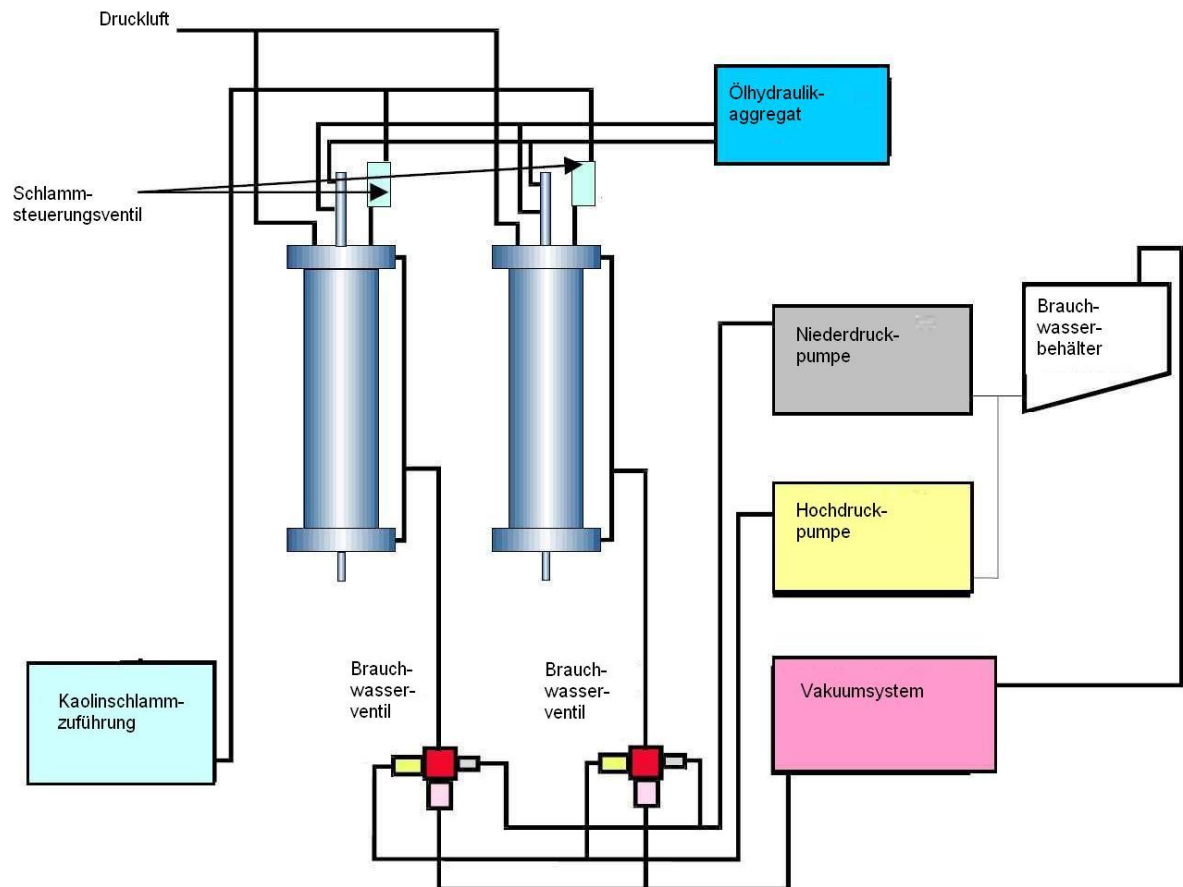


Abb. 2.9: Versorgung der Röhrenpresse

Kaolinschlammzuführung

Der Kaolinschlamm (Suspension) wird über eine Kreiselpumpe über ein Rohrleitungssystem in die einzelnen Pressen gefördert. Der Zufluss zu den einzelnen Pressen wird über ein automatisch betätigtes Ventil (Schlammsteuerungsventil) vom Kontrollsystem gesteuert.

Brauchwassersystem

Aus dem Brauchwassersystem wird die Presse mit Hydraulikwasser versorgt. Das System besteht aus einem Vorlagebehälter aus dem die Niederdruck- und die Hochdruckpumpe Brauchwasser über ein Rohrleitungssystem in die Presse fördert. Der Zufluss zu den einzelnen Pressen wird über das Brauchwasserventil automatisch gesteuert.

Vakuumsystem

Dieses System erzeugt das Vakuum, um die Brauchwasserflüssigkeit am Ende der Überdruck- und Unterdruckstufen des Filtrationszyklus von den Röhrenpresseneinheiten abzusaugen. Das Vakuum bewirkt ein Ansaugen der Membran zum äußeren Gehäuse, so dass sich die Kerze während des Filterkuchenabwurfs ohne Behinderung und mögliche Beschädigung der Membran bewegen werden kann.

Die Vakuumerzeugung erfolgt mittels einer Flüssigkeitsringvakuumpumpe. Die mit dem Vakuum abgesaugte Flüssigkeit wird wieder dem Brauchwasserbehälter zugeführt.

Ölhydraulikaggregat

Mit dem Ölhydrauliksystem wird der Hydraulikzylinder zum Heben und Senken der Filterkerze angetrieben.

Lufteinspeisung

Über die Druckluftversorgung wird der Filterkuchen mittels Druckluftstoß vom Filtergewebe gelöst. Die Steuerung erfolgt über ein automatisch betätigtes Ventil.

Steuerung des Prozesses

Die Steuerung des Prozesses erfolgt automatisch über eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS). Dabei werden die verschiedenen Betriebsparameter überwacht. Bei Abweichungen und Störungen wird der Prozess automatisch unterbrochen und eine Störmeldung an das Betriebspersonal gegeben. Der typische Ablauf eines Pressenzyklus ist in der Tabelle 2.1 dargestellt:

Prozess	Zeit
Befüllung mit Kaolinsuspension	20 s
Pressen mit Niederdruck 1	120 s
Pressen mit Hochdruck 1	400 s
Luftauflockerung	40 s
Pressen mit Niederdruck 2	60 s
Pressen mit Hochdruck 2	90 s
Vakuum/Entleerung	60 s
Gesamtzyklus	790 s

Tabelle 2.1: typischer Pressenzyklus

Die einzelnen Zeiten können durch das Betreiberpersonal individuell geändert und so an die verschiedenen Betriebsbedingungen angepasst werden.

Je nach eingestellten Zeiten ist der Prozess nach ca. 10 bis 30 Minuten abgeschlossen. Nach dem Abwurf des Filterkuchens startet der Prozess automatisch wieder mit der Befüllung der Presse.

2.2 Planungsphase

November 2007 bis Mai 2008

Die Planungsphase umfasste im Wesentlichen die Bereiche Anlagenengineering, Stahlbau, Hallenbau und die Baugenehmigungsplanung. Darüber hinaus musste die neue Anlagentechnik in den bestehenden Produktionsablauf integriert werden.

Die ursprüngliche Planung sah vor, die Anlagentechnik in ein bestehendes Produktionsgebäude zu integrieren. Hierzu sollte ein vorhandenes Gebäude teilweise demontiert und durch eine Hallenerhöhung erweitert werden. Für die Aufstellung der vertikal angeordneten Röhrenpressen ist eine Hallenhöhe von 14 m erforderlich.

Diese erste Variante konnte allerdings aus brandschutztechnischen Gründen nicht umgesetzt werden. Das vorhandene Gebäude besteht aus einer Holzfachwerkkonstruktion. Die mit einer Erweiterung verbundenen Brandschutzauflagen wären mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht umsetzbar gewesen. Darüber hinaus hätten wichtige Versorgungsleitungen (Wasser, Strom, Produktleitungen) der bestehenden Produktionsanlage geändert werden müssen.

Man entschied sich für einen kompletten Neubau in unmittelbarer Nähe der vorhandenen Produktionsanlagen. So ließen sich die Brandschutzauflagen erfüllen und trotzdem eine gute Anbindung an die vorhandene Produktion erreichen. Abb. 2.10 zeigt den geplanten Aufstellungsort unmittelbar vor den vorhandenen Gebäuden.



Abb. 2.10: Aufstellungsort vor Baubeginn

Die Gebäudetechnik wurde in Stahlbauweise geplant. Die Planunterlagen und die Tragwerksplanung für die Stahlbauhalle wurden von dem ausführenden Unternehmen Kübler GmbH, 74363 Güglingen erarbeitet.

Mit der Baugenehmigungsplanung und der Planung Erd- und Fundamentarbeiten wurde das Architekturbüro Rainer Schmorleitz, 65558 Gückingen beauftragt.

Da sich der geplante Aufstellungsort im unbeplanten Außenbereich befindet, musste neben der eigentlichen Bauplanung ein landschaftsplanerischer Fachbeitrag erstellt werden. Hiermit wurde das Büro Dipl.-Ing. Karlheinz Witt, 65558 Lohrheim beauftragt.

Die Tragwerksplanung für die Fundamente erfolgte durch das Ingenieurbüro Schäfer Bau GmbH und Co. KG, 65555 Limburg-Offheim.

Während der Planungsphase zeigte sich, dass der ursprünglich angesetzte Zeitplan nicht haltbar war. Durch den geänderten Aufstellungsort war eine komplette Überarbeitung der Aufstellungspläne erforderlich. Auch das Baugenehmigungsverfahren gestaltete sich wesentlich umfangreicher als ursprünglich erwartet. Durch den Neubau einer Halle, deren Höhe mit 14 m die bestehenden Gebäude deutlich überragt, mussten im Rahmen der Landschaftspflege Kompensationsmaßnahmen planerisch betrachtet werden.

Ursprünglich wurden für die Planungsphase 12 Wochen veranschlagt. Insgesamt betrug die Planungsphase 30 Wochen, wobei dabei die Genehmigungsplanung, die Einholung der behördlichen Genehmigung und die Vergabevorbereitung für die verschiedenen Baugewerke enthalten sind.

Die Baugenehmigung wurde durch die Kreisverwaltung des Rhein-Lahn-Kreises am 07.05.2008 erteilt.

Parallel zu den Planungen wurden die Vergaben der einzelnen Gewerke an die beteiligten Fachunternehmen vorbereitet und die entsprechenden Aufträge vergeben.

2.3 Bauphase

Juni 2008 bis Dezember 2008

Im Juni 2008 wurden in der ersten Stufe die erforderlichen Erd- und Fundamentarbeiten ausgeführt. Anschließend wurde der Stahlrahmen zur Aufnahme der Röhrenpressen errichtet. Die 4 Röhrenpressen und die Behälter für die verschiedenen Betriebsmedien wurden vor Errichtung der Stahlbauhalle mit einem Kran in den Stahlrahmen gehoben (Abb. 2.11). Anschließend wurde die Stahlbauhalle um die Aggregate herum errichtet (Abb. 2.12).



Abb. 2.11: Montage der Röhrenpressen



Abb. 2.12: Stahlbauhalle, Rechts: Stahlgerüst, Links: mit fertig gestellter Fassade

Nach Fertigstellung der Stahlbauhalle wurde die Anlagentechnik komplettiert. Nach Montage der Aggregate wurden die Rohrleitungen und die EMSR-Technik installiert. Die einzelnen Röhrenpressen wurden mit Schlauchleitungen an die Versorgungsleitungen angebunden.



Abb. 2.13: Röhrenpressen fertig installiert



Abb. 2.14: Maschinenraum, Links: Hochdruckpumpe, Mitte: Niederdruckpumpe, Rechts: Schlammpumpe

In der Bauphase ergaben sich weitere Verzögerungen. Der Aufwand für die Errichtung der einzelnen Gewerke wurde bei der Vorplanung deutlich unterschätzt. Aufgrund der konjunkturellen Hochphase in diesem Zeitraum und der damit verbundenen Auslastung im Maschinenbausektor verlängerten sich die Lieferzeiten für Anlagenkomponenten, Armaturen, Maschinen teilweise beträchtlich. Wegen Lieferverzögerungen musste der Zeitplan mehrmals umgeplant und einzelne Montagen verschoben werden. Ursprünglich waren für den Bau des Gebäudes und der Anlagentechnik 14 Wochen vorgesehen. Insgesamt dauerte die Bauphase bis zur Fertigstellung 26 Wochen.

2.4 Inbetriebnahme

Dezember 2008 bis Februar 2009

Mit der Inbetriebnahme wurde im Dezember 2009 begonnen. Die Inbetriebnahme unterteilte sich in mehrere Phasen. In der ersten Phase wurden die Funktion der Steuerung und aller Antrieb überprüft. In der zweiten Phase erfolgte die Überprüfung des Steuerungsablaufes der gesamten Anlage mit Brauchwasser.

Im Januar 2010 wurde mit dem Anfahren der Anlage unter Betriebsbedingungen begonnen und die Optimierung des Prozessablaufes, insbesondere der Zykluszeiten, vorgenommen.

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2.2 dargestellt

Parameter	Ist-Werte	Auslegungsparameter
Suspension		
Feststoffgehalt (TS)	29,4 %	17 %
Temperatur	40,8 °C	20 °C
Optimierte Zykluszeiten		
Befüllung mit Suspension	19 s	
Pressen mit Niederdruck 1	112 s	
Pressen mit Hochdruck 1	420 s	
Luftauflockerung	40	
Pressen mit Niederdruck 2	60	
Pressen mit Hochdruck 2	90	
Vakuum/Entleerung	60	
Gesamtzykluszeit	801 s	
Betriebsdrücke		
Niederdruck	14 bar	
Hochdruck	100 bar	
Ergebnisse (Mittelwerte)		
Filterkuchengewicht	69,9 kg	
Feuchtigkeit im Filterkuchen	11,7 %	15 %
Filterkuchengewicht bezogen auf 100 % TS	61,7 kg	
Durchsatz pro Presse	277,4 kg/h	250 kg/h
Durchsatz ges (4 Pressen)	1110 kg/h	1000 kg/h
Durchsatz 8 h	8,88 t / 8h	8,0 t / 8h
Durchsatz 24 h	26,63 t / 24h	24,0 t / 24h

Tabelle 2.2: Betriebsparameter der Filterpressen

Beim Probetrieb der Anlage zeigte sich, dass der Feststoffgehalt (TS) der Kaolinsuspension stark schwankte. Die der Pressentechnik vorgeschaltete Sedimentation erfolgt chargenweise in insgesamt 10 Sedimentationsbecken. Die Entnahme der sedimentierten Kaolinsuspension erfolgt ebenfalls chargenweise. Die

dadurch entstehenden Schwankungen im Feststoffgehalt der Suspension können über das Vorlagebecken nicht völlig ausgeglichen werden.

Bei den bestehenden Kammerfilterpressen werden die Schwankungen durch eine Anpassung der Befüllzeiten ausgeglichen. Bei niedrigen TS-Gehalten werden die Befüllzeiten verlängert. Dies erfolgt durch das Betriebspersonal aufgrund von Betriebserfahrungen individuell bei jedem Befüllvorgang.

Die Anpassung auf geänderte Ausgangsparameter erfolgt bei den Röhrenpressen durch Änderung der Zykluszeiten. Um bei niedrigeren TS Konzentrationen optimalen Durchsatz und Entwässerung zu erreichen, müssen neben der Befüllzeit auch Presszeiten (Niederdruck und Hochdruck) verlängert werden. Typische Betriebsparameter sind in Tabelle 2.3 dargestellt.

TS Gehalt (Suspension)	29,4 %	19,4 %
Befüllzeit	19 s	20 s
Gesamtzykluszeit	801 s	1280 s
Filterkuchengewicht	70,0 kg	51,0 kg
Feuchtigkeit im Filterkuchen	11,5 %	12,5 %
Filterkuchengewicht bezogen auf 100 % TS	62,0 kg	44,6 kg
Durchsatz pro Röhre	278,4 kg/h	125,4 kg/h

Tabelle 2.3: Typische Prozessparameter bei unterschiedlichem TS- Gehalt der Suspension

Die Steuerung der Röhrenpressen erfolgt durch ein festgelegtes Ablaufprogramm vollautomatisch. In diesem Ablaufprogramm sind die einzelnen Befüll- und Steuerzeiten festgelegt. Die Befüllzeiten können über die Steuerung angepasst werden.

Einfluss der Temperatur der Suspension

Die Temperatur der Suspension, die aus dem Sedimentationsprozess in den Vorlagebehälter der Röhrenpresse gefördert wurde, betrug in den Wintermonaten teilweise unter 10 °C. Innerhalb des Prozesses wird die Suspension deutlich erwärmt, so dass durch die Kreislaufführung der Suspension im Vorlagebehälter eine Temperatur von 20 - 40 °C bei längerer Betriebszeit entsteht. Die besten Ergebnisse bezüglich Anlagendurchsatz und Entwässerungsgrad traten bei Temperaturen oberhalb 30°C auf. Temperaturen unterhalb 25 °C führten zu erhöhter Feuchtigkeit (über 16 %) im Filterkuchen. Bei Feuchtigkeiten über 16 % tritt ein Verkleben des Filterkuchens auf. Das automatische Absprengen des Filterkuchens mit Druckluft vom Filtergewebe ist dann nicht mehr gewährleistet.

2.5 Betrieb und Optimierung der Anlagentechnik

ab Februar 2009

Während des Probetriebes der Anlage traten zahlreiche Störungen auf, die einen kontinuierlichen Anlagenbetrieb nur bedingt zuließen. Die gravierenden Störungen traten an den einzelnen Aggregaten und Armaturen auf. Darüber hinaus zeigte sich, dass aufgrund der hohen Temperaturen, die in den Wasserkreisläufen während des Betriebs

entstehen, der gewählte Rohrleitungswerkstoff Polyethylen für die Niederdruckleitung ungeeignet war.

Hochdruckpumpe

Bei der Hochdruckpumpe handelt es sich um eine 3-zylindrige Kolbenpumpe.

Bei der HD Pumpe traten seit Februar 2009 Fehlermeldungen bezüglich zu hoher Öltemperatur auf.

Der britische Hersteller verfügt in Deutschland über kein Servicenetz. Auch die Ersatzteilbeschaffung kostete viel Zeit, da alle Teile erst aus Großbritannien beschafft werden mussten. Nach mehrmaligen teilweise ergebnislosen Reparaturversuchen konnten die Probleme erst Mitte Mai 2009 dauerhaft behoben werden. Im Juni 2009 traten dann Störungen an den Rückschlagventilen auf. Ursache war eine gebrochene Feder.

Im Rahmen der Störungsbeseitigung wurden alle gängigen Ersatz- und Verschleißteile bevorratet. Das Betriebspersonal war aufgrund der mit jeder Reparatur gesammelten Erfahrungen danach in der Lage, Störungen schnell zu erkennen und effizient zu beheben. Das Aggregat arbeitet mittlerweile nahezu störungsfrei.

Hydraulik System:

Obwohl das gesamte Leitungssystem einschließlich der Ventile vor der Inbetriebnahme aufwendig gereinigt und gespült wurde, traten am einem Hydraulikzylinder im Februar 2009 Störungen beim Heben und senken auf. Ursache war ein Metallspan in einem Steuerventil. Nach dem Öffnen des Hydrauliktanks wurden hier ebenfalls Metallspäne gefunden. Daraufhin wurde das komplette System gespült, das Öl ausgetauscht und einen zusätzlichen Filter in die Hydraulikdruckleitung eingebaut.

Ab dem 09.04.09 gab es erste Störungen am Hydraulikzylinder der Presse 4. Der Kolben zeigte starke Abnutzungserscheinungen (Riefen), Ursache waren vermutlich die Metallspäne im System. Der Zylinder wurde demontiert, repariert und wieder eingebaut.

Brauchwasserventile

Ab dem 14.05.09 traten immer wieder Störungsmeldungen bei Presse 1 und 2 auf. Der Presszyklus wurde unterbrochen, Fehlermeldung: kein ausreichendes Vakuum. Der Fehler trat zunächst sporadisch auf, nach Quittieren lief die Anlage wieder. Ursache war letztlich ein verstelltes Ventilspiel an der Kolbenstange der Brauchwasserventile. Die Fehler traten in unregelmäßigen Abständen wiederholt auf. Es erfolgten verschiedene Maßnahmen zur dauerhaften Fixierung des erforderlichen Ventilspiels. Letztlich führte nur ein Verschweißen der Einstellmutter zu einer dauerhaften Störungsbeseitigung.

Temperatur der Suspension

Für einen stabilen Anlagenbetrieb erwies es sich als notwendig, die Temperatur der Suspension auf mind. 30 °C anzuheben. Dies erfolgt während des Anlagenbetriebs als Nebeneffekt, da die Abwärme der verschiedenen Aggregate zumindest teilweise auch in den Suspensionskreislauf abgegeben wird. In den Wintermonaten reicht diese Temperaturerhöhung allerdings nicht aus. Bei Temperaturen unter 30 °C nimmt die Entwässerungsleistung soweit ab, dass Verklebungen an den Filtertüchern auftreten.

Eine zusätzliche Erwärmung der Suspension ist für einen stabilen Anlagenbetrieb erforderlich und mit Abwärme aus anderen Prozessen auch ohne zusätzliche Energiekosten möglich: Das in dem nachgeschalteten Trocknungsprozess verdampfte Wasser enthält eine hohe Verdampfungswärme. Diese Energie kann durch Kondensation dazu genutzt werden, die Suspension vorzuwärmen. Pro Tonne

Filterkuchen (Feuchtigkeit 12 %) enthält das verdampfte Wasser eine Verdampfungsenergie von 271 MJ. Damit lässt sich die erforderliche Suspension um bis zu 25 °C erwärmen. Den besten Wärmeübergang erzielen wir, in dem wir den Dampf direkt in der Suspension kondensieren.

Eine entsprechende Anlagentechnik befindet sich in der Realisierungsphase und soll im Laufe des Jahres 2010 in Betrieb genommen werden.

TS-Gehalt der Suspension

Die chargenweise Entnahme der Suspension aus den verschiedenen Sedimentationsbecken wurde optimiert. Die Entnahme aus den einzelnen Becken wird unterbrochen, sobald der TS Gehalt auf ca. 30 % sinkt. Darüber hinaus wird ein zusätzliches Becken innerhalb der bestehenden Produktion zur Vergleichmäßigung genutzt.

Vom 30.03.2009 bis 08.05.2009 wurden umfangreiche Reparatur und Revisionsarbeiten im Bereich der Rohstoffaufbereitung durchgeführt. Daraus resultierte ein Teillastbetrieb der vorgeschalteten Anlagentechnik. Der TS Gehalt der Suspension sank auf deutlich unter 25 %. Die Röhrenpresse wurde während dieses Zeitraums außer Betrieb genommen.

Niederdruckleitung

Die Abwärme aus den verschiedenen Aggregaten führte in den Sommermonaten zu einem Anstieg der Temperatur des Wasserhydraulikkreislaufes von bis zu 35 °C. Der Rohrleitungswerkstoff Polyethylen (PE-HD) erwies sich bei diesen Temperaturen als nicht ausreichend druckstabil. Um die Rohrleitung vor Beschädigung zu schützen, wurde der Niederdruck auf 13 bar begrenzt. Dies führte zu längeren Zykluszeiten, geringeren Filterkuchengewichten und zu einer schlechteren Entwässerung des Filterkuchens. Die Rohrleitung wurde komplett durch eine Edelstahlleitung ersetzt. Die Arbeiten wurden vom 08.-12.02.2010 ausgeführt. Die Röhrenpressen können damit unabhängig von der Temperatur mit dem Maximaldruck von 16 bar betrieben werden.

Insgesamt zeigt der bisherige Betrieb der Anlage, dass vor allem die Versorgungsaggregate und Ventile zu erheblichen Störungen und Ausfallszeiten geführt haben. Die Röhrenpressen selbst arbeiten zuverlässig. Störungen treten sehr selten auf. Darüber hinaus besteht Optimierungspotential durch eine konstantere Zusammensetzung der eingesetzten Suspension. Die Pressen arbeiten sehr stabil, wenn die Temperatur der Suspension über 30 °C und der TS-Gehalt über 30 % beträgt.

2.6 Energieverbrauch / Ökologische Relevanz

Die Röhrenpressenanlage ist mit einem Leistungsmessgerät ausgerüstet. Damit lässt sich die elektrische Leistung erfassen und der Energieverbrauch der gesamten Installation einschließlich aller Nebenaggregate ermitteln. Bei der konventionellen Technik erfolgt die Ermittlung über die Erfassung des Erdgasverbrauches. Der vergleichsweise geringe elektrische Energieverbrauch der konventionellen Analgentechnik wurde über die Anschlussleistungen und Laufzeiten der einzelnen Aggregate ermittelt.

Ein Vergleich zu der konventionellen Technik ist in der Abb. 2.15 und 2.16 dargestellt.

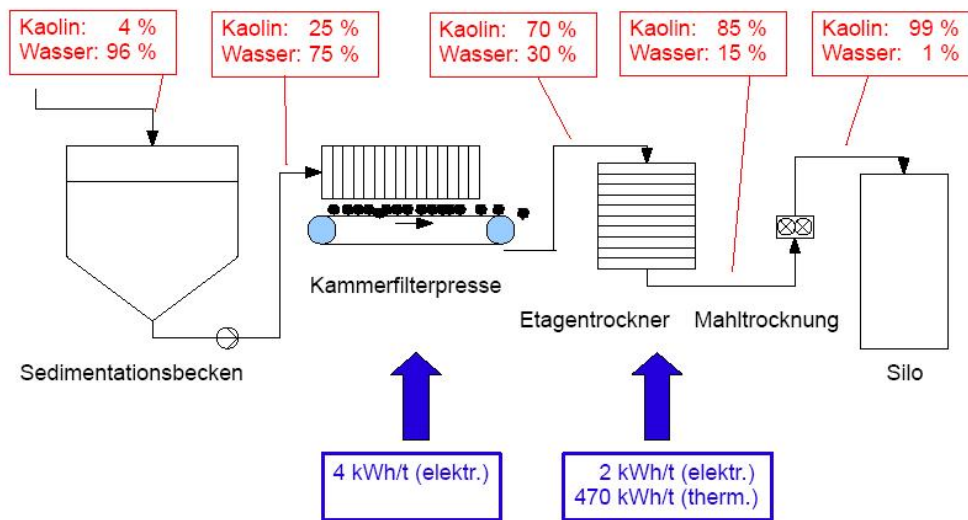


Abb. 2.15: Fließbild konventionelle Aufbereitungstechnik

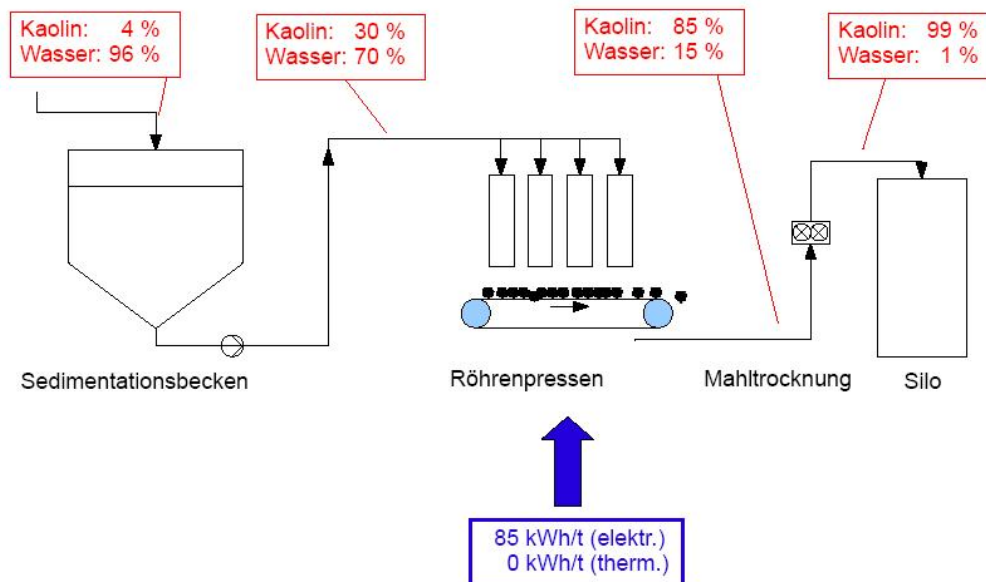


Abb. 2.16: Fließbild Röhrenpresse

Um die beiden Aufbereitungsstufen mit unterschiedlichen Durchsatzleistungen miteinander vergleichen zu können, wurden die Energieverbräuche auf die Masse des produzierten Kaolins bezogen. Die Energieverbräuche und -kosten sind in der Tabelle 2.4 aufgeführt.

	Röhrenpresse	Kammerfilterpresse und Trockner
Spezifischer Energieverbrauch		
elektrisch	85 kWh / t	6 kWh / t
thermisch		470 kWh / t
Stromkosten (0,1241 € / kWh)	10,56 € / t	0,74 € / t
Erdgaskosten (0,0588 € / kWh)		27,64 € / t
Gesamtenergiekosten	10,56 € / t	28,38 € / t
alle Preisangaben zzgl. MWSt.		

Tabelle 2.4: Energiekostenvergleich

Mangels Kaolin-spezifischer Erfahrungen wurden die leistungsstarken Aggregate wie Hochdruckpumpe, Niederdruckpumpe, Schlammförderpumpe und Hydraulikaggregat überdimensioniert. Sie arbeiten im Dauerbetrieb, um zu jeder Zeit die Pressen mit den notwendigen Betriebsmitteln versorgen zu können. Bei den derzeit ermittelten Zykluszeiten kann mit den vorhandenen Aggregaten bei fast unveränderter Leistungsaufnahme auch mit 8 Pressen gearbeitet werden. Der spezifische Stromverbrauch wird dabei um fast 50 % reduziert.

2.7 Laboruntersuchungen

Ziel der Laboruntersuchungen ist es, mögliche Unterschiede im Endprodukt festzustellen, die durch den geänderten Produktionsprozess verursacht werden können. Durch die hohen Drücke, die bei der Röhrenpresse auf die einzelnen Kaolinpartikel wirken, ist eine Veränderung der Korngrößenverteilung möglich. Die Korngrößenverteilung beeinflusst wichtige anwendungstechnische Eigenschaften, wie z.B.: Dispergierverhalten, Rheologie, Einbindung des Füllstoffes Kaolin in Kunststoff und Gummiprodukte.

Durch die Hochdruckröhrenpresse wird der Filterkuchen stärker kompaktiert als bei den konventionellen Kammerfilterpressen. Bei der anschließenden Mahltrocknung werden die bei der Druckfiltration zusammengepressten Kaolinpartikel wieder voneinander getrennt (desagglomeriert). Dadurch ist eine stärkere Zerkleinerung des einzelnen Kornes möglich. Um dies näher zu untersuchen war es erforderlich, Filterkuchen aus den Röhrenpressen unter Betriebsbedingungen zu vermahlen.

Zu Beginn des Probetriebes der Anlage traten zahlreiche Störungen auf, die einen kontinuierlichen Anlagenbetrieb nur bedingt zuließen. Die Laboruntersuchungen beschränken sich daher zu Beginn auf wenige Einzelproben. Die Untersuchung konnten schließlich im Mai 2010 abgeschlossen werden.

Folgende Prüfverfahren wurden angewendet:

- Korngrößenanalyse, Laserverfahren, pulverige Rohstoffe, nach DIN EN 725-5.
- Korngrößenanalyse mittels Sedigraph nach FGK-AV Sedigraph.
- Bestimmung der spezifischen Oberfläche durch Stickstoff-Adsorption (BET) nach DIN ISO 9277 und Messung der Isotherme.

Die Untersuchungen wurden durch das Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe - Glas/Keramik- GmbH in Höhr-Grenzhausen durchgeführt.

Korngrößenanalysen

Zum Vergleich der beiden Entwässerungsverfahren Kammerfilterpresse und Hochdruckröhrenpresse wurden Zulauf (Suspension) und Filterkuchen mittels Korngrößenanalysen charakterisiert.

Die Korngrößenanalyse wird bei Kaolinen und Tonen überwiegend mit zwei Verfahren durchgeführt: Sedimentationsverfahren oder Lasergranulometrie. Bei beiden Verfahren wird die Korngröße indirekt bestimmt. Es werden physikalische Größen gemessen, die in einem funktionellen Zusammenhang zur Korngröße stehen.

Bei der Sedimentationsanalyse macht man sich die unterschiedliche Sinkgeschwindigkeit verschieden großer Partikel in einer Flüssigkeit zu nutze. Je kleiner ein Partikel ist, desto langsamer erfolgt die die Sedimentation (Stokes - Gesetz). Neben der Partikelgröße beeinflussen auch Form und Struktur der Partikel die Sedimentation.

Bei der Lasergranulometrie wird der Zusammenhang zwischen der Teilchengröße und dem Beugungswinkel eines am Partikel abgelenkten Laserstrahls zur Korngrößenanalyse verwendet.

Bei beiden Verfahren wird eine Korngrößenverteilung aus den Messgrößen berechnet, wobei diesen Berechnungen vereinfachte Annahmen zugrunde liegen (z.B. Annahme von kugelförmigen, glatten Partikeln). Tonminerale hingegen weisen eine eher blättchenförmige Charakteristik auf.

Die Partikelgrößenverteilung von Tonmineralen, die über Sedimentationsmethoden bestimmt wurden, weisen im Vergleich zu Messungen mit Lasergranulometern deutlich höhere Feinkornanteile auf. Die unterschiedlichen Messergebnisse sind in erster Linie durch die nicht-sphärische Teilchenform der Tonpartikel begründet [3].

Die gerätetechnisch bedingte Messabweichung beträgt bei der Lasergranulometrie max. 10% und bei der Sedimentationsmethode beim D50-Wert max. 8%, beim D90-Wert max. 10% und beim D10-Wert max. 22%. Durch das unterschiedliche Dispergierverhalten der Proben (Suspension, Filterkuchen und Pulverkaolin) ist mit einer zusätzlichen Messunsicherheit zu rechnen.

Spezifische Oberfläche (BET-Oberfläche)

Die Bestimmung der spezifischen Oberfläche erfolgt durch Stickstoff-Adsorption und Messung der Isotherme. BET steht dabei für die Namen der Entwickler des BET-Modells, Brunauer, Emmett und Teller.

Die gerätetechnisch bedingte Messabweichung beträgt max. 10%.

Untersuchung der Röhrenpresse und Kammerfilterpresse im Vergleich

Bei den Untersuchungen erfolgte die Probennahme der Suspension vor den jeweiligen Förderpumpen aus den Vorlagebehältern. Die Vorlagebehälter verfügen über Rührwerke, so dass von einer repräsentativen Probennahme ausgegangen werden kann.

Die Probennahme der Filterkuchen erfolgte als Mischprobe zeitversetzt direkt von den Förderbändern.

Die Beschickung der Kammerfilterpressen erfolgt über einen weiteren Zwischenspeicher, der kein Rührwerk enthält. Durch den diskontinuierlichen Betrieb der Kammerfilterpressen können in diesem Zwischenbehälter Absetzeffekte auftreten, die zu Schwankungen der Korngrößenkennwerte im Pressenmaterial führen können.

Lasergranulometrie

Die Ergebnisse der Korngrößenverteilung mittels Laserverfahren sind in den Tabellen 2.5 und 2.6 dargestellt.

	Suspension			Filterkuchen		
	D10 [μm]	D50 [μm]	D90 [μm]	D10 [μm]	D50 [μm]	D90 [μm]
05.03.2010	1,09	4,74	19,48	1,08	4,58	18,20
11.03.2010	1,07	4,53	18,82	1,12	4,62	17,92
04.05.2010	1,23	4,64	17,69	1,13	4,40	17,57
Mittelwert	1,13	4,64	18,66	1,11	4,53	17,90
Zu/Abnahme				- 1,8 %	- 2,4 %	- 4,1 %

Tabelle 2.5: Röhrenpresse, Korngrößenkennwerte (Lasergranulometrie)

	Suspension			Filterkuchen		
	D10 [μm]	D50 [μm]	D90 [μm]	D10 [μm]	D50 [μm]	D90 [μm]
08.03.2010	1,21	5,05	19,92	1,14	4,76	18,71
11.03.2010	1,22	4,90	19,61	1,24	5,10	19,22
Mittelwert	1,22	4,98	19,77	1,19	4,93	18,97
Zu/Abnahme				- 2,5 %	- 1,0 %	- 4,0 %

Tabelle 2.6: Kammerfilterpresse, Korngrößenkennwerte (Lasergranulometrie)

Die Entwässerung der Suspension durch Kammerfilterpresse und Hochdruckröhrenpresse führt zu einer geringfügigen Abnahme der Korngrößenkennwerte. Die Abweichungen liegen unter der Messgenauigkeit des Messverfahrens.

Sedimentationsanalyse (Sedigraph)

Die Ergebnisse der Korngrößenverteilung mittels Sedigraph sind in den Tabellen 2.7 und 2.8 dargestellt.

	Suspension			Filterkuchen		
	D10 [μm]	D50 [μm]	D90 [μm]	D10 [μm]	D50 [μm]	D90 [μm]
05.03.2010	0,25	1,28	9,40	-	1,20	9,84
11.03.2010	-	1,01	8,36	-	1,15	8,84
04.05.2010	0,97 *	3,22 *	6,00 *	< 0,20	1,06	8,89
Mittelwert	-	1,15	8,88	-	1,14	9,19
Zu/Abnahme					- 0,9 %	+3,5 %
Bemerkungen	Die mit * gekennzeichneten Messwerte wurden bei der Mittelwertberechnung nicht herangezogen. Der D50-Wert ist deutlich erhöht, was auf ein nicht vollständiges Dispergieren bei der Probenvorbereitung hindeutet.					

Tabelle 2.7: Röhrenpresse, Korngrößenkennwerte (Sedigraph)

	Suspension			Filterkuchen		
	D10 [μm]	D50 [μm]	D90 [μm]	D10 [μm]	D50 [μm]	D90 [μm]
08.03.2010	-	1,16	8,77	-	1,33	9,87
11.03.2010	0,27	1,53	9,52	0,22	1,32	10,01
Mittelwert	-	1,35	9,15	-	1,33	9,94
Zu/Abnahme					- 1,5 %	+ 8,6 %

Tabelle 2.8: Kammerfilterpresse, Korngrößenkennwerte (Sedigraph)

Der D10-Wert wurde für die Beurteilung von Veränderungen durch die Aufbereitungstechnik nicht herangezogen, da bei einer Vielzahl von Messungen die Detektionsgrenze unterschritten wurde.

Beim D50-Wert ist im Filterkuchen eine geringfügige Abnahme bei beiden Entwässerungsverfahren festzustellen. Die Abnahme liegt wie bei den Lasermessungen unter der Messgenauigkeit des Messverfahrens.

Beim D90-Wert ist bei beiden Entwässerungsverfahren im Filterkuchen ein Anstieg gegenüber der Suspension gemessen worden.

Die Messwerte aus der Sedimentationsanalyse weisen gegenüber der Lasergranulometrie eine deutlich höhere Streuung auf.

BET Oberfläche

Die Ergebnisse der BET Messungen sind in den Tabellen 2.9 und 2.10 dargestellt.

	Suspension	Filterkuchen
	spez. Oberfläche [m^2/g]	spez. Oberfläche [m^2/g]
05.03.2010	12,8	13,5
11.03.2010	13,2	13,4
Mittelwert	13,0	13,5
Zu/Abnahme		+ 3,8 %

Tabelle 2.9: Röhrenpresse, BET Oberfläche

	Suspension	Filterkuchen
	spez. Oberfläche [m^2/g]	spez. Oberfläche [m^2/g]
08.03.2010	12,9	12,8
11.03.2010	13,3	13,0
Mittelwert	13,1	12,9
Zu/Abnahme		- 1,5 %

Tabelle 2.10: Kammerfilterpresse, BET Oberfläche

Die Entwässerung der Kaolinsuspension durch Kammerfilterpresse und Hochdruckröhrenpresse führt zu einer geringfügigen Änderung der BET Oberfläche. Die Abweichungen liegen unter der Messgenauigkeit des Messverfahrens.

Untersuchung des Filterkuchens und des gemahlten Kaolins

Durch die Hochdruckröhrenpresse wird der Filterkuchen stärker kompaktiert als bei den konventionellen Kammerfilterpressen. Bei der anschließenden Mahltrocknung werden die bei der Druckfiltration zusammengepressten Kaolinpartikel wieder voneinander getrennt (desagglomeriert).

Zur Desagglomeration wird eine Hammermühle mit nachgeschaltetem Stabwindsichter verwendet. Der Stabwindsichter hat die Aufgabe, grobe Kaolinagglomerate zurückzuhalten und wieder dem Mahlprozess zuzuführen. Die Untersuchungen sollen zeigen, inwieweit die Korngrößenverteilung und Beschaffenheit durch die Mahltrocknung beeinflusst wird.

	Filterkuchen			Pulverkaolin		
	D10 [μm]	D50 [μm]	D90 [μm]	D10 [μm]	D50 [μm]	D90 [μm]
Laserverfahren 04.05.2010	1,13	4,40	17,57	1,16	4,56	18,07
Zu/Abnahme				+ 2,7 %	+ 3,6 %	+ 2,8 %
Sedigraph 04.05.2010	< 0,20	1,06	8,89	0,22	1,15	9,15
Zu/Abnahme				-	+ 8,5 %	+ 2,9 %

Tabelle 2.11 Mahltrocknung, Korngrößenkennwerte

	Filterkuchen	Pulverkaolin
	spez. Oberfläche [m^2/g]	spez. Oberfläche [m^2/g]
04.05.2010	14,0	13,2
Zu/Abnahme		- 5,7 %

Tabelle 2.12: Mahltrocknung, BET Oberfläche

Die Messwerte zeigen eine geringe Streuung der Korngrößenkennwerte und der BET Oberfläche. Die Streuung liegt innerhalb der gerätebedingten Messabweichungen.

Zusammenfassung und Beurteilung der Messergebnisse

Aus anwendungstechnischer Sicht sind die geringen Veränderungen der Korngrößenkennwerte und der BET Oberfläche, die durch die unterschiedliche Entwässerungstechnik bewirkt werden, zu vernachlässigen. Auf Grund von natürlichen Rohstoffschwankungen sind, unabhängig vom Aufbereitungsverfahren, deutlich höhere Schwankungen bei den Kennwerten zu erwarten.

3 Fazit

In der bisherigen Phase des Vorhabens ist eine Pilotanlage errichtet worden, die es gestattet, erstmals in Deutschland Kaolinsuspensionen in größeren Mengen mittels Hochdruckröhrenpressen zu entwässern.

Es konnte aufgezeigt werden, dass die Anlagentechnik den geplanten Entwässerungsgrad und die Durchsatzleistung erreicht.

Die Erfahrungen aus dem bisherigen Anlagenbetrieb wurden dazu genutzt, die Anlagentechnik zu verbessern weiter zu optimieren. Dieser Prozess ist noch nicht abgeschlossen.

Als kritisch ist aus unserer Sicht der nicht ausreichend störungsfreie Betrieb der Anlage, insbesondere in der Anfangsphase zu betrachten. Im Rahmen des Probebetriebes konnten die meisten Störungsursachen beseitigt werden. Die Störanfälligkeit und den Wartungsaufwand werden wir im weiteren Betrieb nochmals eingehend überprüfen und bewerten.

Die Röhrenpressen reagieren wesentlich empfindlicher auf Schwankungen im Bereich der Rohstoffaufgabe als die konventionelle Technik. Für den weiteren Betrieb der Anlage haben wir Maßnahmen ergriffen und zum Teil schon umgesetzt, um diese Schwankungen zu vermeiden:

- Vorwärmung der Suspension durch Nutzung der Abwärme aus der Mahltrocknung
- Erhöhung des TS Gehaltes in der Suspension durch geänderte Betriebsweise der Sedimentationsbecken.

Die Anlagentechnik besitzt 4 Pressenmodule und ist für einen Durchsatz von 1000 kg / h dimensioniert. Die Versorgungsaggregate wurden mangels Erfahrungen überdimensioniert. Selbst unter diesen ungünstigen Bedingungen konnte gezeigt werden, dass der Energieverbrauch und die damit verbundenen Energiekosten im Vergleich zur konventionellen Technik deutlich gesenkt werden konnte.

Die Laboruntersuchungen an den Filterkuchen zeigen keine gravierenden Unterschiede bei den verschiedenen Produktionsweisen. Auch der Einfluss der Mahltrocknung auf die laborkennwerte kann vernachlässigt werden. Bei der Weiterverarbeitung des Kaolins sind damit keine anwendungstechnischen Unterschiede zu erwarten

Literaturverzeichnis

- [1] Kaolin and Plastic Clays - Europe, Brüssel (2010): *Kaolin (1996-2003) statistics*.
<http://www.ima-eu.org> (22.02.2010)
- [2] Metso Minerals Deutschland (2008): *Tube Press Reference List*
- [3] Berthold, C., Lühmann, J., Klein, R. & Nickel, (2000): *Partikelmesstechniken im Vergleich: Untersuchungen zur Korngrößenbestimmung toniger Rohstoffe*.
Ziegelindustrie International 53 (6). Seiten 38-45

Anlagen

- A1 Test Report vom 26.08.2003
- A2 Prüfbericht 0348-10-4032 vom 04.05.2010
Korngrößenanalysen mittels Laserverfahren und Sedigraph sowie spezifische Oberfläche nach BET, erstellt durch: Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe - Glas/Keramik - GmbH, Höhr-Grenzhausen
- A3 Prüfbericht 0528-10-1-4027 vom 11.06.2010
Korngrößenanalysen mittels Laserverfahren und Sedigraph sowie Bestimmung der spezifische Oberfläche nach BET, erstellt durch: Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe - Glas/Keramik - GmbH, Höhr-Grenzhausen