

Karl Heinz Pointhuber

Optimierung der Abscheidung von
Ammonsalpeter-Staub aus Trocknerabluft

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
der Studienrichtung Verfahrenstechnik

erreicht an der
Technischen Universität Graz

in Zusammenarbeit mit Lonza AG

Betreut von: Em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gernot STAUDINGER

Institut für Prozess und Partikeltechnik



Graz, März 2012

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben und mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Allen voran möchte ich Herrn Em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gernot Staudinger – vormals Vorstand des Instituts für Apparatebau, Mechanische Verfahrenstechnik und Feuerungstechnik – für die Betreuung meiner Diplomarbeit großen Dank aussprechen. Er hat mich in Visp vor Ort wie auch in der Endphase stets unterstützt und bestens beraten.

Die Firma Lonza hat mir die Möglichkeit geboten, Erfahrung und Wissen an einem Pilotprojekt zu erwerben und daraus meine Diplomarbeit zu erstellen. Ich möchte mich bei allen Mitarbeitern der Düngermittelbetriebe für die Mitarbeit und Unterstützung bei der Verwirklichung und Umsetzung meiner Diplomarbeit herzlich bedanken. Ohne ihr Fachwissen und ihre Mithilfe wären die Versuche und Testfahrten nicht durchführbar gewesen. Persönlichen Dank richte ich an den Produktionsleiter Basil Zuber, den Betriebsassistenten Markus Sewer und den Leiter des Chemikanten-Ausbildungslabors Erwin Venetz.

Bedanken möchte ich mich auch bei meiner guten Freundin DI Barbara Wyss für die Vorarbeit zu dieser Diplomarbeit und dafür, dass sie mir auf meinen Dienstwegen immer Unterkunft und moralische Unterstützung gewährte.

Meiner Lebenspartnerin Eva, die mir in der Endphase immerzu beigestanden ist und mir die Kraft gab das Studium zu einem guten Ende zu bringen, danke ich besonders für ihre Ausdauer, Geduld und Liebe.

Den meisten Dank verdienen meine Eltern, die mein Studium erst ermöglicht und mich in diesem langen Lebensabschnitt immer wieder in meinem Tun bestärkt und unterstützt haben.

Kurzfassung

Für die Firma Lonza AG wurde es aufgrund einer Herabsetzung der Grenzwerte für staubförmige Emissionen in der Abluft nötig, ein effektiveres Verfahren, als die bestehenden Zyklone, zur Abscheidung des Düngerstaubes aus der Trocknerabluft zu ermitteln.

Im Zuge einer vorangegangenen Diplomarbeit von Frau DI Barbara Wyss wurden mit einem Pilotschlauchfilter Versuche bezüglich Abreinigungsfrequenz der Filterschläuche und des Abreinigungsdruckes angestellt. Messungen im Reingasstrom nach dem Pilotfilter belegten, dass die gesetzlichen Richtlinien eingehalten werden können. Komplikationen ergaben sich in Form von Anbackungen und Brückenbildungen, bei der Förderung und dem Austrag des abgeschiedenen Staubes, sodass ein kontinuierlicher Betrieb des Filters nicht möglich war. Als Grund wurden die stark hygroskopischen Eigenschaften des Staubes vermutet.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung des Austrags- und Förderproblems.

In Laborversuchen wurden die hygroskopischen Eigenschaften und die Rieselfähigkeit des abzutrennenden Staubes untersucht. Es konnte nachgewiesen werden, dass ab einer relativen Luftfeuchte von 20% ein direkter Zusammenhang zwischen der Wasseraufnahme des Düngers und der Rieselfähigkeit besteht.

Durch Testfahrten mit dem Pilotfilter wurden Schwachstellen in der konstruktiven Ausführung der Austragsvorrichtung aufgezeigt und so angepasst, dass ein kontinuierlicher Betrieb ermöglicht wurde.

Mit den gewonnenen Erfahrungen im Produktionsprozess vor Ort werden Empfehlungen für die konstruktive Ausführung und die Prozessführung der Granulation gegeben.

Abstract

Due to a reduction of the limits for particulate emissions in the exhaust air, it was necessary for Lonza AG to find a more effective method for the separation of fertilizer-dust from the drier exhaust air than the existing cyclones.

In the course of an earlier diploma thesis experiments regarding cleaning frequency of the filter bags and the cleaning pressure were performed with a pilot bag filter. Measurements in the clean gas stream downstream the pilot filter showed that the statutory guidelines are met. Complications arose in the transport and discharge of the separated dust in the form of caking and bridging, so that continuous operation of the filter was not possible because of the hygroscopic characteristics of the dust.

This thesis investigates the discharge and transport problem of the separated dust.

In laboratory experiments, the hygroscopic properties and the flowability of the separated dust were examined. It was shown that a direct correlation between the absorption of water and the flowability exists.

By tests with the pilot filter flaws in construction were identified and eliminated, so that continuous operation became possible.

With the experience gained in the local production process, recommendations for the structural design and process control are given.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	7
1 Herstellung von Ammonsalpeter (AMS)	10
1.1 Verfahrensprinzip.....	10
1.2 Verfahrensbeschreibung.....	10
1.2.1 Ammoniumnitrat-Herstellung in Visp	11
1.2.2 Mahlanlage	12
1.2.3 Granulation	13
1.2.4 Trockenteil	13
1.3 Ausbeute und Anlagenleistung.....	14
1.4 Düngersorten.....	15
1.4.1 Einsatzstoffe	15
1.4.2 Produkte.....	20
2 Ausgangssituation	21
3 Hintergrund des Klebrigwerdens von AMS	23
3.1 Problemstellung und Ziel.....	23
3.2 Vorgehensweise	23
3.3 Analyse der Wetterdaten.....	24
3.4 Trocknungsgrad.....	24
3.5 Massenbilanz um den Trockenteil.....	25
3.5.1 Berechnungsdaten der Bilanz	26
3.5.2 Ergebnis.....	26
3.6 Befeuchtungstests	27
3.6.1 Versuchsaufbau	28
3.6.2 Funktionsweise der Befeuchtungsanlage	29
3.6.3 Verwendete Geräte	30
3.6.4 Messpunkte.....	31
3.6.5 Luftdurchsatz	31
3.6.6 Probenahme und -vorbereitung.....	32
3.6.7 Einfahren und stationärer Betriebszustand.....	32
3.6.8 Versuchsdurchführung	33
3.6.9 Auswertung	33
3.7 Rieseltest.....	35
3.7.1 Durchführung	35
3.7.2 Auswertung	35
3.8 Ergebnis und Diskussion.....	37
4 Testfahrten mit dem VersuchsfILTER	39
4.1 Aufbau und Funktionsweise der Versuchsanlage.....	40
4.1.1 Jet-Druckluft-Einzelfilter	41
4.1.2 Austragsvorrichtung	41
4.1.3 Beheizung und Isolierung.....	41
4.1.4 Mess- und Steuereinrichtungen.....	42
4.1.5 Ein- und Ausfahren	44
4.2 Testfahrten und Modifikationen.....	45
4.2.1 Anfänglicher Aufbau der Versuchsanlage.....	45
4.2.2 Testfahrt #1	46
4.2.3 Testfahrt #2.....	47
4.2.4 Testfahrt #3.....	48
4.2.5 Erste konstruktive Veränderung	48

4.2.6	Testfahrt #4	49
4.2.7	Testfahrt #5	50
4.2.8	Testfahrt #6	50
4.2.9	Resümee der Testfahrten #4, #5 und #6	51
4.2.10	Zweite konstruktive Veränderung	51
4.2.11	Testfahrt #7	52
4.2.12	Regeltechnische Veränderung	55
4.2.13	Testfahrt #8	56
4.2.14	Resümee der Testfahrten #7 und #8	57
4.2.15	Veränderung der Begleitheizung	58
4.2.16	Testfahrt #9	59
4.2.17	Testfahrt #10	61
4.2.18	Resümee der Testfahrten #9 und #10	61
4.2.19	Dritte konstruktive Veränderung	62
4.2.20	Testfahrt #11	62
4.3	Zusammenfassung der Testfahrten	64
5	Ergebnis	68
6	Schlussfolgerung und Empfehlung	69
6.1	Konstruktive Maßnahmen	69
6.2	Einfahren des AMS-Betriebes	69
6.3	Ausfahren des AMS-Betriebes	70
6.4	Geschätzter Reinigungsaufwand	70
6.5	Schlussbemerkung	70
	Abbildungsverzeichnis	71
	Tabellenverzeichnis	72
	Literaturverzeichnis	73
	Anhang.....	74

Einleitung

„Jeder Apparat kann einmal versagen; es macht mich nur nervös, solange ich nicht weiß, warum.“

[Max Frisch, Homo Faber]

Die Firma Lonza AG stellt im Werk Visp (CH) mit einer Anlage Ammonsalpeter (AMS), ein Gemenge von Ammoniumnitrat (AN) und einem inertisierenden Gesteinsmehl (Schiefer, Kalkstein oder Dolomit), her. Bei der Produktion dieses Stickstoffdüngers kommt es, vor allem beim Ein- und Ausfahren der Anlage, zu erheblichen sichtbaren Emissionen von Staub und in der Folge auch zu Beschwerden von Seiten der Bevölkerung. Die Luftreinhalteverordnung (LRV) des Schweizer Bundesrates vom 3. Juni 2003 ließ bei einem Massenstrom an Staub von 0,5 kg/h oder mehr, staubförmige Emissionen gesamthaft bis 50 mg/Nm³ Abluft zu. Dieser Grenzwert konnte bei einer stationären Produktion von AMS 27,5% knapp eingehalten werden. Dauerte das Einfahren jedoch mehrere Stunden, dann wurde der Grenzwert massiv überschritten. Bei der Produktion von AMS Mg 27% und AMS Mg S 25% wurde der Grenzwert sowohl beim Einfahren wie auch bei stationärer Produktion überschritten¹. „Von den 5 Abgasquellen des Betriebes – Schiefermühle, Reaktorenlüftung, Mischrührwerk, Warmzyklone und Kaltzyklone – emittieren die Warmzyklone über 90% der gas- oder dampfförmigen Ammoniumverbindungen und über 90% des Staubes.“[9] Tobler schreibt in seinem Forschungsbericht vom 29. Juli 2006, „dass die LRV-Grenzwerte beim Kamin nach den Warmzyklonen sowohl für Staub als für gas- und dampfförmige Ammoniumverbindungen und Ammoniak um ein Mehrfaches überschritten werden.“[9] Als geeignete Maßnahme wird der Einbau eines Strahlwäschers mit nachgeschalteter Waschkolonne zur Reinigung des Abluftstromes nach den Warmzyklonen vorgeschlagen.

Anfang 2007 wurde ein externes Institut (UCW Umwelt Controlling + Consulting Wälti) mit den Emissionsmessungen betraut. Das Ergebnis dieser Messungen brachte hervor, dass der LRV-Grenzwert bezüglich der Staubemissionen weit überschritten wurde. Die von Tobler gemessenen gas- und dampfförmigen Ammoniakemissionen jedoch auf einen Fehler bei der Probenahme zurückzuführen wären und somit LRV-konform sind. Der Einsatz eines Wäschers wurde nicht zuletzt deshalb überflüssig.

¹ Vgl. Tobler 2006, 5 [9]

Der Grund für die vermehrten staubförmigen Emissionen lag einerseits an der Umstellung von Vierschicht- auf Dreischichtbetrieb, wodurch die Anlage wöchentlich ein- und ausgefahren wurde, andererseits verstopften die metallenen Konen der Warmzyklone regelmäßig. Bei deren Reinigung konnte der zusätzlich anfallende Staub von den restlichen Zyklonen nicht mehr abgeschieden werden und es wurden weithin sichtbare Staubwolken aus dem Kamin ausgestoßen.

In Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Staudinger des Institutes für Apparatebau, Mechanische Verfahrenstechnik und Feuerungstechnik der Technischen Universität Graz wurden die Warmzyklone optimiert, um einen störungsfreien Betrieb gewährleisten zu können. Die Grenzwerte der Luftreinhalteverordnung von 2003 konnten nun knapp eingehalten werden. Interne Berechnungen belegen², dass die Zyklone einen sehr hohen Trenngrad aufweisen und eine weitere Optimierung zwar möglich wäre, aber aufgrund der Korngrößenverteilung des abzuscheidenden Staubes minimale Auswirkungen auf den Gesamtabscheidegrad hätte.

Am 4. Juli 2007 wurden die gesetzlichen Bestimmungen für staubförmige Emissionen in der Abluft nochmals verschärft. Die neuen Grenzwerte³ wurden wie folgt festgelegt: „Beträgt der Massenstrom an Staub 0,20 kg/h oder mehr, so dürfen die staubförmigen Emissionen gesamthaft 20 mg/m³ nicht überschreiten.“ [13] Es wurde somit nötig, ein effektiveres Verfahren zur Abscheidung des Staubes aus der Trocknerabluft zu ermitteln.

Schlauchfilteranlagen haben sich in der Großindustrie mehrfach bewährt. Jedoch variieren die Staubeigenschaften und Betriebsbedingungen selbst für Stäube, die chemisch unter derselben Bezeichnung bekannt sind, so dass die konstruktiven Voraussetzungen für jede Anlage separat erarbeitet werden müssen. Deshalb entschied man sich, einen Pilotfilter (Jet-Druckluft-Einzelfilter der Firma M.A.H.) anzuschaffen.

Im Zuge der Diplomarbeit von Frau Wyss wurden mit diesem Testfilter Versuche bezüglich Abreinigungsfrequenz der Filterschläuche und des Abreinigungsdrucks angestellt und in Hinsicht auf anfallende Investitions- und Betriebskosten optimiert. „Messungen im Reingasstrom nach dem Versuchsfiler zeigten, dass die Restemission weit unter den gesetzlichen Richtlinien liegt.“ (Wyss 2008, 3) [13] Komplikationen ergaben sich in Form von Anbackungen und Brückenbildungen, bei der Förderung und dem Austrag des abgeschiedenen Staubes, sodass ein kontinuierlicher Betrieb des

² Vgl. Tobler 2006, 5 [9]

³ Die Grenzwerte beziehen sich auf das Volumen des Abgases im Normzustand (0 ° C, 1013 mbar) nach Abzug des Feuchtegehaltes (trocken).

Filters nicht möglich war. Als Grund wurden die stark hygroskopischen Eigenschaften des Staubes vermutet.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung des Austrags- und Förderproblems. In Laborversuchen werden die hygroskopischen Eigenschaften und die Rieselfähigkeit des abzutrennenden Staubes untersucht. Durch Testfahrten mit dem Pilotfilter werden Schwachstellen in der konstruktiven Ausführung der Austragsvorrichtung aufgezeigt und so angepasst, dass ein kontinuierlicher Betrieb ermöglicht wird.

Mit den gewonnenen Erfahrungen im Produktionsprozess vor Ort werden Vorschläge für die Prozessführung, vor allem beim Ein- und Ausfahren, vorgestellt.

1 Herstellung von Ammonsalpeter (AMS)

1.1 Verfahrensprinzip

Flüssiges Ammoniak wird verdampft und im Umlaufreaktor mit Salpetersäure zur Reaktion gebracht. Das dabei entstehende Ammoniumnitrat wird im Vakuumverdampfer auf 94% aufkonzentriert und im „Laugentank“ zwischengelagert. Die bei der Reaktion anfallenden Brüden werden zu Heizzwecken (NH₃-Verdampfung, HNO₃-Vorwärmung, Produkttrocknung) genutzt. In der Mahlanlage wird das per Lastkraftwagen oder Bahnwaggon angelieferte Gestein gebrochen, fein gemahlen und über den Puffersilo dem Rührwerk zugeführt. Im Rührwerk wird das Ammoniumnitrat mit dem Gesteinsmehl vermengt. Von hier aus fließt die Laugen-Steinmehl-Suspension (Maische) in den Doppelwellen-Granulator, wo sie unter Zugabe von Umlaufmaterial zu einem kugelförmigen Granulat erstarrt. Der aus dem Granulator kommende feuchte Dünger wird in der Rotationstrockentrommel nachgranuliert und mit von den Brüden erwärmter Luft im Gleichstrom getrocknet. Der mit der Abluft anfallende Staub wird über die Warmzyklone abgeschieden und wieder der Produktion zugeführt. Die Warmluft wird über Dach ins Freie geleitet. Das Korngemisch aus der Trockentrommel wird in der Siebstation in vier Fraktionen aufgeteilt: Knollen, Überkorn, Gutkorn und Unterkorn. Die Knollen werden im Knollenbrecher, das Überkorn im Glattwalzwerk gebrochen. Das gebrochene Material kehrt zum Granulator zurück. Das heiße Gutkorn wird dem Wirbelbettkühler zugeführt. Als Kühlmittel dient Kaltluft, die bei der Verdampfung von Ammoniak gewonnen wird. Die Kühlluft wird über die Kaltzyklone vom Staub befreit und über Dach abgeleitet. Das gekühlte Granulat fällt in die Umhüllungstrommel, wo es mit einem Antibackmittel besprüht wird. Der fertige Dünger wird nun wahlweise über den Fertiggutsilo und Lastkraftwagen in periphere Lagerstätten oder direkt in die AMS-Lagerhalle befördert.

1.2 Verfahrensbeschreibung

Das Verfahren ist wie folgt gegliedert:

- Ammoniumnitrat-Herstellung
- Mahlanlage
- Granulation
- Trockenteil

1.2.1 Ammoniumnitrat-Herstellung in Visp

1.2.1.1 Rohstoffe und deren Vorbehandlung

1.2.1.1.1 Ammoniak

Ammoniak wird per Bahn oder vom werkseigenen NH_3 -Betrieb flüssig angeliefert und im Sammelbehälter *B184* gelagert. Zur Verdampfung wird es über den Luftkühler *W183* und über die Verdampfer *W185* und *W187* geleitet. Bevor es in den Reaktor gelangt, erfolgt im Wärmetauscher *W186* eine Nachverdampfung. Höchste Priorität bei den verwendeten Heizmedien hat die Luft, gefolgt von den Brüden und schließlich Dampf. Wasser, Öl und andere Verunreinigungen werden im Ausdampfbehälter *B188* abgeschieden und per Fahrbehälter zur werkseigenen Säureneutralisation gebracht.

1.2.1.1.2 Salpetersäure

Die Salpetersäure wird vom werksinternen HNO_3 -Betrieb 58-60%ig angeliefert und im Wärmetauscher *W244* erwärmt.

1.2.1.2 Neutralisationsreaktor A241

Ammoniak aus dem Laugenbehälter *B184* und Salpetersäure aus dem Wärmetauscher *W244* werden getrennt in die Reaktorschleife eingeleitet. Danach reagieren die Einsatzstoffe zu Ammoniumnitrat ab. „Die kochende Lösung steigt in den Ausdampfteil und verlässt den Reaktor als 92%ige AN-Lauge, während die Brüden zu verschiedenen Heizzwecken über den Tropfenabscheider *A241-1* abgeführt werden.“ (Kutschera 1992, 12) [5]

1.2.1.2.1 Dosierung der Edukte

Die Zudosierung von NH_3 erfolgt über ein Regelventil (konstante Menge, je nach gewünschter Produktionsleistung).

Die Dosierung von HNO_3 erfolgt über eine Verhältnisregelung $\text{NH}_3:\text{HNO}_3$ bis nahe an das Reaktionsgleichgewicht. Die fehlende Menge an Salpetersäure wird über den pH-Wert der kondensierten Brüden gemessen und dem Reaktor beigegeben.

1.2.1.2.2 Steuerung der Reaktortemperatur

Sie erfolgt über:

- die Rückführung kondensierter Brüden in den Reaktor
- die Einspeisung von kondensierten Brüden oder Wasser bei Temperaturüberschreitung ($> 165^{\circ}\text{C}$)
- das Öffnen des Dampfventils bei Temperaturunterschreitung ($< 145^{\circ}\text{C}$)

Es bestehen zwei Sicherungsvorkehrungen:

- automatische Unterbrechung der Reaktantenzufuhr
- automatische Flutung des Reaktors mit Wasser aus einem Stehtank

1.2.1.2.3 Reaktordruck

Der Reaktordruck wird automatisch über eine Klappe, welche die Brüden zur Kondensation im Rohrbündelwärmetauscher *W241-2* leitet, geregelt. Hier existiert zur Sicherung die Wassersperre *A241-2* ($p = 2365\text{mmWS}$).

1.2.1.2.4 Brüden

Mit den Brüden werden:

- die NH_3 -Verdampfer *W185*, *W187*
- der NH_3 -Wärmetauscher *W186*
- der HNO_3 -Vorwärmer *W244*
- und die Luftherhitzer *W323*, *W324*

beheizt.

Die überschüssigen Brüden werden kondensiert, im Tieftank gesammelt, in den Neutralisationsbehältern neutralisiert und anschließend der Abwasserreinigungsanlage zugeführt. Die Messung des pH-Wertes, sowohl im Tieftank wie im Kanal, wird laufend registriert.

1.2.1.2.5 Vakuumverdampfer

Im Vakuumverdampfer *W250* wird das flüssige Ammoniumnitrat aus dem Reaktor auf 94% aufkonzentriert und in den Laugentank *B211* eingeleitet. Die anfallenden Brüden werden im Einspritzkondensator *A252* abgeschieden.

1.2.2 Mahlanlage

„Das Gesteinsmaterial wird in stückiger Form per LKW oder Bahn angeliefert und in der Mahlanlage zu Gesteinsmehl verarbeitet.“ (Wyss 2007,20) [13]

1.2.3 Granulation

Im Rührwerk *R253* wird das zähflüssige Ammonnitrat mit dem Steinmehl vermengt. „Das Steinmehl wird nach dem Austrag aus dem Silo *B171* über [eine Schleuse] [...] in der Kippwaage *A173* verwogen [und] via Silo *B174* mit der Förderschnecke *F175* zum Rührwerk transportiert. Die AN-Lauge wird aus dem Lagertank [*B211*] zum Laugenbehälter *B250* gepumpt, im Messgefäß *B252* volumetrisch gemessen und im Takt mit der Steinmehlwaage ins Rührwerk entleert. Geregelt über eine Durchflussmessung fließt [sic] die Laugen-Steinmehl-Suspension (Maische) aus dem Rührwerk zum Doppelwellen-Granulator *R311*. Die Maische wird hier mit trockenem Umlaufmaterial vermischt und formt sich unter Erstarren und der Wirkung der rotierenden Mischelemente zu kugelförmigem Granulat.“ (Kutschera 1992, 14) [5]

1.2.4 Trockenteil

„Das Feuchtgranulat fällt aus dem Granulator in die Trockentrommel [*210-*] *A321*. [...] [Der Luftdurchsatz erfolgt durch einen Abgasventilator. Die Luftmenge wird mit einer Handklappe beim Abgasventilator gesteuert.]

Der Abgasventilator entstaubt gleichzeitig den Granulator *R311*, die Siebstation [*210-*] *A335* und das Glattwalzwerk [...]. Die Trocknungsluft wird in Luftheritzern [...] [auf 83° C] erwärmt und passiert die Trommel im Gleichstrom mit dem Trocknungsgut. In den vier Warmzyklonen [*210-*] *A324–A327* wird der mitgerissene Staub abgeschieden und [...] [wieder der Granulation] zurückgeführt.

[Der fünfte Warmzyklon *A323* ist seit 1998 aufgrund von Messungen der Strömungsgeschwindigkeit und Rücksprache mit dem Zyklonhersteller ausser [sic] Betrieb und abgeblindet. Der hinter den Warmzyklonen gelegene [Abluftventilator] erzeugt einen [Volumenstrom] von ca. 37.000 m³/h durch Luftvorwärmer, Trockentrommel, Warmzyklone und Abluftkamin.] Die gereinigte Luft wird über Dach geleitet.

Das Trockengut wird am Trommelaustritt durch [...] [Förderbänder] aufgenommen und [...] [gelangt nach dem Passieren einer Bandwaage zum Warmgutelevator]. [...] [Dieser] übergibt das Transportgut der Schwingförderrinne, die dieses zur Siebstation [*210-*] *A335* leitet. Das Korngemisch wird hier in 4 Fraktionen zerlegt, Knollen, Überkorn, Gutkorn und Unterkorn. Die Knollen werden in [...] [einem] Knollenbrecher, das Überkorn in [...] [einem] Glattwalzwerk [...] gebrochen. Das gebrochene Material [und das Unterkorn] kehren zum Granulator zurück. Die Gutkornfraktion wird gegebenenfalls partiell dem Glattwalzwerk, hauptsächlich aber via Doppelpendelschleuse [...], dem Wirbelbettkühler [*210-*] *A341* zugeführt.

[Im Wirbelbettkühler dient Kaltluft, die im NH_3 -Verdampfer [...] gewonnen wird, als Kühlmittel. Die Kühlluft wird in den [Kalt-]Zyklonen [210-] A343–A347 vom Staub befreit und durch den Abluftventilator überdach [sic] geleitet. Der [in den Kaltzyklonen] abgeschiedene Staub gelangt mittels [...] Förderband [...] zum Granulator zurück.

Das gekühlte Granulat fällt aus dem Wirbelbettkühler via Doppelpendelschleuse [...] in die Umhüllungstrommel [210-] A371, worin es mit einem „Antibackmittel“ besprüht wird. Das Antibackmittel wird im beheizten Vorratstank [210-B393] gelagert und mittels Dosierpumpe [...] und einer Sprühdüse appliziert.

Das nun fertige Produkt gelangt von einem Elevator zu einem Förderband, welches mit einer Bandwaage zur Messung der Produktionsmenge versehen ist. Danach wird die Ware direkt ab Silo A12 per Bahn oder LKW verschickt.“ (Kutschera [5] zitiert nach Wyss 2007, 21) [13]

1.3 Ausbeute und Anlagenleistung

Die Ausbeute an HNO_3 und NH_3 ist fast vollständig. Verluste von Ammoniak im Reaktor oder im Rührwerk können vernachlässigt werden.

Die Anlagenleistung beträgt für den Reaktor 480 t/d und für den Trockenteil 450 t/d.⁴

⁴ Vgl. Kutschera 1992, 3 [5]

1.4 Düngersorten

1.4.1 Einsatzstoffe

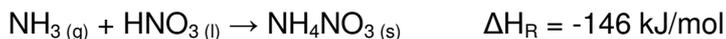
1.4.1.1 Ammoniumnitrat

Ammoniumnitrat, NH_4NO_3 (CAS 6484-52-2), ist ein bedeutendes chemisches Produkt. In der Literatur kommen auch die Bezeichnungen Ammonsalpeter, Ammoniakalpeter, brennbarer Salpeter, salpetersaures Ammonium, Ammonnitrat wie auch Ammonium nitricum vor.

In den meisten Fällen wird Ammoniumnitrat durch Neutralisation von Ammoniak (NH_3) mit Salpetersäure (HNO_3) hergestellt und ist Hauptbestandteil vieler Düngemittel. Ein geringerer Anteil wird zur Herstellung von handhabungssicheren Sprengstoffen für den Bergbau verwendet.

Physikalische und chemische Eigenschaften

Ammoniumnitrat ist ein transparentes Salz mit einem Molekulargewicht von 80,05 g/mol und einer Dichte von 1,725 g/cm³ bei 20 °C. Die spezifische Wärmekapazität zwischen 0 °C und 31 °C beträgt 1700 J/kg/K. Der Schmelzpunkt liegt bei 196,6 °C–170 °C. Die Herstellung von Ammonnitrat aus Ammoniak und Salpetersäure ist hoch exotherm:



Das Salz kommt in fünf verschiedenen Modifikationen vor

Tabelle 1-1: Modifikationen des Kristallgitters von Ammoniumnitrat

Modifikation	Temperaturbereich		Gitterstruktur
	von	bis	
V	< -16,9 °C	-16,9 °C	tetragonal
IV	-16,9 °C	32,3 °C	orthorombisch
III	32,3 °C	84,2 °C	orthorombisch
II	84,2 °C	125,2 °C	tetragonal
I	125,2 °C	169,6 °C	kubisch

Vor allem die Umwandlung von III auf IV spielt bei der Herstellung und Lagerung von Ammonsalpeter eine wesentliche Rolle. Bei einer schnellen Transformation verliert das fertige Granulat aufgrund der unterschiedlichen Dichten an Zusammenhalt und zerfällt.

Ammonnitrat ist sehr gut in Wasser löslich und stark hygroskopisch. Deshalb ist auch Feuchtigkeit bei der Handhabung und Lagerung zu vermeiden. Beim Lösen der

Kristalle in Wasser kühlt die Lösung stark ab. Die mittlere Lösungswärme beträgt +16.75 kJ/mol, bei 18 °C. Muss zum Lösen viel Energie aufgebracht werden, steigt die Löslichkeit mit der Temperatur stark an (Tabelle 1-2).

Tabelle 1-2: Wasserlöslichkeit von Ammoniumnitrat⁵

Temperatur [°C]	0	20	40	60	80	100
Konzentration [g/l]	1185	1877	2830	4150	6100	10000

Stabilität und Reaktivität

Ammonnitrat ist unter Normbedingungen stabil. Bei einer Temperaturerhöhung durchläuft es jedoch folgende Zersetzungsreaktionen:

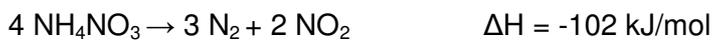
Endotherme Dissoziation bei einer Temperatur über 169 °C



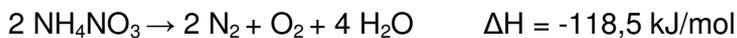
Exothermer Zerfall zu Lachgas und Wasser bei vorsichtigem Erhitzen bis 200 °C.



Exothermer Zerfall zu N₂ und NO₂ bei einer Temperatur über 230 °C



Exothermer Zerfall zu Stickstoff und Sauerstoff, begleitet von einer Explosion



Sicherheit

Gemische mit organischen und brennbaren Substanzen sind explosionsfähig. Ihr Einsatz ist durch das Sprengstoffgesetz und die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 511) geregelt.

Auch die gemeinsame Lagerung mit entzündlichen und leicht entzündlichen Stoffen sowie der Schutz vor Verunreinigung ist durch die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 511, Abschnitt 6.1.2) vorgegeben.

Ammoniumnitrat gilt nur in sehr reiner Form als brandfördernder Gefahrstoff. Das Gefahrgutrecht setzt die Grenze zwischen den der Gefahrklasse 5.1 und damit „entzündend“ (oxidierend) wirkenden, und den der Gefahrklasse 1 „Explosivstoffe“ zugeordneten Qualitäten bei 0,2 % Anteilen an brennbaren Stoffen.⁶

⁵ GESTIS-Stoffdatenbank des BGIA. <<http://www.dguv.de/bgia/stoffdatenbank>>, 02.November 2009

⁶ Auszug aus dem Stoffmerkblatt „Ammoniumnitrat A – 064“ der MGA

Ammoniumnitrat in reiner Form stellt beim gewerblichen Umgang keine Gesundheitsgefahr dar. Wird aus Versehen eine größere Menge der Lösung verschluckt, so erfolgt die Resorption rasch über die betroffenen Schleimhäute im Mund, Magen und Darm. Dies führt dann, sofern keine rasche Entfernung erfolgt, zu Schwindelgefühl, Kopfschmerzen, Übelkeit, Erbrechen, gastrointestinalen Beschwerden und Durchfällen. Besteht im Körper die Möglichkeit der Umwandlung eines Teiles durch Bakterien in Ammoniumnitrit, so bildet sich Methämoglobin und die daraus resultierenden Folgeerscheinungen. Gefährlich sind auch die bei Bränden entstehenden nitrosen Gase, bei deren Inhalation nach einer mitunter bis zu 20stündigen Latenz mit einem Lungenödem gerechnet werden muss. Staub in den Augen erzeugt vorübergehende Reizerscheinungen.⁶

1.4.1.2 Inerte Substanzen

Sämtliche Angaben sind der „Betriebsvorschrift Neu“ [5] entnommen.

1.4.1.2.1 Schiefer-Gestein

Lieferant:	Fa. Theler AG, Raron	
Spezifikation:	Naturgestein aus Steinbruch, teilweise hoher Quarz-Anteil, dient als Streckmittel bei der AMS 27,5% und Bor-AMS Herstellung	
Durchschnittsanalyse:	Al ₂ O ₃ :	1,9%
	SiO ₂ :	50%
	Fe ₂ O ₃ :	6,6%
	CaO:	3,9%
	MgO:	1,2%
	Quarz:	30-35%

1.4.1.2.2 Kalkstein

Lieferant:	Fa. Imboden, Visp
Spezifikation:	Naturstein aus Steinbruch
Calciumcarbonat-Gehalt:	min. 80%

1.4.1.2.3 Kieserit

Lieferant:	Kali AG, Bern	
Spezifikation:	fast weißes Salz	
Gehalt:	min. 27% MgO	
Durchschnittsanalyse:	MgSO ₄ :	82,2%
	MgCl ₂ :	0,6%
	KCl:	1,0%
	K ₂ SO ₄ :	1,1%
	NaCl:	0,7%
	CaSO ₄ :	1,6%
	H ₂ O:	12,7% (chem. gebunden)
Schüttdichte:	ca. 1,4 g / cm	

1.4.1.2.4 Dolomit

Lieferant:	Granulati Zandobbio Trescore Balneario	
Spezifikation:	Naturstein aus Steinbruch	
Durchschnittsanalyse:	CaO:	31,3 ± 0,3%
	MgO:	20,7 ± 0,3%
	SiO ₂ :	0,26 ± 0,3%

1.4.1.2.5 Borax (Borax Pentahydrat)

Lieferant:	Etimine Darmstadt	
Spezifikation:	Na ₂ B ₄ O ₇ · 5H ₂ O:	99,2%
	als B ₂ O ₃ :	47,4%
	als Na ₂ O:	21,1%
	Wasserunlöslich:	< 0,1%
Lieferform:	50 kg-Säcke auf Paletten	

1.4.1.2.6 Colemanit "A", arsenfrei

Lieferant:	Etimine Darmstadt
Spezifikation:	B ₂ O ₃ : 40,0% 2CaO · 3B ₂ O · 5H ₂ O
Lieferform:	50 kg-Säcke auf Paletten

1.4.1.3 Hilfsstoff „Galoryl ATH 626“

„Galoryl“ dient als Antibackmittel für den fertigen Dünger.

Lieferant:	CFPI Frankreich
Zusammensetzung:	Komplex von Alkylarylsulfonaten, gelöst in Öl
Dichte:	0,85 g/cm ³
Tropfpunkt:	57 °C
Aussehen:	bei 80 °C: gelb-orange Flüssigkeit
pH:	5,5 ± 1 (5%ige Dispersion in Wasser)
Lieferform:	Isolierter Straßentankwagen bei mindestens 60 °C

1.4.2 Produkte

Im Werk Visp werden je nach Bedarf und Verwendungszweck verschiedene Düngersorten hergestellt. Die Rezepturen der unterschiedlichen Düngersorten sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 1-3: Verschiedene Düngersorten und deren Rezepte⁷

		AMS 27,5%	AMS Bor	AMS Kalk	AMS Mg 27%	AMS Mg 25%+ S
Ammonsalpeter	kg/t	787,5	787,4	659	774	649
Schiefer	kg/t	211,5	166			
Kalksteine	kg/t			340		
Colemanit	kg/t		21,6			
Borax	kg/t		24			
Dolomit	kg/t				225	
Kieserit	kg/t					280
Ammonsulfat	kg/t					70
Galoryl	kg/t	1	1	1	1	1
Gehalt N ₂	kg/t	27,5 ± 0,5%	27,5 ± 0,5%	23,0 ± 0,5%	27,0 ± 0,5%	25,0 ± 0,5%

⁷ Mit freundlicher Genehmigung von Barbara Wyss. [13]

2 Ausgangssituation

Um die Möglichkeit der filternden Abscheidung des Staubes mit einem Schlauchfilter zu untersuchen, wurde im Sommer 2007 ein Jet-Druckluft-Einzelfilter angeschafft (Abbildung 2-1). Im Zuge der Diplomarbeit von Barbara Wyss wurden im stationären Betrieb der Anlage in mehreren Versuchsreihen die Frequenz der Abreinigung der Filterschläuche und der Abreinigungsdruck optimiert, um Investitions- und Betriebskosten zu minimieren. Staubmessungen im Reingasstrom nach dem Filter ergaben, dass die Restemission weit unter den gesetzlichen Richtlinien liegt und das Polypropylen-Filtermaterial „needlona® PP/PP 501“ für diesen Anwendungsfall sehr gut geeignet ist.

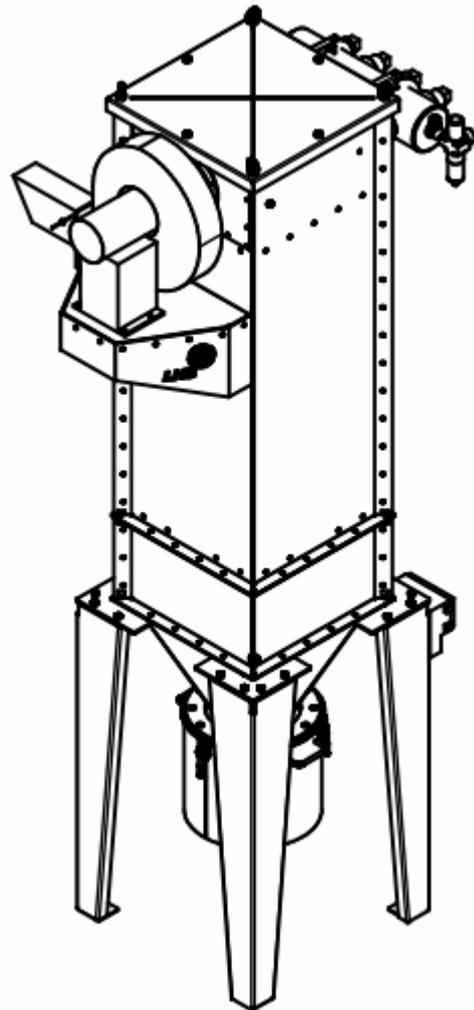


Abbildung 2-1: JDE-T 0404-1125-100-SV

Ab einer Betriebsdauer von 30 Minuten konnte der Aufbau eines sehr porösen und fest verbackenen Filterkuchens beobachtet werden. (Der Filterdifferenzdruck stieg trotz des Aufbaus dieses Filterkuchens nur geringfügig an.) Der Kuchen war durch den Abreinigungsimpuls nur noch schwer beziehungsweise gar nicht mehr abzureinigen. Bei längerer Betriebsdauer bildete sich zwischen den einzelnen Filterschläuchen eine stabile Feststoffbrücke. Um dieses Problem in den Griff zu bekommen, entschloss man sich die Filterfläche zu halbieren und somit den Abstand zwischen den einzelnen Filterschläuchen zu erweitern. Durch die Halbierung der Filterfläche stieg der maximale Differenzdruck von zuvor 1 mbar auf 3 mbar an. Der Hersteller gab den optimalen Filterdifferenzdruck mit 5-12 mbar an.

Probleme beim Betrieb ergaben sich unter den Schläuchen durch die Klebrigkeit von AMS in Form von Anbackungen im Trichterraum und im Bereich der Austragsöffnung. Auch die Bildung von stabilen Brücken oberhalb des Schiebers konnte beobachtet werden. Die Anbackungen bildeten sich verstärkt, wenn kalte feuchte Umgebungsluft in

3 Hintergrund des Klebrigwerdens von AMS

3.1 Problemstellung und Ziel

Wie schon in Abschnitt 1.4.1.1 erwähnt, ist Ammoniumnitrat stark hygroskopisch. Als hygroskopisch bezeichnet man Stoffe, welche die Eigenschaft haben, Wasser in Form von Wasserdampf aus der feuchten Umgebungsluft aufzunehmen. Die Menge an aufgenommenem Wasser wird von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte, beziehungsweise der Beladung der Luft mit Wasser, bestimmt. Zudem neigen feuchte feinkörnige Schüttgüter dazu, an Wänden anzubacken. Jedoch liegen keine Forschungsergebnisse zur Anwendung mit Ammonnitrat-Düngerstaub vor. Es ist denkbar, dass eine Beziehung zwischen dem Wassergehalt des Stoffes und seiner Rieselfähigkeit, also seiner Neigung zum Verbacken, besteht.

„Ein weiterer zu erforschender Punkt ist der Taupunkt des Abgases. Da die Abluft eine große Menge Feuchtigkeit transportiert, könnte ein Temperatur- oder Druckabfall zur Ausscheidung von Kondensat führen, welches in Verbindung mit Ammonnitrat eine aggressive Mischung ergibt, die die Metallteile der Anlage angreift.“
Wyss (2008:11) [13]

Ziel der Untersuchung war es, den Zusammenhang zwischen dem Zustand der feuchten Luft und dem Wassergehalt des Stoffes sowie die daraus resultierende Rieselfähigkeit des Staubes grafisch darzustellen. Somit können Aussagen über die erforderliche minimale Heiztemperatur bei welcher der Dünger am wenigsten zum Verbacken neigt, getroffen werden.

3.2 Vorgehensweise

Die Funktion des Filters besteht darin, die Abluft der Trockentrommel zu entstauben. Bei der thermischen Trocknung eines Gutes wird die Flüssigkeit durch Verdunsten, Verdampfen beziehungsweise Sublimieren aus dem Gut entfernt. Der entstehende Dampf strömt mit dem Trocknungsgas aus dem Trockner und weiter zu der Filteranlage.

Um die Mengen und Quellen des in die Abluft eingebrachten Wassers zu identifizieren, wurden die Wetterdaten der Jahre 2008 und 2009 einer Analyse unterzogen, Probenahmen vor und nach der Trockentrommel zur Bestimmung des Trocknungsgrades ausgewertet und schließlich eine Wasser-Massenbilanz um den Trockner erstellt. Anhand dieser Daten wurden die Wasserbeladungsgrenzen der Luft

für die Befeuchtungs- und Rieseltests festgelegt. Danach wurden die Testreihen statistisch aufbereitet und in Form von erweiterten Mollier-h-x-Diagrammen dargestellt.

3.3 Analyse der Wetterdaten

Als Berechnungsgrundlage dienen die Wetterdaten der werksinternen „Meteodaten Station E44“. Alle zwei Minuten werden der *Luftdruck*, die *relative Luftfeuchte* und die *Temperatur* aufgezeichnet. Untersucht wurden insgesamt 13.007 Datensätze beginnend vom 01. Jänner 2008 bis zum 15. September 2009. Zur Analyse zog man die zu jeder vollen Stunde aufgezeichneten Werte heran. Nicht eingebunden in die Analyse sind Temperaturwerte unter 0 °C. In Tabelle 3-1 sind die Maximalwerte der Beladung dargestellt.

Tabelle 3-1: Maximalwerte der Beladung von Umgebungsluft in Visp

Datum/Uhrzeit	Temperatur [°C]	relative Luftfeuchte [%]	Beladung der Luft [g _{H2O} /kg _{tr. Luft}]
25.06.2008/20:00	25,35	98,40	21,8
21.08.2009/00:00	22,89	76,06	14,2

Der Wert vom 25. Juni 2008 stellt einen Ausreißer im statistischen Sinne dar. Die übrigen Werte liegen allesamt unter dem Maximalwert von 14,2 [g_{H2O}/kg_{tr. Luft}]. Der Temperaturverlauf um den Ausreißer lässt auf ein kurzes Sommergewitter schließen. Da solche Umstände während der laufenden Produktion nicht auszuschließen sind, wird dieser Wert für die weiteren Betrachtungen herangezogen.

3.4 Trocknungsgrad

Zur Ermittlung der Wasserabgabe während der Trocknung und des Trocknungsgrades wurden mehrere Proben vor und nach der Trockentrommel entnommen. Als Probengefäße dienten zwei luftdicht verschließbare Glasgefäße mit einem Volumen von je 250 [ml]. Es wurde Wert darauf gelegt, dass die Probe nach der Entnahme so schnell wie möglich eingewogen wurde, um einer Verfälschung der Messdaten entgegenzuwirken.

Zur Probenanalyse wurde aufgrund der leichten Verfügbarkeit die Trockenschrankmethode⁸ gewählt. Bei dieser Methode handelt es sich um eine zerstörerische, nicht selektive Methode. Die ermittelte Materialfeuchte umfasst alle Bestandteile einer Substanz, die bei ihrer Erwärmung zu einem Gewichtsverlust geführt haben.

⁸ Nagel, Horst: Thermogravimetrische Feuchtebestimmung, ISBN 3-478-93272-6

Wie in Tabelle 3-2 ersichtlich, gelangen die Düngerkörner bereits mit einem sehr hohen Trockengehalt in die Trockentrommel. Bei einer durchschnittlichen Düngerproduktion von 15,7 [t/h] werden 121 [kg/h] Wasser an die Trocknungsluft abgegeben. Die Wasserfracht in der Abluft beträgt im Vergleich dazu durchschnittlich 1.517 [kg/h].

Tabelle 3-2: Trockengehalt des Düngers

Datum [dd.mm.jj]	Produktion [t/h]	Eingang		Ausgang		Differenz
		TG [%]	Beladung X [g _{H2O} /kg _{tr.Prod.}]	TG [%]	Beladung X [g _{H2O} /kg _{tr.Prod.}]	ΔX [g _{H2O} /kg _{tr.Prod.}]
15.09.09	15	98,03%	20,08	98,89%	11,27	8,82
17.11.09	17	98,66%	13,57	99,35%	6,58	6,99
18.11.09	15,2	98,00%	20,43	98,74%	12,80	7,64

In der Trockentrommel findet also nur eine geringe Trocknung statt. Vielmehr dient sie der Verfestigung und durch die Drehbewegung der Formgebung des Kornes.

3.5 Massenbilanz um den Trockenteil

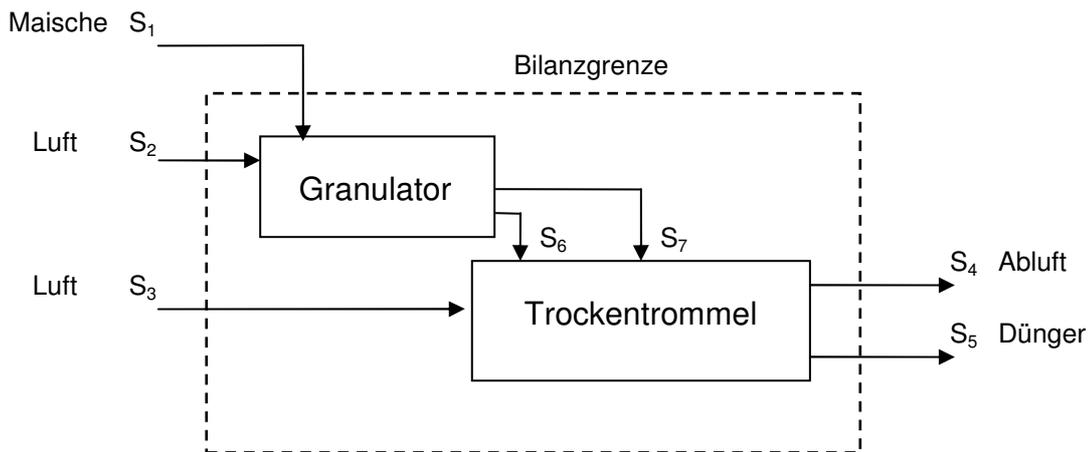


Abbildung 3-1: Bilanzierungsfließbild um den Trockenteil

Die flüssige Maische (S1) wird in den Granulator eingebracht und formt sich unter Erstarren und der Wirkung der rotierenden Mischelemente zu kugelförmigem Granulat, welches dann in die Trockentrommel fällt (S6). Die Trocknungsluft (S3) wird durch ein Heizregister von der Umgebung angesaugt und verlässt die Trockentrommel (S4), angereichert mit Wasserdampf und Düngerstaub, in Richtung Warmzyklone. Das trockene Granulat (S5) fällt aus der Trockentrommel und wird der weiteren Verarbeitung zugeführt. Aufgrund der direkten Verbindung (S7) von Granulator und Trockentrommel wird zusätzliche Umgebungsluft (S2) in den Granulator eingesaugt. Nach dem Massenerhaltungsgesetz muss die Summe der ein- und austretenden Ströme, nachdem keine Speicherung im System erfolgt, gleich null sein.

$$\sum \dot{m}_w = \dot{m}_{w,e} - \dot{m}_{w,a} = 0$$

3.5.1 Berechnungsdaten der Bilanz

Die Betrachtung bezieht sich ausschließlich auf die am häufigsten produzierte Düngersorte AMS 27,5%. Die Beladung des Staubes wurde im Folgenden nicht berücksichtigt, da diese bezüglich der Bilanz verschwindend gering ist.

Gleichzeitig mit den Probenahmen für den Trocknungsgrad wurden die Stoffwerte der Frisch- und Abluft sowie die verfügbaren Volumen- und Massenströme protokolliert. Die zusätzliche Annahme $S2 + S3 = S4$ (bezogen auf die trockene Luft) schränkt den Freiheitsgrad auf 0 ein und macht die Bilanz lösbar. Die für die Berechnung benötigten Angaben sind in Tabelle 3-3 zusammengefasst. Die Dichte der Luft im Normzustand wurde mit $\rho_L = 1,29 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ angenommen.

Tabelle 3-3: Angaben für die Bilanz

Datum der Probenahme		07.09.09	15.09.09	17.09.09	18.09.09
S2 + S3	[Nm ³ /h]	35.000	35.000	35.000	35.000
	Temperatur [°C]	21,1	18,7	19,7	23,9
	r.F. [%]	30,8	38,9	58,7	34,2
	p _u [mbar]	950	943	943	970
S4	[Nm ³ /h]	35.000	35.000	35.000	35.000
	Temperatur [°C]	68,2	69,7	71,5	71,3
	r.F. [%]	12,8	14,7	15,7	14,8
	p _u [mbar]	950	943	943	970
S5	[t/h]	16	15	17	15,2
	Beladung [g _{H2O} /kg _{tr.Prod.}]	5,8	11,3	6,6	12,8

3.5.2 Ergebnis

Mittels der Gleichung $S1 = S4 - (S2 + S3) + S5$ lässt sich das in der Maische enthaltene Wasser berechnen (Tabelle 3-4). Der Großteil des eingebrachten Wassers stammt also von der Maische selbst (Abbildung 3-2).

Tabelle 3-4: Wasserfrachten in den einzelnen Stoffströmen

Datum, Uhrzeit [dd.mm.jj/hh:mm]	Dünger (S5)	Abluft (S4)	Frischlufte (S2+S3)	Maische (S1)	Granalien (S6)	Dampf (S7)
	m _{H2O} [kg/h]					
15.09.09/14:50	168	1416	252	1332	301	1031
17.11.09/15:15	112	1647	407	1352	231	1121
18.11.09/16:20	194	1489	297	1386	311	1075
arithm. Mittel (ger.)	158	1517	319	1357	281	1076

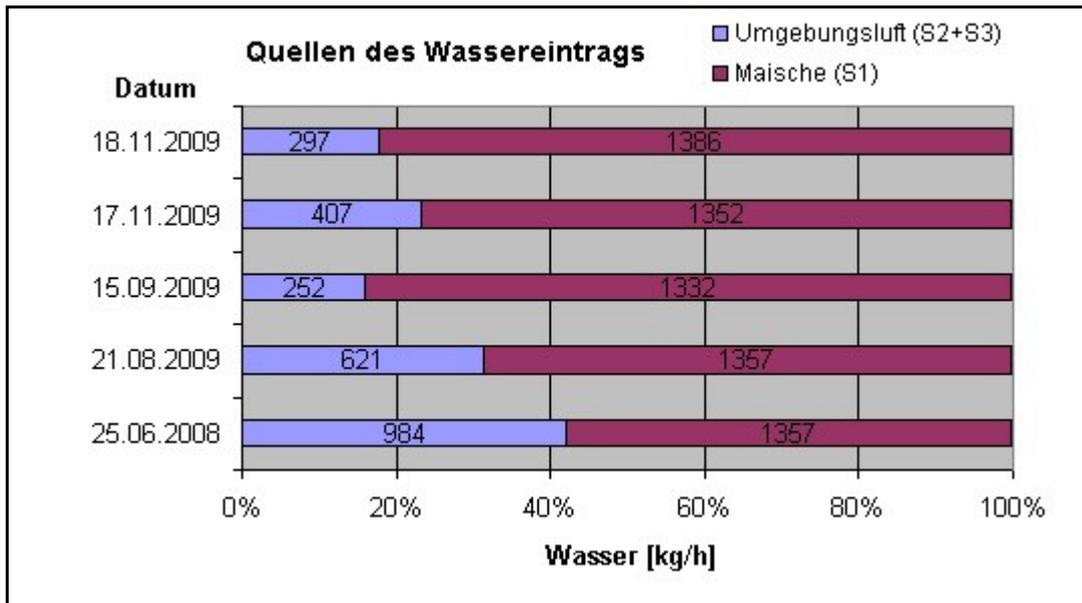


Abbildung 3-2: Quellen des Wassereintrags

Durchschnittlich werden von den insgesamt 1.675 [kg/h] Wasser, 319 [kg/h] über die Trocknungsluft eingebracht, was einem Anteil von 19% entspricht. Die Werte vom 25.06.2008 und vom 21.08.2009 wurden unter der Annahme gleicher Zusammensetzung der Maische und den Extremen der Wetterdaten (siehe 3.3) gebildet. Demnach können die Umgebungsbedingungen einen Einfluss von bis zu 42% auf die Wasserfracht der zu filternden Abluft haben.

Weiters ergaben die Berechnungen, dass der Großteil des in der Maische enthaltenen Wassers nicht in der Trockentrommel, sondern bei der Granulation freigesetzt wird. Durch die direkte Verbindung (S7) des Granulators mit der Trockentrommel wird der Wasserdampf in das System eingebracht. Eine sinnvolle Herabsenkung der Abluftfeuchte könnte nur hier passieren.

3.6 Befeuchtungstests

Der erste Ansatz den Düngerstaub hinsichtlich seiner Neigung Wasser aus der Umgebungsluft aufzunehmen war, den Boden einer Petrischale etwa zwei Millimeter hoch mit „AMS + Kalk“ zu bedecken und diese bei Atmosphärenbedingungen zu beobachten. Der zuvor pulverförmige Staub erschien nach einer Verweilzeit von 2 Stunden dunkler und etwas körnig. Beim Bearbeiten mit einem Laborspatel klumpt das Pulver und klebte zusammen (Abbildung 3-3). Durch Abwiegen der Probe vor und nach der verstrichenen Zeit konnten die Auswirkungen der Lagerung bei einer Temperatur von 25 °C und einer relativen

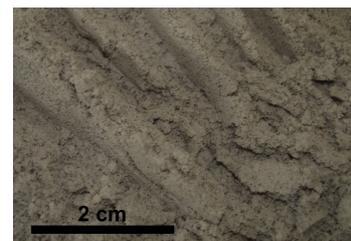


Abbildung 3-3: Probe nach der Lagerung bei 20 °C und 40% rF

Luftfeuchte von 40% auch messtechnisch nachgewiesen werden. Die Probe nahm 1% ihres ursprünglichen Gewichts zu.

Bei den weiteren Befeuchtungstests sollen die Zusammenhänge zwischen verschiedenen konstanten Feuchtebedingungen und der Probenfeuchte aufgezeigt werden. „Eine definierte Probenfeuchte kann statisch durch die Lagerung unter vorgegebenen und konstanten Feuchtebedingungen (...) oder dynamisch mittels eines befeuchteten Gasstromes konstanter und genau bekannter relativer Feuchte erzeugt werden.“ (DIN 66138:2008-09, 6) [11] Mit der in Abschnitt 3.6.1 näher beschriebenen Befeuchtungsanlage konnten die erforderlichen konstanten atmosphärischen Bedingungen geschaffen werden.

3.6.1 Versuchsaufbau

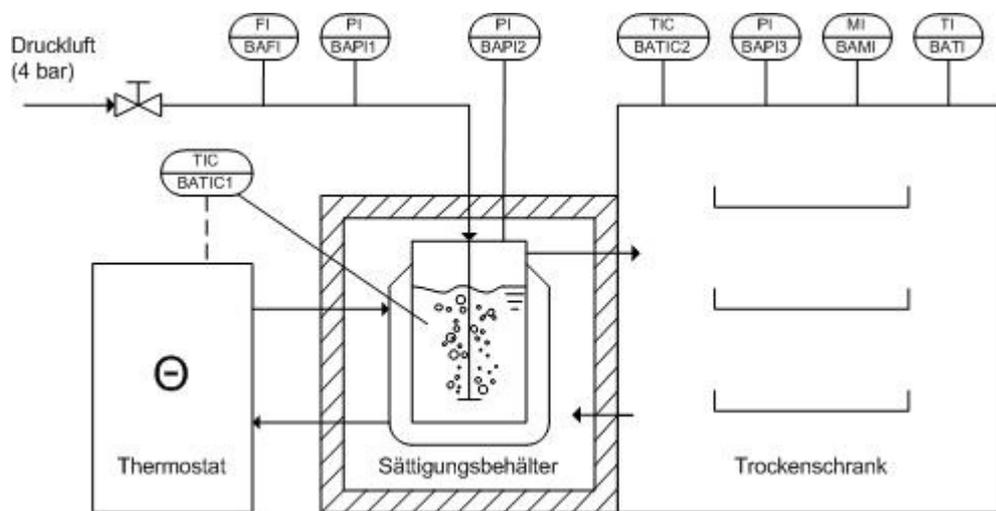


Abbildung 3-4: Versuchsaufbau Befeuchtungsanlage

Trockene, ölfreie Instrumentenluft ($p = 4 \text{ bar}$) strömt über ein Regelventil durch das Rotameter (BAFI) in den mit entionisiertem Wasser gefüllten Sättigungsbehälter. Mithilfe einer Glasfritte werden kleine Luftbläschen gebildet, welche beim Aufsteigen einen Stoff- und Temperaturübergang erfahren. Die nun gesättigte feuchte Luft strömt weiter in den Trockenofen. Hier wird die Luft nochmals aufgeheizt, bis die gewünschte Temperatur erreicht ist.

Die aus dem Trockenofen ausströmende Luft wird zurück in eine Isolationshaube geführt (Abbildung 3-5). Dadurch wird der Kopf des Sättigungsbehälters sowie die Zuleitung zum Trockenofen beheizt, um Kondensation am Kopf des Sättigungsbehälters zu vermeiden. Der Sättigungsbehälter ist als doppelwandiger Rührbehälter ausgeführt, welcher mittels Thermostat auf konstanter Temperatur gehalten wird. Die Temperatur zur Regelung des Thermostat wird direkt im Wasser, in welches die Glasfritte eintaucht, abgenommen.

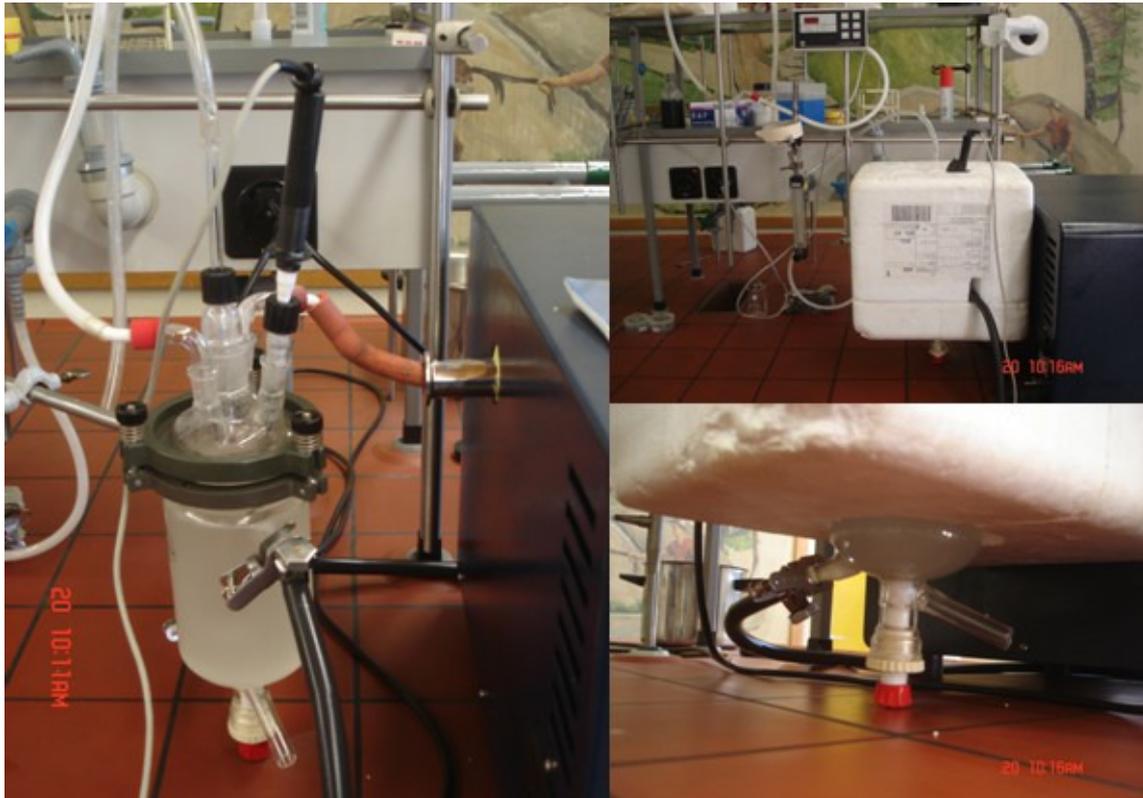


Abbildung 3-5: Sättigungsbehälter mit Messinstrumenten (links) und Isolationshaube (rechts)

3.6.2 Funktionsweise der Befeuchtungsanlage

Die annähernd trockene Instrumentenluft (1) wird durch die Glasfritte in den Sättigungsbehälter eingebracht. Über die Temperatur des Wassers (BAT1C1) im Sättigungsbehälter lässt sich die absolute Feuchte der Luft einstellen. Durch die Fritte werden sehr kleine Gasbläschen erzeugt.

Dadurch steigt die spezifische Oberfläche der Gasbläschen und somit auch die Stoffübergangsfläche. Beim Aufsteigen der Luftbläschen findet ein Stoff- und Wärmeübergang statt (1→2). Die Luft verlässt den Sättigungsbehälter mit der im Behälter eingestellten Temperatur vollkommen gesättigt (2). Mit Hilfe des Manometers (BAP12) kann die Beladung X [g/kg_{tr.Luft}] der Luft beim Verlassen des Sättigungsbehälters berechnet werden. Im Trockenofen wird die nun feuchte Luft erhitzt (2→3), bis die gewünschte Temperatur (BAT1C2) und damit die relative Luftfeuchte erreicht ist (3). In Abbildung 3-6 ist der Verlauf der Zustandsänderungen im Mollier h-x-Diagramm dargestellt.

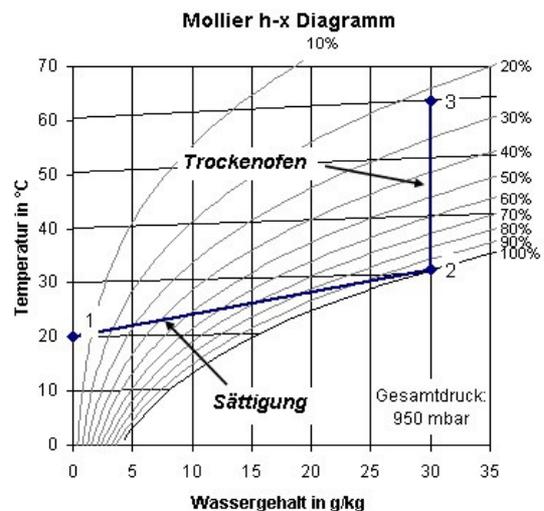


Abbildung 3-6: Einstellen des Messpunktes

3.6.3 Verwendete Geräte

- Mettler AE 160 Präzisionswaage
 - Reproduzierbarkeit (Standardabweichung) 0,1 mg
 - Linearität $\pm 0,1$ mg

- Mettler PE 3000 Präzisionswaage
 - Reproduzierbarkeit (Standardabweichung) 0,1 g
 - Linearität $\pm 0,2$ g
 - Linearität bezogen auf 10 g $\pm 0,1$ g

- ebro Pt 100 Präzisions-Thermometer TFX 430
 - Messgenauigkeit (-50 °C bis +199,99 °C), $\pm 0,05$ °C

- Leibold Divatronic DT1 Vakuumregler (Manometer)
 - Messgenauigkeit $\pm 0,1$ kPa

- Schiltknecht MiniAir20 Messwertaufnehmer mit Feuchte- und Temperaturfühler
 - Messbereich 0 bis 99,9% rF
 - Eichgenauigkeit (10 bis 95% rF) $\pm 1,5$ % rF
 - Reproduzierbarkeit 0,5% rF
 - Temperatur Messbereich -10 bis +60 °C
 - Eichgenauigkeit (-10 °C bis +50 °C) $\pm 0,35$ °C
 - Reproduzierbarkeit 0,1 °C

- Huber Umwälzthermostat für offene Bäder und geschlossenen Systeme.
 - Arbeitstemperaturbereich -40 bis 200 °C
 - Temperaturfühler intern Pt100

- SalvisLab Vacucenter VC20 (Trockenofen)
 - Temperatur Fluktuation bei 100 °C $\pm 0,2$ °C

3.6.4 Messpunkte

Um einen für das Abluftproblem relevanten Messbereich zu finden, wurden die Daten der Bilanz und der Analyse der Wetterdaten herangezogen. In Abhängigkeit von der produzierten Düngersorte werden zwischen 20 und 25 $[g_{H_2O}/kg_{tr.Luft}]$ durch den Herstellungsprozess selbst in die Abluft eingebracht. Der Maximalwert aus der Wetterdatenanalyse beträgt 21,8 $[g_{H_2O}/kg_{tr.Luft}]$. Somit wurde die untere Grenze mit 20 und die obere Grenze mit 50 $[g_{H_2O}/kg_{tr.Luft}]$ festgelegt.

Aus den Vorversuchen zur Erreichung eines stationären Betriebszustandes der Befeuchtungsanlage wurde schnell ersichtlich, dass die Proben bei Temperaturen unter 60 °C (untere Grenze) und innerhalb der festgelegten Beladungsgrenzen verkleben. Bei 90 °C (obere Grenze) hingegen blieben die Proben stets rieselfähig.

Tabelle 3-5: Auswertung der Messpunkte

Nr.	Datum der Durchführung	T _s [°C]	p ₂ [bar]	T _o [°C]	p ₃ [bar]	p _s (T _s) [bar]	X [g _{H₂O} /kg _{tr.L}]	p _s (T _o) [bar]	rF [%]
		BATIC1	BAPI2	BATIC2	BAPI3	kalk.	kalk.	kalk.	kalk.
1	21.10.2009	23,6	0,935	90	0,938	0,0291	20,0	0,7018	4%
2	21.10.2009	30,2	0,935	90	0,936	0,0429	30,0	0,7018	6%
3	21.10.2009	35,1	0,931	90	0,934	0,0565	40,3	0,7018	8%
4	21.10.2009	38,9	0,930	90	0,934	0,0696	50,3	0,7018	10%
5	15.11.2009	23,7	0,940	80	0,943	0,0293	20,0	0,4741	6%
6	15.11.2009	30,3	0,939	80	0,942	0,0432	30,0	0,4741	9%
7	15.11.2009	35,2	0,939	80	0,942	0,0569	40,1	0,4741	12%
8	16.11.2009	38,0	0,939	80	0,941	0,0663	47,3	0,4741	14%
9	16.11.2009	39,0	0,939	80	0,942	0,0699	50,1	0,4741	15%
10	17.11.2009	23,6	0,939	70	0,943	0,0291	19,9	0,3120	9%
11	17.11.2009	30,3	0,941	70	0,945	0,0432	29,9	0,3120	14%
12	17.11.2009	35,1	0,942	70	0,945	0,0565	39,8	0,3120	18%
13	17.11.2009	39,0	0,942	70	0,945	0,0699	49,9	0,3120	22%
14	18.11.2009	23,7	0,944	60	0,949	0,0293	19,9	0,1994	15%
15	18.11.2009	30,4	0,945	60	0,950	0,0434	30,0	0,1994	22%
16	18.11.2009	35,2	0,948	60	0,953	0,0569	39,7	0,1994	29%
17	18.11.2009	39,0	0,950	60	0,954	0,0699	49,5	0,1994	35%

Die Befeuchtungstests wurden mit den in Tabelle 3-5 angeführten Messpunkten durchgeführt. Die zweite Zeile lässt erkennen, ob es sich um einen eingestellten (BATIC1, BATIC2), einen abgelesenen (BAPI2, BAPI3) oder einen kalkulatorischen Wert (kalk.) handelt. Das Thermometer (BATI) und der Feuchtefühler (BAMI) im Trockenschrank dienen der Kontrolle der eingestellten und errechneten Werte.

3.6.5 Luftdurchsatz

Der Luftvolumenstrom wird mittels Schwebekörper-Durchflussmesser vom Typ Q-140, der Marke Vögtlin bestimmt. Die beigelegte Durchflusstabelle für Luft (90 °C und 1 bar)

wurde mit Hilfe der Reynolds-Ähnlichkeit auf die momentanen Betriebsbedingungen (20°C und 0,950 [bar]) umgerechnet. Der eingestellte Volumenstrom beträgt laut den Berechnungen 200 l/h. Der Trockenschrank hat ein Volumen von 20 Litern. Von der Einstellung einer höheren Luftaustauschrate als 10 wird abgeraten, da es sonst zu Blasenschwärmen bzw. großen Luftblasen im Sättigungsgefäß kommt und somit die maximale Sättigung der Luft nicht mehr gewährleistet ist.

3.6.6 Probenahme und -vorbereitung

Als Probenmaterial für die Versuche wurde der vom VersuchsfILTER frisch abgetrennte Düngersaub verwendet. Die Entnahme erfolgte einmalig für jede Düngersorte, um die Vergleichbarkeit der Testreihen aufgrund von Produktionsschwankungen nicht zu gefährden. Der Probenvorrat wurde in einem dunklen und luftdicht verschließbaren Glasbehältnis bei Raumtemperatur gelagert. Für die Messungen wurden etwa 10 [g] des Staubes aus diesem Vorratsgefäß entnommen und in einer luftdicht verschließbaren Wiegeschale eingewogen. Danach wurde die Probe über Nacht im Trockenschrank bei 104°C getrocknet. Nach dem Öffnen der Trockenschranktüre wurde die Probe unverzüglich luftdicht verschlossen. Durch erneutes Wiegen, nachdem die Probe abgekühlt war, erfolgte die Bestimmung der Trockenmasse.

3.6.7 Einfahren und stationärer Betriebszustand

Aussagekräftige Messergebnisse können nur unter gleichbleibenden Betriebsbedingungen erzielt werden. Da die Messungen zügig vorangehen sollen, ist die Kenntnis über das Verhalten der Apparatur obligat. Das schwächste Glied in der Kette ist der Trockenofen. Aufgrund seiner hohen Wärmekapazität und guten Isolierung ist dieser, bezüglich Sollwertänderungen, sehr träge. Eine Änderung der Temperatur um 10°C (bei geschlossener Ofentür) dauert ca. 1,5 Stunden. Das interne Thermometer zeigt schon nach 5 Minuten die gewünschte Temperatur. Der von außen eingeführte Thermofühler bestätigt diesen Wert jedoch erst 90 Minuten später. Um sicherzugehen wurde dies zusätzlich mit einem Flüssigkeitsthermometer im Innenraum des Trockenschanks überprüft.

Der Thermostat bringt das Wasser innerhalb von 5 Minuten auf die gewünschte Temperatur. Bei einer Änderung der Sättigungstemperatur dauert es 30 Minuten bis sich ein gleichbleibender Betriebszustand einstellt.

Für die Messungen wird deshalb die Temperatur im Trockenofen konstant gehalten und die Temperatur der Sättigungsflasche variiert.

3.6.8 Versuchsdurchführung

Für die Messung eines Temperatursatzes wird die gewünschte Betriebstemperatur am Trockenschrank eingestellt. Gleichzeitig beginnt man mit der Einleitung der feuchten Luft. Ist die Solltemperatur erreicht, wird die vorbereitete Probe (vgl. Abschnitt 3.6.6) offen in den Ofen gestellt. Es dauert nun ca. 30 Minuten, bis sich der stationäre Betriebszustand einstellt. (Ein Abwarten von stationären Bedingungen bevor man die Probe in den Schrank gibt ist nicht sinnvoll, da durch das Öffnen der Schranktüre wieder Umgebungsluft in den Trockenschrank eintritt.) Die Probe muss nun mindestens 90 Minuten unter konstanten Bedingungen verweilen, um im Gleichgewicht mit ihrer Umgebung zu sein (in den Vorversuchen wurden die Proben alle 30 Minuten abgewogen. Die Wiegen nach 60, 90 und 120 Minuten zeigten nur noch Abweichungen im Promillebereich). Zur Bestimmung des Wassergehaltes wird die Probe unverzüglich nach der Öffnung des Trockenschanks wieder verschlossen und rückgewogen.

3.6.9 Auswertung

Für jede der drei Düngersorten wurden pro Messpunkt drei Datensätze gewonnen. Aus diesen drei Datensätzen wurde das arithmetische Mittel für die relative Luftfeuchte und der Beladung des Düngers gebildet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3-6 dargestellt.

Tabelle 3-6: Auswertung der verschiedenen Düngersorten

Nr. [-]	Feuchte Luft			AMS 27,5%		AMS Mg 25 + S		AMS + Kalk	
	T [°C]	X [g/kg]	rF [%]	X [g/kg]	W _{H2O} [%]	X [g/kg]	W _{H2O} [%]	X [g/kg]	W _{H2O} [%]
1	90	20	4%	0,29	0,03%	0,09	0,01%	0,29	0,03%
2	90	30	6%	0,41	0,04%	0,19	0,02%	0,38	0,04%
3	90	40	8%	0,54	0,05%	0,24	0,02%	0,56	0,06%
4	90	50	10%	0,98	0,10%	0,31	0,03%	0,90	0,09%
5	80	20	6%	0,55	0,05%	0,26	0,03%	0,60	0,06%
6	80	30	9%	0,97	0,10%	0,34	0,03%	0,94	0,09%
7	80	40	12%	0,98	0,10%	0,35	0,03%	1,27	0,13%
8	80	47	14%	0,99	0,10%	0,36	0,04%	1,51	0,15%
9	80	50	15%	0,99	0,10%	0,36	0,04%	1,60	0,16%
10	70	20	9%	0,91	0,09%	0,21	0,02%	0,50	0,05%
11	70	30	14%	1,05	0,10%	0,29	0,03%	1,04	0,10%
12	70	40	18%	1,45	0,14%	0,35	0,03%	1,99	0,20%
13	70	50	22%	1,63	0,16%	3,56	0,35%	3,02	0,30%
14	60	20	15%	1,77	0,18%	1,76	0,18%	2,32	0,23%
15	60	30	22%	3,01	0,30%	1,85	0,18%	4,12	0,41%
16	60	40	29%	4,51	0,45%	9,61	0,95%	5,73	0,57%
17	60	49	35%	5,73	0,57%	19,34	1,90%	8,88	0,88%

Auffällig ist, dass die Wasseraufnahme nicht von der Menge des dampfförmigen Wassers in der Luft, sondern vielmehr von der relativen Luftfeuchte = $f(T,X)$ abhängt.

3 Hintergrund des Klebrigwerdens von AMS

In Abbildung 3-7 ist schön zu erkennen, dass die Beladungskurve ab einer relativen Luftfeuchte von 20% markant ansteigt. Besonders bei der Düngersorte mit Schwefel konnte dieses Verhalten beobachtet werden.

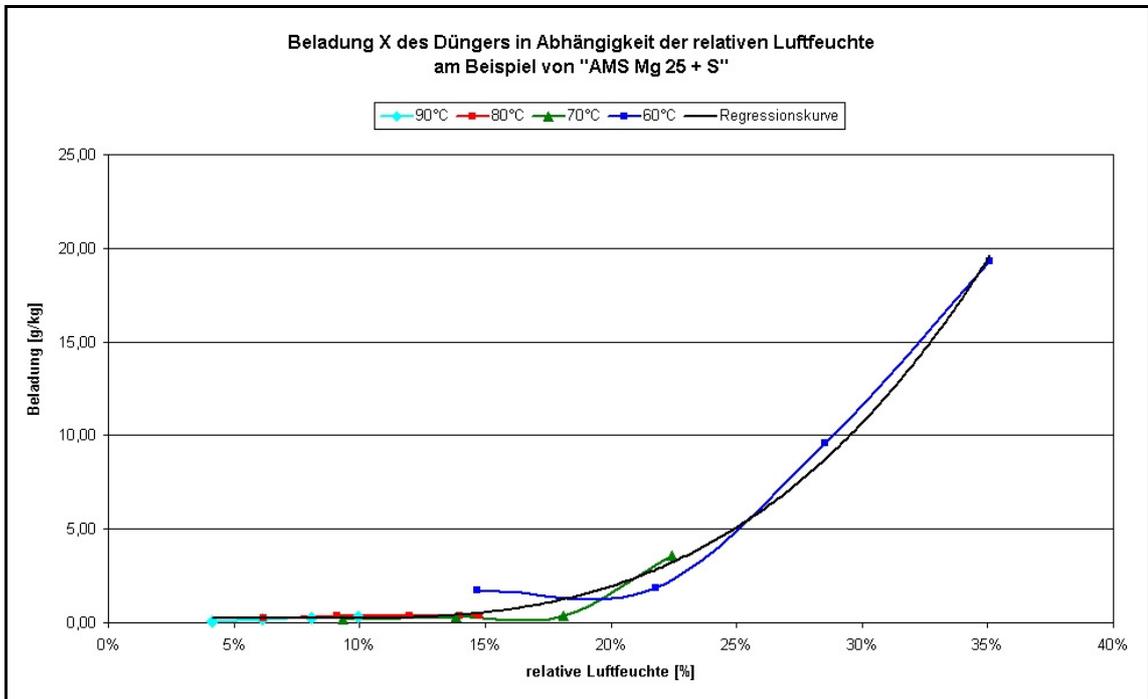


Abbildung 3-7: Wasseraufnahme vs. relative Luftfeuchte

Bei den höheren Temperaturen (80 °C und 90 °C) konnte diese „20%-Grenze“ mit den eingestellten Luftbeladungen nicht überschritten werden. Erst bei 70°C und vor allem bei 60 °C ist ein Trend zur Sorption von Feuchte erkennbar. (s. a. Anhang A1)

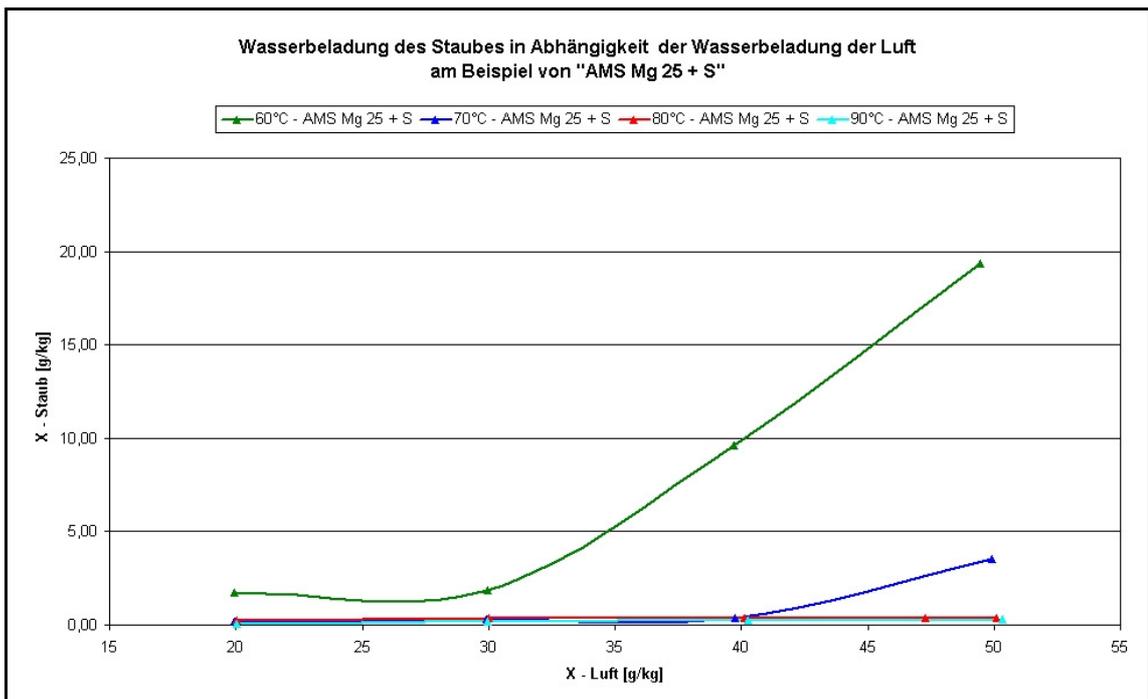


Abbildung 3-8: Wasseraufnahme vs. Luftbeladung

3.7 Rieseltest

Um eine Aussage über die Rieselfähigkeit des Materials machen zu können, wurde ein einfacher Vergleichstest entwickelt und durchgeführt.

3.7.1 Durchführung

Dazu wurde der Boden einer Petrischale mit einer ca. 5 [mm] dünnen Schicht des Düngerstaubes bedeckt und zusammen mit den Befeuchtungsproben den gewünschten klimatischen Bedingungen ausgesetzt. Nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes wird die Probe unverzüglich mit einer zweiten Petrischale abgedeckt und um 90° geneigt. Die Klassifizierung der Riesel- beziehungsweise Fließfähigkeit erfolgt nach Tabelle 3-7.

Tabelle 3-7: Bewertung der Rieselfähigkeit

Skala	Charakterisierung in Worten	Kriterien
7	frei fließend	- Neigungswinkel < 90° löst Abfließen aus
6		- Neigungswinkel = 90° - Abfließen durch leichte Erschütterung ausgelöst
5	kohäsiv	- Neigungswinkel = 90° - Abfließen durch leichte Erschütterung ausgelöst - am Boden der Petrischale bleibt Material haften
4		- Neigungswinkel = 90° - durch Erschütterung können nur noch einzelne Agglomerate gelöst werden
3	klebrig	- Material beginnt körnig zu werden
2		- sichtbare Verfärbung durch Aufnahme von H ₂ O
1		- Material ist feucht

Das Abfließen des Materials erfolgt lawinenartig. Die Erschütterung wurde durch leichtes Klopfen gegen eine Holzplatte (Schreibtisch) ausgelöst und unterliegt damit dem Einfluss des Bedieners. Der Durchmesser der Petrischale beträgt 11,5 [cm]. Das trockene Probenvolumen betrug 5 [cm³], was einer Schichtdicke von rund 5 [mm] entspricht.

3.7.2 Auswertung

Wie schon in Abschnitt 3.1 vermutet, existiert ein Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt des Düngers und seiner Rieselfähigkeit. Wie aus den Befeuchtungstests hervorgeht, hängt der Feuchtegehalt und somit die Rieselfähigkeit des AMS-Staubes primär vom Feuchtgrad der Umgebung ab. Ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Düngersorten konnte nicht nachgewiesen werden.

Tabelle 3-8: Auswertung Rieseltest

Nr. [-]	Feuchte Luft			AMS 27,5%		AMS Mg 25 + S		AMS + Kalk	
	T [°C]	X [g/kg]	rF [%]	X [g/kg]	FF [-]	X [g/kg]	FF [-]	X [g/kg]	FF [-]
1	90	20	4%	0,29	7	0,09	7	0,29	7
2	90	30	6%	0,41	7	0,19	7	0,38	7
3	90	40	8%	0,54	7	0,24	7	0,56	7
4	90	50	10%	0,98	6	0,31	6	0,90	7
5	80	20	6%	0,55	7	0,26	7	0,60	7
6	80	30	9%	0,97	6	0,34	6	0,94	6
7	80	40	12%	0,98	5	0,35	6	1,27	6
8	80	47	14%	0,99	5	0,36	5	1,51	5
9	80	50	15%	0,99	5	0,36	5	1,60	5
10	70	20	9%	0,91	6	0,21	6	0,50	6
11	70	30	14%	1,05	5	0,29	5	1,04	5
12	70	40	18%	1,45	4	0,35	4	1,99	5
13	70	50	22%	1,63	4	3,56	3	3,02	4
14	60	20	15%	1,77	4	1,76	4	2,32	5
15	60	30	22%	3,01	3	1,85	3	4,12	3
16	60	40	29%	4,51	2	9,61	2	5,73	2
17	60	49	35%	5,73	1	19,34	1	8,88	1

Die Fließfähigkeit wird schon bei geringen Feuchtegraden beeinträchtigt. Bei 14% relativer Umgebungsfeuchte blieb das Probenmaterial bereits am Boden der Petrischale haften. Eine Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit der Probe konnte wiederum erst ab einer Luftfeuchte von 20% beobachtet werden.

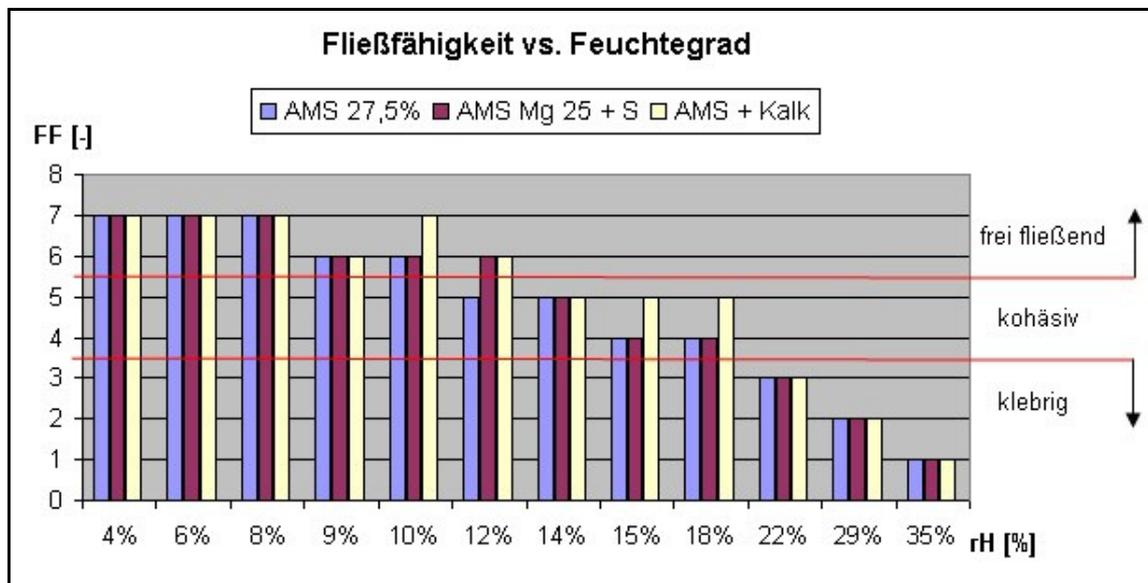


Abbildung 3-9: Auswertung der Fließfähigkeit

3.8 Ergebnis und Diskussion

Die gewonnenen Daten aus den Befeuchtungs- und Rieseltests haben eindeutig gezeigt, dass es notwendig ist, die gesamte Filteranlage zu beheizen. In Abbildung 3-10 ist die Rieselfähigkeit des Staubes als Kurvenschar dargestellt. Ist der Zustand der feuchten Abluft bekannt, lässt sich mit Hilfe dieses Diagramms die benötigte Heiztemperatur schnell in Erfahrung bringen. Dazu bestimmt man den Zustandspunkt im Diagramm und zeichnet eine vertikale Linie durch diesen Punkt. Vom Schnittpunkt dieser vertikalen Linie mit der *Kurve Nr. 6* folgt man nun den Isothermen nach links und liest an der Ordinate die erforderliche Heiztemperatur ab.

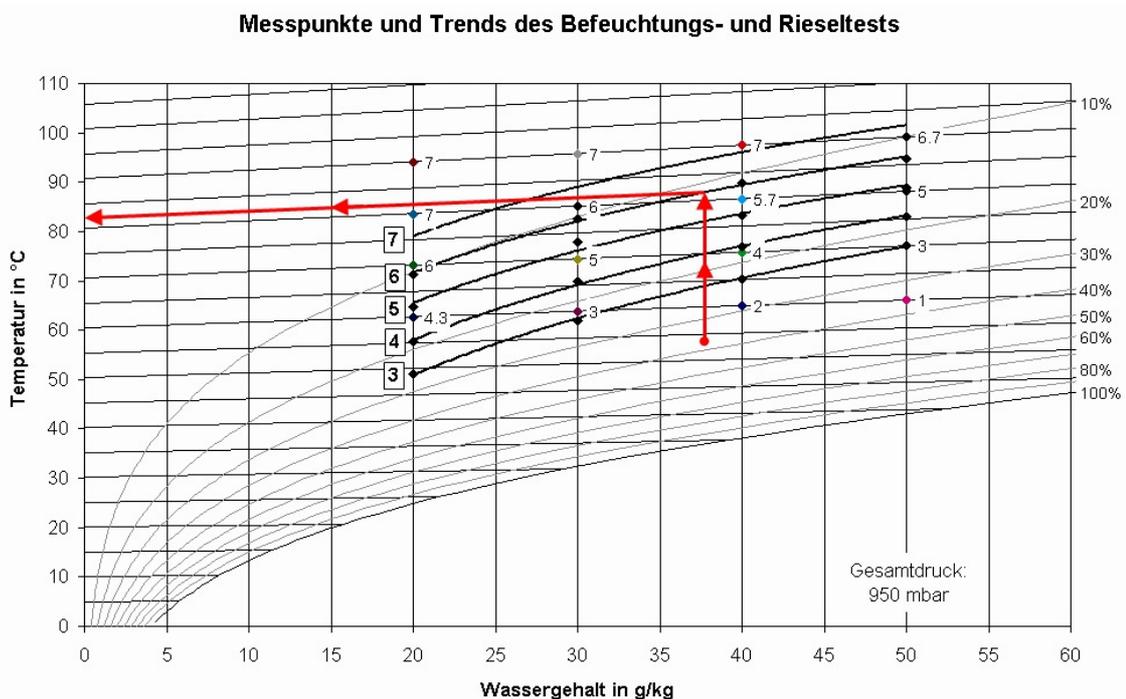


Abbildung 3-10: Rieselfähigkeit als Kurvenschar im Mollier-h-x-Diagramm (s. a. Anhang A2)

Die Zahlenwerte bei den farblich gekennzeichneten Punkten wurden mit dem arithmetischen Mittel der Ergebnisse aller Düngersorten gebildet und stellen den Skalenwert des Rieseltests dar. So kommt es, dass auch Dezimalzahlen vorkommen. Die Werte in den Kästchen sind die Werte der logarithmischen Regressionskurven. Der Messpunkt 1 ($T = 90 \text{ °C}$, $X = 20 \text{ g/kg}$, Fließfähigkeit = 7) wurde bei der Regression nicht berücksichtigt.

Es könnte jetzt der Eindruck entstehen, dass man den Filter auf über 100 °C beheizen sollte, um optimale Fließigenschaften zu erreichen. Davon ist jedoch abzuraten, da bei den Tests zur Bestimmung der Trockenmasse (Trockenschranktemperatur = 104 °C) die Proben bereits leicht verbacken waren. Nach dem Trocknen wurden die Proben für die Rieseltests durch kräftiges Schütteln wieder rieselfähig gemacht. Bei

Temperaturen um 110 °C stellte sich ein Sintereffekt ein. Die Proben waren fest verbacken und spröde. Bei 125 °C beginnt Ammoniumnitrat schließlich zu schmelzen.

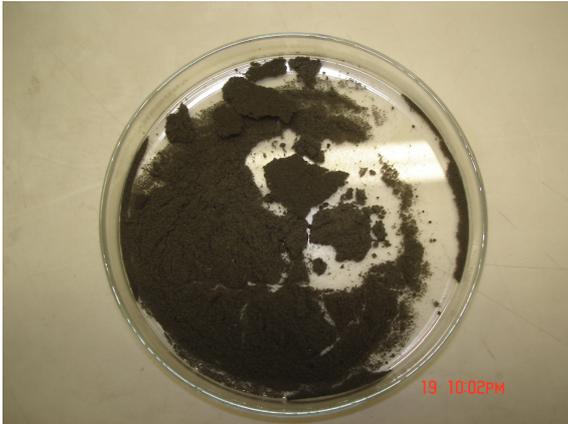


Abbildung 3-11: Probe 110 °C

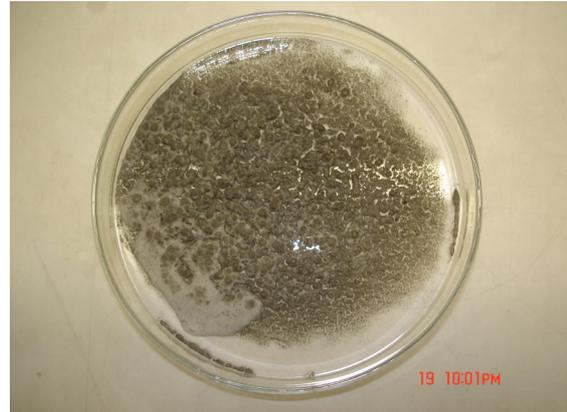


Abbildung 3-12: Probe bei 125 °C

Im Zuge der Vorversuche wurde beobachtet, dass eine Probe, die über einen längeren Zeitraum (2 Tage) bei 80 °C im Trockenschrank belassen wird, zunehmend verbackt. Dies mag ein weiterer Grund sein, warum die Anbackungen beim VersuchsfILTER im Laufe der Zeit derart verhärten.

Weitere Berechnungen ergaben, dass sich das Verhärten der Ablagerungen beim Einsaugen von Falschluff nicht auf eine Unterschreitung des Taupunktes zurückführen lassen. Beim Einsaugen von Falschluff in Form von Umgebungsluft würde die absolute Feuchte in der Abluft sogar sinken. Eine Erhöhung der relativen Feuchte über 20% ist dennoch möglich. Die Änderung der Kristallstruktur (Umwandlungstemperatur = 32,2 °C) könnte auch mit ein Grund für die zementartigen Anbackungen beim Ansaugen von Falschluff sein.

4 Testfahrten mit dem Versuchsfilter

Der in Kooperation der Firmen M.A.H., Maschinen- und Anlagenbau Holzinger GmbH und L.H.S. Clean Air Systems gefertigte Pilotfilter wurde im Laufe der Testfahrten, mit dem Ziel einer kontinuierlichen Förderung des abgeschiedenen Staubes, immer weiter optimiert. Diese Veränderungen beziehen sich sowohl auf die konstruktive Ausführung der Austragsvorrichtung, wie auch auf Erweiterungen der Bedienelemente und Steuerung des Versuchsfilters im Prozessleitsystem DeltaV.

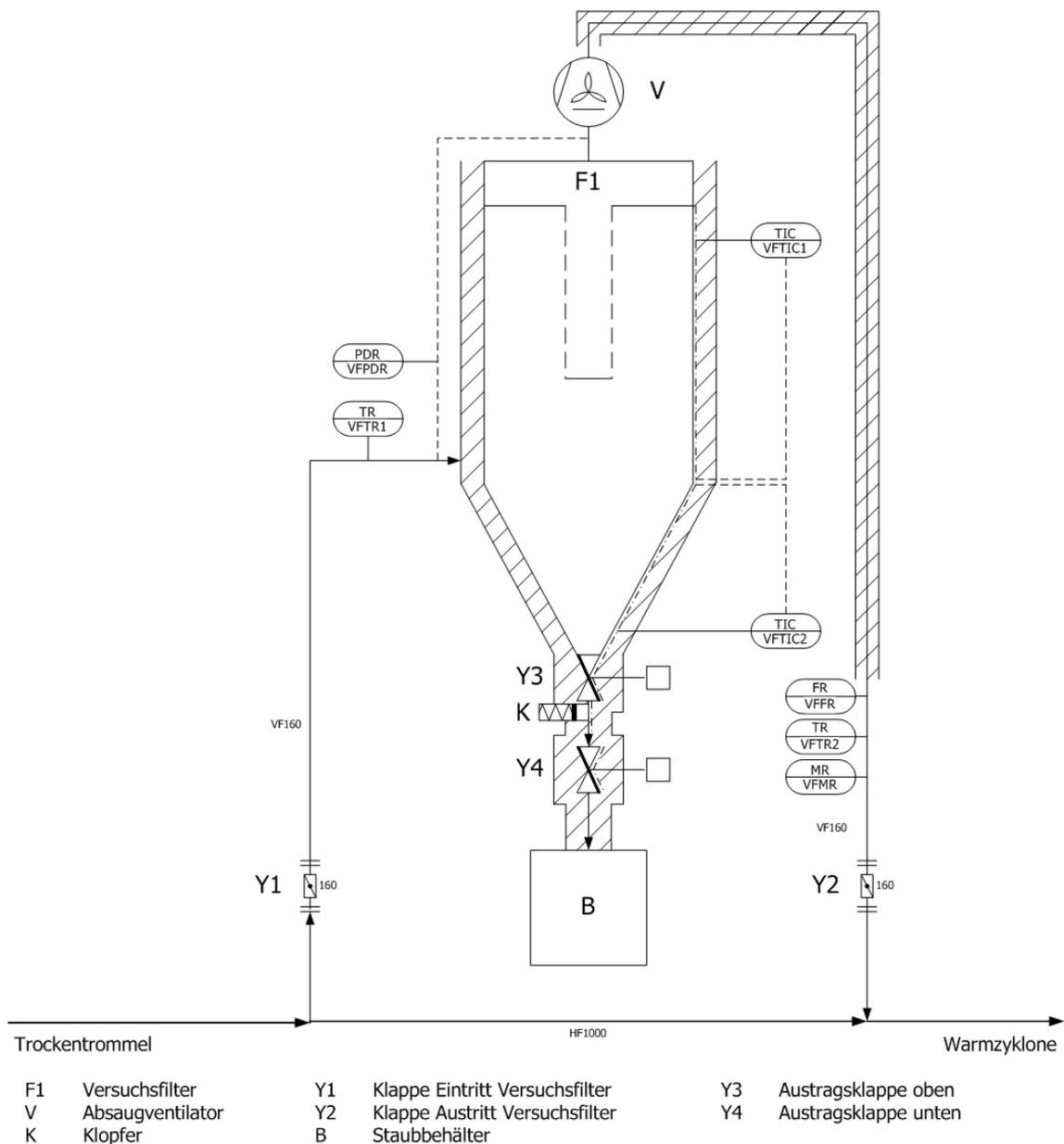


Abbildung 4-1: RI-Fließbild des Versuchsfilters

Die insgesamt 11 Testfahrten mit dem VersuchsfILTER fanden während der laufenden Düngerproduktion statt. Anfängliche Testfahrten unter stationären Prozessbedingungen boten die Möglichkeit, das Verhalten und die Arbeitsweise des Testfilters zu beobachten und Fehler in der Steuerung der Klappen zu beheben. Schließlich wurde der Filter vollständig in den Produktionsprozess eingebunden und unter den Prozessbedingungen, wie sie auch bei einer Großanlage vorkommen würden, betrieben. Dazu gehört das staubintensive Ein- und Ausfahren, die Umstellung der Düngersorte während der laufenden Produktion, wie auch verschiedenste – durch äußere Einflüsse hervorgerufene – Produktionsstörungen (Förderbandriss, Stromausfall, menschliches Versagen, etc.).

Weiters zeigten die Testfahrten direkte Auswirkungen der Prozessführung der laufenden Produktion auf das Verhalten der gesamten Abscheideanlage auf.

Die folgende Anlagenbeschreibung bezieht sich auf den letzten Stand der Entwicklung im Rahmen dieser Diplomarbeit. Die konstruktiven Veränderungen werden detailliert in den folgenden Testfahrten dargestellt.

4.1 Aufbau und Funktionsweise der Versuchsanlage

Aus dem Abluftkanal *HF1000* wird kurz vor den Warmzyklonen über die Klappe *Y1* ein Teilstrom der Abluft abgezweigt und dem VersuchsfILTER *F1* zugeführt. Dieser Jet-Druckluft-Einzelfilter (JDE) ist als Sauganlage mit aufgebautem Radialventilator *V* ausgeführt. Die verunreinigte Abluft tritt über die Rohgasöffnung ein und wird auf die Filterschläuche im Inneren des Filters verteilt. An der Außenwand der Filterschläuche wird der Staub zurückgehalten. Das gereinigte Abgas strömt im Inneren der Filterschläuche in den Filterreingasraum. Angetrieben vom Abluftventilator *V* verlässt das Reingas über ein isoliertes Rohr die Filteranlage und wird über die Klappe *Y2* wieder dem Abluftstrom im Abluftkanal *HF1000* zugeführt.

Die Abreinigung der Filterschläuche wird über das Prozessleitsystem DeltaV gesteuert. Nach einem voreingestellten Zeitintervall oder erreichten Differenzdruck öffnet sich ein Magnetventil, durch welches Druckluft aus dem Drucklufttank über ein Luftstrahlrohr in die Venturidüsen strömt. Die normale Strömungsrichtung der Luft wird dadurch umgekehrt und die Luft aus dem Reingasraum mitgerissen. Die Filterschläuche werden schlagartig aufgebläht, der anhaftende Filterkuchen aufgebrochen und weggeschleudert. Nach diesem Abreinigungsvorgang kehrt die Filterschlauchreihe wieder in die Filtrierposition zurück und es erfolgt gemäß den Voreinstellungen die Abreinigung der nächsten Patronenreihe.

Der abgeschiedene Staub fällt in den Trichterraum und wird über ein Doppelklappensystem (Abschnitt 4.1.2) gegen den Umgebungsdruck ausgeschleust.

4.1.1 Jet-Druckluft-Einzelfilter

Type: JDE-T 04/04-1125-100-SV

Betriebsdaten

Gasmenge:	500	m ³ /h
Filterfläche:	2,95	m ²
Filterflächenbelastung:	170	m ³ /m ² /h
Mediumstemperatur	bis 80	°C

Filterschlauch

Stückzahl:	8	(4 Reihen à 2 Filterschläuche)
Länge:	1125	mm
Durchmesser:	100	mm
Filterreihen	4	
Filtermaterialien:	Polypropylene „needlona [®] PP/PP 501“	

4.1.2 Austragsvorrichtung

Die Austragsvorrichtung besteht aus zwei konzentrisch übereinander angeordneten „SwissValve Absperrklappen CST DN300“. Das Rohrstück zwischen den Klappen, in weiterer Folge Schleusenrohr genannt, hat eine Länge von 700 mm und einen Durchmesser von 290 mm. Unter der unteren Klappe ist ein Fallrohr mit 1.000 mm Länge und einer Nennweite von 300 mm angebracht. Der Sammeltrichter vor der Schleuse hat einen Neigungswinkel von $\gamma \approx 80^\circ$. Alle Teile sind aus nichtrostendem Stahl gefertigt.

4.1.3 Beheizung und Isolierung

Die Beheizung des Pilotfilters erfolgt elektrisch.

Das Filtergehäuse ist mit einer Temperatursteuerung ausgerüstet. Der für die Steuerung benötigte Temperaturfühler (Pt100) ist direkt an der Außenwand des Filtergehäuses angebracht.

Der Sammeltrichter ist mit einer separaten Temperatursteuerung ausgestattet. Der Pt100-Sensor sitzt an der Außenwand ca. 15 cm oberhalb der Klappe VF_YS71.

Die beiden Klappen und das Schleusenrohr werden mit auf 75 °C selbstbegrenzenden Heizkabeln beheizt.

Der Filter samt Austragsvorrichtung ist mit einer 15mm dicken, geklebten Schaumstoffisolierung (Temperaturgrenze = 120 °C) ausgestattet. Die Isolierung ist an den geflanschten Stellen abnehmbar ausgeführt, um Wartungsarbeiten und Veränderungen der Klappenstellungen ohne größeren Aufwand durchführen zu können.

4.1.4 Mess- und Steuereinrichtungen

Folgende Messwerte des Versuchsfilters werden mit Hilfe des Prozessleitsystems (PLS) angezeigt und für spätere grafische Darstellungen (Trend) aufgezeichnet:

- Eintrittstemperatur des Rohgases [°C]
- Austrittstemperatur der Abluft [°C]
- Relative Luftfeuchte der Abluft [%]
- Filterdifferenzdruck [mbar]
- Volumenstrom der Abluft [Nm³/h]

Außerdem werden bei den Verlaufskurven

- die Eintrittstemperatur der Trockentrommel [°C]
- die Austrittstemperatur der Trockentrommel [°C]
- und das Signal des Abreinigungsimpulses [-]

mit dargestellt.

Die Steuerung der Klappen, des Klopfers und der Filterabreinigung erfolgt ebenfalls über das PLS. Abbildung 4-2 auf Seite 43 zeigt eine schematische Darstellung des Versuchsfilters mit den Messstellen und Bedienelementen.

Der Impuls für die Abreinigung der Filterelemente wird entweder nach Ablauf einer vorgegebenen Zykluszeit, oder nach Erreichen eines festgelegten Differenzdruckes ausgelöst. Dadurch wird sichergestellt, dass bei Produktionsstörungen, bei denen innerhalb kurzer Zeit überdurchschnittlich viel Staub anfällt, der steigende Differenzdruck den Impuls zur Abreinigung auslöst. Andererseits haben die Versuche gezeigt, dass bei störungsfreier kontinuierlicher Produktion der Differenzdruck (aufgrund der porösen Eigenschaften des Filterkuchens) nur geringfügig ansteigt. Wird hier nicht in regelmäßigen Abständen abgereinigt, kommt es zu dickschichtigen Anbackungen, welche sich dann nur noch manuell entfernen lassen.

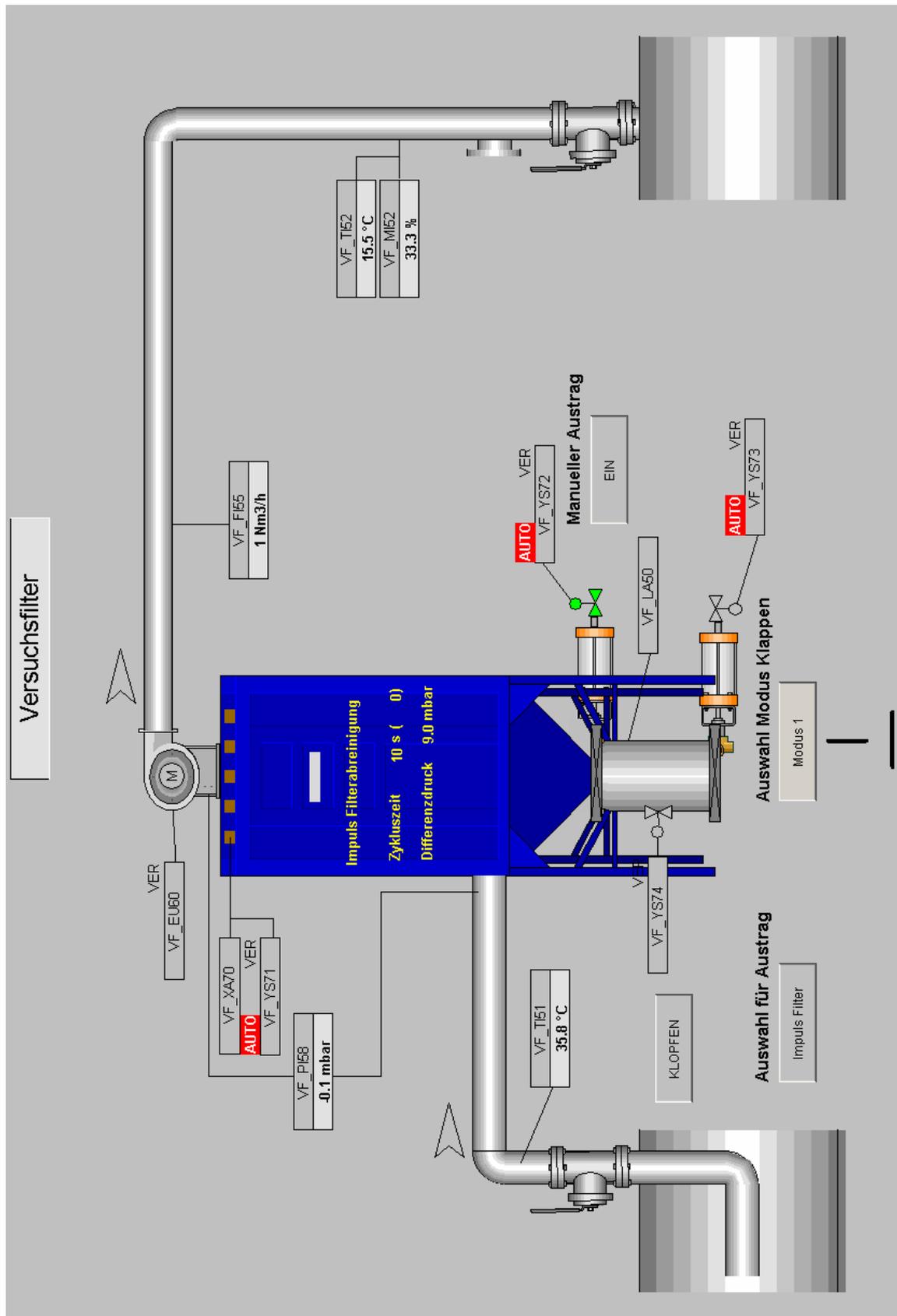


Abbildung 4-2: Darstellung des Versuchsfilters im PLS

Bei der Stellung der Klappen während der Filtration wird zwischen zwei Modi unterschieden (Abbildung 4-2; Auswahl Modus Klappen):

- *Modus 1 (o-o, u-z)*: Die obere Klappe (VF_YS72) ist während des Filtrationsvorganges geöffnet und die untere Klappe (VF_YS73) geschlossen. Der Filterkuchen fällt in das Schleusenrohr und bleibt auf der unteren Klappe liegen. Beim Austragsvorgang schließt die obere Klappe vollständig. Dann erst öffnet sich die untere Klappe und schleust den Düngerstaub aus. Danach schließt sich diese wieder und die obere Klappe kann wieder geöffnet werden.
- *Modus 2 (o-z, u-z)*: Während der Filtration sind beide Klappen geschlossen. Um den abgeschiedenen Staub auszuschleusen, öffnet sich die obere Klappe (VF_YS72) und der Staub fällt in das Schleusenrohr auf den Klappenteller der unteren Klappe (VF_YS73). Nach dem Schließen der oberen Klappe öffnet die untere Klappe und der Staub wird ausgetragen. Um ein Auskühlen des Klappenzwischenraums zu verhindern und den Eintrag von Falschluff zu minimieren, wird die untere Klappe wieder geschlossen.

Der Austragsvorgang selbst erfolgt entweder nach Ablauf einer vorgegebenen Zeitspanne oder wird durch den Impuls zur Filterabreinigung ausgelöst (Abbildung 4-2; Auswahl für Austrag).

4.1.5 Ein- und Ausfahren

Die Inbetriebnahme, wie auch die Außerbetriebnahme des Versuchsfilters, wurde laut den Checklisten im Anhang A3 durchgeführt. Während der laufenden Düngerproduktion sind keine besonderen Vorkehrungen zu treffen. Es ist nur darauf zu achten, dass keine Falschluff in den Filter eingesaugt wird (Bedienfehler).

Beim Einfahren der gesamten Produktionsanlage inklusive des Filters wurde zunächst darauf Wert gelegt, dass vor der Inbetriebnahme des Filters die Aufwärmphase des Trockenteils abgeschlossen war. Während der Aufwärmphase befindet sich noch kein emissionserzeugendes Granulat in der Trockentrommel. Die Inbetriebnahme des Filters erfolgte kurz vor der Zugabe des Gutkorns, welches als Granulierhilfe dient. Erst als die vorgenommenen konstruktiven und steuertechnischen Veränderungen unter diesen Bedingungen einen kontinuierlichen Betrieb ermöglichten, wurde der Filter vollständig in den Einfahrprozess eingebettet.

Beim Beenden der Produktion und somit der Stilllegung der Anlage wurde darauf geachtet, dass die Trockentrommel mit Dampf (die Brüden aus dem Reaktor reichen nicht mehr aus) weiter beheizt wurde, bis sie vollständig entleert war. Anschließend wurde der VersuchsfILTER außer Betrieb genommen.

4.2 Testfahrten und Modifikationen

Aufgrund der bei den Testfahrten erhobenen Daten und gemachten Beobachtungen wurde die konstruktive und steuertechnische Ausführung des Filters Schritt für Schritt verbessert. Anfangs noch moderate Versuchsbedingungen, wie zum Beispiel die Inbetriebnahme während der laufenden Produktion bis hin zur vollständigen Implementierung des Filters in den Produktionsprozess, zeigten die Schwachstellen der jeweiligen Konstruktion auf. Bedienfehler, die eine Verbackung der Filterschläuche oder ein Verstopfen der Austragsvorrichtung zur Folge hatten, konnten durch eine geeignete Programmierung im Prozessleitsystem weitgehend vermieden werden.

Im Zuge des Abschnitts 4.2 werden nur die wichtigsten Trends der „Process History View“ dargestellt. Sämtliche Trends befinden sich im Anhang A5.

4.2.1 Anfänglicher Aufbau der Versuchsanlage



Abbildung 4-3: Fallrohr (Variante 1)

Im Vergleich zum Versuchsaufbau wie in Abschnitt 2 auf Seite 21 beschrieben, wurde der Neigungswinkel des Sammeltrichters von $\gamma=60^\circ$ auf $\gamma = 80^\circ$ erhöht. Der Schieber samt Sammelbehälter wurde durch eine Doppelklappenschleuse (Abschnitt 4.1.2) ersetzt. Durch die Winkelveränderung und der daraus resultierenden Verlängerung des Filteraußenmaßes nach unten hin, war zu wenig Raum unter dem Filter, um ein Austragssystem anzubringen. Mit einer Bohrung für das Schleusenrohr durch die Decke unterhalb des Filters konnte dieses Problem gelöst werden. Die obere Klappe befindet sich direkt unter dem Sammeltrichter. Das Schleusenrohr führt durch die Decke in das darunterliegende Stockwerk, wo im Anschluss die zweite Klappe angebracht ist. Das Fallrohr lenkt den abgeschiedenen Staub direkt auf das Förderband, mit dem auch der Zyklonstaub wieder in den Prozess rückgeführt wird.

Im Schleusenrohr war zusätzlich eine Vibrationssonde angebracht, um ein eventuelles Verstopfen anzuzeigen. Der Austragsvorgang selbst erfolgte nach Ablauf einer vorgegebenen Zeitspanne, wie im Anhang A4-1 ersichtlich.

Eine Beheizung der oberen Klappe und des oberen Teils des Schleusenrohres durch ein selbstbegrenzendes Heizkabel wurde ebenfalls angebracht. Dieses war jedoch – wie sich später herausstellte – defekt.

4.2.2 Testfahrt #1

4.2.2.1 Betriebsparameter

Düngersorte:	AMS 27,5%
Produktion:	5,7 - 15 t/h
Abreinigungszyklus:	30 min
Abreinigungsdruck:	4 bar
Austragsintervall:	30 min
Klappenmodus:	o-o, u-z
Datum und Uhrzeit Start:	17.08. - 12:30 Uhr
Datum und Uhrzeit Ende:	18.08. - 13:30 Uhr
Heizung:	Gehäuse inkl. Sammeltrichter(75 °C)

4.2.2.2 Verlauf

Dieser Versuch wurde während des Einfahrens der AMS-Anlage durchgeführt. Nach einer Versuchsdauer von ca. 30 Minuten musste der Filter erstmals außer Betrieb genommen werden, da sich im Schleusenrohr eine Feststoffbrücke gebildet hatte (die Vibrationssonde meldete „Hochalarm“). Um die Filterelemente hatte sich ein stabiler Kuchen von ca. 1 cm Dicke aufgebaut, welcher sich auch durch mehrmalige Abreinigungsdruckluftstöße nicht entfernen ließ.

Nach einer notdürftigen Reinigung des Schleusenrohres wurde der Filter wieder in Betrieb genommen. Aufgrund eines Förderbandrisses musste die Produktion unterbrochen werden. Dabei wurde die Trocknerluft nicht weiter beheizt und somit kühle Umgebungsluft in den Filter eingesaugt. Die Testfahrt wurde schließlich beendet, da das Schleusenrohr abermals verstopfte. Der Filterkuchen an den Filterelementen war weiter angewachsen, ließ sich jedoch durch Druckstöße teilweise entfernen.

4.2.2.3 Anmerkungen

Die Reinigung des Filters gestaltete sich als äußerst schwierig, da durch die konstruktive Ausführung des Fallrohres die Schleuse selbst nicht mehr zugänglich ist. Die Reinigung hat von oben zu erfolgen. Dafür muss vom Filter der Deckel des Reingasraumes abgenommen, die Druckstoßeinrichtung demontiert, mindestens zwei Filterschläuche entnommen und mit einer 5 Meter langen Lanze die Feststoffbrücke im

Schleusenrohr durchbrochen und entfernt werden. Eine Reinigung mit Wasser ist zwar sehr gründlich, jedoch während der Produktion nicht durchführbar. Zum einen ist die Zeitspanne, in welcher produziert wird, gering (der Filter braucht mindestens einen halben Tag, um vollständig auszutrocknen) und zum anderen würde das Wasser über das Förderband direkt in den Produktionsprozess gelangen.

4.2.2.4 Ergebnis

Bei der Analyse der Prozessdaten und der Vorbereitung des Filters für die nächste Produktionskampagne wurde festgestellt, dass beim Austragsvorgang Falschluff durch die Schleuse in den Filter eingesogen wurde. Die untere Klappe öffnete bereits während die obere Klappe noch am schließen war. Als Folge bildeten sich die hartnäckigen Anbackungen vor der ersten Außerbetriebnahme. Durch die Produktionsstörung wurde im zweiten Teil der Testfahrt vermehrt kühle und feuchte Luft (bis zu 40% rel. Lf.) eingebracht (das feuchte Korn verweilte in der Trockentrommel). Der ansonsten sehr poröse Filterkuchen baute sich weiter auf, was einen Anstieg des Filterdifferenzdruckes auf 5 mbar mit sich brachte.

4.2.3 Testfahrt #2

4.2.3.1 Betriebsparameter

Düngersorte:	AMS 27,5%
Produktion:	15 t/h
Abreinigungszyklus:	30 min
Abreinigungsdruck:	4 bar
Austragsintervall:	15 min
Klappenmodus:	o-o, u-z
Datum und Uhrzeit Start:	18.08. - 14:15 Uhr
Datum und Uhrzeit Ende:	19.08. - 10:30 Uhr
Heizung:	Gehäuse inkl. Sammeltrichter(75 °C)

4.2.3.2 Ergebnis

Die Testfahrt #2 wurde während der gleichen Produktionskampagne wie die Testfahrt #1 durchgeführt. Dieses Mal erfolgte die Inbetriebnahme während der laufenden Produktion. Der Fehler in der Austragssequenz (Falschluff) war zu diesem Zeitpunkt noch nicht bekannt. Der Versuch wurde abgebrochen, weil das Schleusenrohr abermals verstopfte. Der Eintrag von Umgebungsluft führte sogar zum Absenken der relativen Luftfeuchte. Dadurch blieb der Filterkuchen durchlässig (der

Filterdifferenzdruck blieb während der Filtration konstant auf ca. 2,7 mbar), verhärtete jedoch durch die niedrige Temperatur.

4.2.4 Testfahrt #3

4.2.4.1 Betriebsparameter

Düngersorte:	AMS 27,5%
Produktion:	16 t/h
Abreinigungszyklus:	30 min
Abreinigungsdruck:	4 bar
Austragsintervall:	5 min
Klappenmodus:	o-o, u-z
Datum und Uhrzeit Start:	26.08. - 15:30 Uhr
Datum und Uhrzeit Ende:	28.08. - 19:00 Uhr
Heizung:	Gehäuse inkl. Sammeltrichter(75 °C)

4.2.4.2 Veränderungen

Die Programmierung der Austragssequenz wurde geändert. Der Falschlufteintrag beim Austragen wurde somit gestoppt. Davon ausgehend, dass das Austragsintervall entscheidenden Einfluss auf das Zubacken der Schleuse hat, wurde es auf 5 Minuten herabgesetzt. Dadurch sollten größere Ansammlungen an Düngerstaub im Sammeltrichter vermieden werden.

4.2.4.3 Ergebnis

Die Inbetriebnahme erfolgte bei stationären Prozessbedingungen.

Der Versuch wurde nach 52 Stunden abgebrochen, nachdem der Füllstandsmelder mehrmals Hochalarm gemeldet hatte. Das Schleusenrohr war vollständig mit Material gefüllt. Über der oberen Klappe hatte sich schon eine Feststoffbrücke aufgebaut, die auch mit mehrmaligen Klappenbewegungen nicht mehr zerstört werden konnte.

Die Filterelemente wiesen nur geringe Verschmutzungen auf und waren in gutem Zustand.

4.2.5 Erste konstruktive Veränderung

Da die Schleuse und der Sammeltrichter für Reinigungsarbeiten ausschließlich von oben zugänglich waren und dadurch nur eine unzufriedenstellende Reinigung erfolgen konnte, wurde anstatt des Fallrohres ein Auslaufkegel mit anschließendem Fallschlauch montiert (siehe auch Anhang A6-3f.). Die Idee für diese Konstruktion

bestand darin, dass der Auslauf für einen Mann demontierbar sein sollte, um eine Reinigung direkt an den Problemzonen vornehmen zu können.

Die Bedieneroberfläche des Prozessleitsystems wurde um die Schaltflächen „Modus“ und „Auswahl für Austrag“ erweitert. Mit „Modus“ kann zwischen den beiden Klappenmodi (siehe 4.1.4 Mess- und Steuereinrichtungen) ausgewählt werden. Mit dem Bedienelement „Austrag“ kann ausgewählt werden, ob die Ausschleusung nach einem bestimmten Zeitintervall oder bei Impulsgabe für die Filterabreinigung erfolgen soll (siehe dazu auch Anhang A4-2).

Bei diesem Umbau wurde auch das defekte Heizkabel für die obere Klappe und das Schleusenrohr entdeckt und repariert.

4.2.6 Testfahrt #4

4.2.6.1 Betriebsparameter

Düngersorte:	AMS Kalk
Produktion:	15 t/h
Abreinigungszyklus:	30 min
Abreinigungsdruck:	4 bar
Austragsintervall:	15 min
Klappenmodus:	o-z, u-z
Datum und Uhrzeit Start:	14.09. - 11:20 Uhr
Datum und Uhrzeit Ende:	15.09. - 10:00 Uhr
Heizung:	Gehäuse + Sammeltrichter (75°C), obere Klappe + Schleusenrohr (Kabel 75°C)

4.2.6.2 Beschreibung

Diese Testfahrt war die einzige mit der Düngersorte AMS + Kalk. Zudem konnte durch die neue Programmierung erstmals der Klappenmodus 2 getestet werden. Die Beheizung der oberen Klappe und eines Teils des Schleusenrohres war ebenfalls neu.

Am 15.09. vormittags wurde die Produktion auf AMS 27,5% umgestellt. Kurz vorher wurde der Pilotfilter abgeschaltet und inspiziert. Der gesamte Filter war weitgehend frei von Anbackungen. Die Filterelemente befanden sich in einem tadellosen Zustand. Nach der Inspektion wurde der Filter wieder in Betrieb genommen, um die Produktionsumstellung auf eine andere Düngersorte zu testen (Testfahrt #5).

4.2.7 Testfahrt #5

4.2.7.1 Betriebsparameter

Düngersorte:	AMS 27,5%
Produktion:	16,5 t/h
Abreinigungszyklus:	30 min
Abreinigungsdruck:	4 bar
Austragsintervall:	an Filterabreinigung gekoppelt (30 min)
Klappenmodus:	o-o, u-z
Datum und Uhrzeit Start:	15.09. - 11:20 Uhr
Datum und Uhrzeit Ende:	17.09. - 10:30 Uhr
Heizung:	Gehäuse + Sammeltrichter (75°C), obere Klappe + Schleusenrohr (Kabel 75°C)

4.2.7.2 Beschreibung

Nach einer Betriebsdauer von ca. 22 Stunden wurde der Auslaufkegel vom Bedienpersonal gereinigt, weil kein Austrag mehr stattfand. Nach weiteren 24 Stunden fand abermals kein Austrag mehr statt. Daraufhin wurde die Testfahrt abgebrochen.

4.2.7.3 Anmerkung

Der Auslaufkegel und das Schleusenrohr waren vollständig mit Staub aufgefüllt. Im Kegel war der Staub hart verbacken.

Der Sammeltrichterauslass, die obere Klappe und die Filterelemente waren in gutem Zustand. Im Filtergehäuse und in der oberen Hälfte des Sammeltrichters hatte sich eine ca. 3 cm dicke und verhärtete Düngerschicht abgelagert.

4.2.8 Testfahrt #6

Diese Testfahrt wurde während der gleichen Produktionskampagne durchgeführt wie die Testfahrt #5. Es galt herauszufinden, ob der geänderte Klappenmodus Einfluss auf die Verstopfung des Auslaufkegels hat. Da die untere Klappe nicht beheizt wurde, sah man den Vorteil von Modus 2 (beide Klappen während der Filtration geschlossen) darin, dass der Staub auf dem beheizten oberen Klappenteller gesammelt wird und somit nur beim Austrag mit dem unteren Klappenteller in Berührung kommt.

4.2.8.1 Betriebsparameter

Düngersorte:	AMS 27,5%
Produktion:	16,5 t/h
Abreinigungszyklus:	30 min
Abreinigungsdruck:	4 bar
Austragsintervall:	an Filterabreinigung gekoppelt (30 min)
Klappenmodus:	o-z, u-z
Datum und Uhrzeit Start:	17.09. - 11:10 Uhr
Datum und Uhrzeit Ende:	19.09. - 21:45 Uhr
Heizung:	Gehäuse + Sammeltrichter (75°C), obere Klappe + Schleusenrohr (Kabel 75°C)

4.2.8.2 Verlauf

Trotz des veränderten Austragsmodus war der Auslaufkegel nach 24 Stunden wieder zugewachsen. Nach der Reinigung wurde der Versuch fortgesetzt. Bei Versuchsabbruch am 19.09. um 21:45 Uhr war auch ein Großteil des Sammeltrichters mit Staub gefüllt. Die bei der vorhergehenden Testfahrt erwähnte Düngerschicht im Filtergehäuse und der oberen Hälfte des Sammeltrichters hatte sich weiter aufgebaut.

4.2.9 Resümee der Testfahrten #4, #5 und #6

Die weitere Verminderung des Auslaufquerschnittes und die fehlende Beheizung führten zu zahlreichen Verstopfungen der Schleuse. Auffallend war auch, dass die Anbackungen auf der Oberseite des unteren Klappentellers sehr schwer abzureinigen waren. Auch dies spricht für eine fehlende Wärmequelle.

Da zu keinem Zeitpunkt Falschlufft in den Filter gelangte und auch keine Produktionsstörungen vorlagen, hatten die Filterschläuche die drei Testläufe ohne zusätzliche Reinigung gut überstanden.

4.2.10 Zweite konstruktive Veränderung

Im Oktober fand keine Produktion statt. Diese Zeit wurde für eine gründliche Reinigung und einen Umbau des Filters genutzt. Die Filterschläuche wurden entnommen, vom Stützkäfig abgezogen und mit Wasser gereinigt. Anstelle des Auslaufkegels wurde ein Fallrohr (DN 300) mit einer Länge von 1.000 mm montiert. Um die vollständige Beheizung der Abscheideanlage zu ermöglichen, war die Anbringung eines weiteren Heizkabels für den unteren Teil des Schleusenrohres, der unteren Klappe und des Fallrohres vorgesehen. In Folge eines Missverständnisses wurde jedoch das bereits

vorhandene Heizkabel zur Temperierung der oberen Klappe, des Schleusenrohres, der unteren Klappe und des Fallrohres herangezogen.

4.2.11 Testfahrt #7

Bei dieser Testfahrt gab es die Möglichkeit, den Filter mit der laut den Befeuchtungstests am schwierigsten handzuhabenden Düngersorte AMS Mg 25% + S auf seine Zuverlässigkeit nach dem Umbau zu überprüfen. Am 20.11. vormittags wurde die Produktion auf AMS Mg 27,5% umgestellt. Aufgrund der vorangegangenen Versuche kam man zu dem Schluss, dass es besser ist, den Filter in regelmäßigen Abständen zu inspizieren, als ihn bis zum endgültigen Stillstand zu fahren. Dadurch konnten umfangreiche Reinigungsarbeiten abgewendet und alle Bereiche des Produktionsprozesses durchlaufen werden.

4.2.11.1 Betriebsparameter

Düngersorte:	AMS Mg 25% + S und AMS Mg 27,5%
Produktion:	15 t/h
Abreinigungszyklus:	30 min
Abreinigungsdruck:	4 bar
Austragsintervall:	10 min
Klappenmodus:	o-o, u-z
Datum und Uhrzeit Start:	14.11. - 19:30 Uhr
Datum und Uhrzeit Ende:	26.11. - 03:00 Uhr
Heizung:	Gehäuse + Sammeltrichter (75 °C); Klappe oben + Schleusenrohr + Klappe unten + Auslauf (Kabel 75 °C)

4.2.11.2 Verlauf

14.11. – 23:53	1. Inspektion: Beide Klappenteller sind auf der Oberseite leicht mit Staub belegt.
15.11. – 11:30	2. Inspektion: Im Schleusenrohr, am Sitz der unteren Klappe, beginnt sich ein Feststoffring aufzubauen. Anbackungen befinden sich auf der Klappentelleroberseite der unteren Klappe.
15.11. – 23:25	3. Inspektion: Es sind keine nennenswerten Veränderungen sichtbar.
16.11. – 11:06	4. Inspektion: Es sind keine nennenswerten Veränderungen sichtbar.

- 16.11. – 18:56 Meldung „Hochalarm“. Durch einen Bedienfehler wurde die manuelle Ansteuerung der unteren Klappe aktiviert und geöffnet. Als Folge der falschen Bedienweise wurde für ca. 1 Minute Falschlufft in den Filter eingesogen.
- 16.11. – 23:46 5. Inspektion: Die Filterelemente sind zugebacken. Eine Abreinigung der Filterelemente für eine Dauer von 10 Minuten in 10sekündlichen Abständen zeigt, dass sich die Verbackungen dadurch teilweise entfernen lassen. (s. a. Abbildung 4-4: Filterelemente – 5. Inspektion)
- 17.11. – 10:54 6. Inspektion: Die Auswahl für die Filterabreinigung wird im Modus „Abreinigungsdifferenzdruck =5 mbar“ vorgefunden. Seit der letzten Inspektion wurden lediglich zwei Schlauchreihen einmal abgereinigt. Der Aufbau eines dicken Filterkuchens ist zu erkennen. Die Abreinigung der Filterelemente in 10-Sekunden-Intervallen für eine Dauer von 10 Minuten, bringt gute Ergebnisse.
- 17.11. – 19:39 7. Inspektion: Es sind keine nennenswerten Veränderungen sichtbar.
- 18.11. – 11:56 8. Inspektion: Der bei der 2. Inspektion erwähnte „Ring“ wächst langsam, jedoch stetig.
- 18.11. – 20:34 9. Inspektion: Es sind keine nennenswerten Veränderungen sichtbar.
- 19.11. – 06:25 Die Zudosierung von Steinmehl ist defekt. (Seit diesem Zeitpunkt steigt der Filterdifferenzdruck kontinuierlich an.)
- 19.11. – 10:54 10. Inspektion: Die Filterschläuche sind mit Staub belegt.
- 19.11. – 17:30 11. Inspektion: Auch die Anbackungen auf dem oberen Klappenteller wachsen stetig an. Der Belag der Filterschläuche lässt sich mit Druckstößen nicht mehr abreinigen. Filterdifferenzdruck konnte jedoch von 4 auf durchschnittlich 2 mbar reduziert werden.
- 19.11 – 22:00 „Ab 22 Uhr Probleme! Zyklone mehrmals aufgefüllt.“ (Schichtbucheintrag)

- 20.11. – 07:36 12. Inspektion: Es sind deutliche Ablagerungen im Sammeltrichter zu erkennen. Die Anbackung am oberen Klappenteller ist deutlich gewachsen. Der „Ring“ über der unteren Klappe beginnt sich zu einer Feststoffbrücke auszubilden. Wuchtige Ablagerungen kleiden die Filterschläuche. Ein Schlauch ist sogar mit der Gehäusewand „zusammengewachsen“. Der Differenzdruck ist wieder kontinuierlich auf 4,4 mbar gestiegen. Es wird mit der Umstellung auf AMS Mg 27,5% begonnen.
- 20.11. – 14:00 13. Inspektion: Mit einer Umstellung der Abreinigungsfrequenz auf 2 Minuten, mit einem Abreinigungsdruck von 4,9 bar (maximal verfügbarer Druck), wird versucht die Filterelemente von den Anbackungen zu befreien.
- 20.11. – 15:37 Der Differenzdruck ist auf durchschnittlich 2,8 mbar gefallen. Die Abreinigungsfrequenz wird auf 5 Minuten umgestellt und die Austragsabfolge wird an den Abreinigungsimpuls gekoppelt. Der maximale Abreinigungsdruck von 4,9 bar wird beibehalten.
- 21.11. – 20:30 14. Inspektion: Die beginnende Feststoffbrücke über der unteren Klappe ist weiter angewachsen. Die Filterelemente lassen sich nicht mehr von dem Düngermantel befreien. Im unteren Teil des Sammeltrichters hat sich vermehrt Staub abgesetzt. Die Anbackungen beginnen nach unten zu sitzen. (s.a. Abbildung 4-5: Sammeltrichter – 14. Inspektion)
- 22.11. – 15:30 15. Inspektion: Die Ablagerungen im Trichter beginnen aufzureißen.
- 23.11. – 09:00 16. Inspektion: Der Sammeltrichter droht zu verstopfen.
- 23.11. – 11:00 Die Vibrationssonde wurde entfernt. Nach Rücksprache mit Herrn Prof. Staudinger wurde mit einem 500g Hammer auf den, für die Montage der Vibrationssonde vorgesehenen Rohrstutzen, am Schleusenrohr geschlagen.

- 23.11. – 17:00 17. Inspektion: Nach dem Klopfexperiment findet kein Austrag mehr statt. Das Klopfen führte zum Verstopfen des Trichters.
(Um das Ausfahren der Anlage noch mitmachen zu können, wurde der Trichter von unten mit einem Besen abgereinigt.)
- 24.11. – 11:45 18. Inspektion: Im Trichter haben sich erneute Ablagerungen gebildet.
- 25.11. – 22:43 19. Inspektion: Das Klopfexperiment wird wiederholt. Ein kleiner Teil der Ablagerungen hat sich dadurch gelöst.
- 26.11. – 03:00 Die Anlage wurde ausgefahren. Der Trockenteil wurde bis zum Versuchsende mit Dampf beheizt.

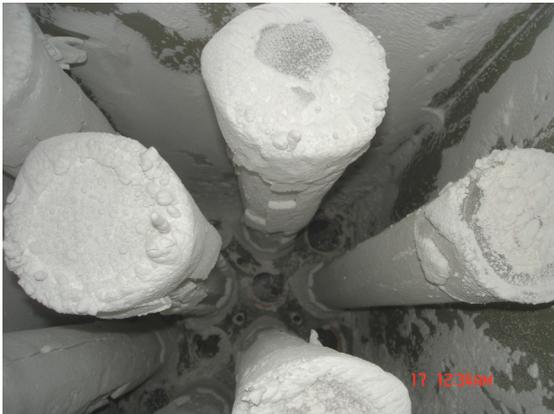


Abbildung 4-4: Filterelemente – 5. Inspektion



Abbildung 4-5: Sammeltrichter – 14. Inspektion

4.2.11.3 Anmerkung

Der Defekt der Steinmehldosierung führte zu einem Anstieg der relativen Luftfeuchte auf ~28%.

Die Vibrationssonde wurde nicht wieder verbaut, da sie größtenteils Fehlalarme gemeldet hat und die Alarme dadurch vom Anlagenpersonal nicht mehr ernst genommen wurden.

4.2.12 Regeltechnische Veränderung

Für die hohe Staubentwicklung, wie sie in der Nacht vom 19. auf den 20.11. aufgetreten ist, reicht ein Abreinigungsintervall von 30 Minuten nicht mehr aus. Deshalb wurde die Steuerung des Abreinigungsimpulses umprogrammiert. Zuvor konnte man sich entscheiden ob die „Abreinigungszeit“ oder der „Differenzdruck“ den Impuls für die Schlauchabreinigung geben soll. Nun ist es möglich, den Impuls sowohl

nach einer abgelaufenen Zeitspanne, als auch bei Erreichen eines bestimmten, nicht zu überschreitenden Differenzdruckes, auszulösen.

4.2.13 Testfahrt #8

Bei dieser Testfahrt wurde der Filter erstmals vollständig in den Produktionsablauf implementiert. Dazu gehört, dass der Filter nach der letzten Testfahrt nicht gereinigt wurde, das Einfahren, der stationäre Betrieb und das Ausfahren der Düngeranlage.

Um einen Vergleich zu den bereits verbackenen Filterschläuchen anstellen zu können, wurde ein Filterschlauch mit Hilfe von Druckluft von den Anbackungen befreit.



Abbildung 4-6: Trichter – Ausgangssituation



Abbildung 4-7: Schläuche – Ausgangssituation

4.2.13.1 Betriebsparameter

Düngersorte:	AMS 27,5%
Produktion:	15 t/h
Abreinigungsimpuls:	15 min/3 mbar
Abreinigungsdruck:	4,9 bar
Austragsintervall:	5 min
Klappenmodus:	o-o, u-z
Datum und Uhrzeit Start:	03.12. - 09:00 Uhr
Datum und Uhrzeit Ende:	05.12. - 12:00 Uhr
Heizung:	Gehäuse + Sammeltrichter (75 °C); Klappe oben + Schleusenrohr + Klappe unten + Auslauf (Kabel 75 °C)

4.2.13.2 Beschreibung

Um den Granulationsprozess beim Einfahren in Gang zu bringen, wird Gutkorn aus einer früheren Produktion zugegeben. Diesmal wurde jedoch nicht nur Gutkorn, sondern fälschlicherweise auch Staub, der als Abfall entsorgt werden sollte,

zugegeben. Dieser Staub war mit dem Antibackmittel Galoryl (Konservierung des fertigen Düngerkorns) versetzt. Deshalb konnte kein Korn granuliert, sondern nur Staub produziert werden. Nach 2 Tagen wurde die Produktionsanlage wieder ausgefahren, weil sich mehr als 100 t/h Staub im Umlauf befanden.

Die Zugabe des kalten Gutkorns bewirkt einen Temperaturabfall der Trocknerluft auf ca. 40 °C. In Verbindung mit der feuchten Maische kommt es so zu einer relativen Luftfeuchte von über 70%.

Die hohe Staubentwicklung führte beim Filter erneut zum Aufbau des „Ringes“ vor der unteren Klappe. Der Sammeltrichter war fast bis zur Gänze zugebacken. Aufgrund der Klappenbewegung wurde immer eine kleine Öffnung freigehalten, durch welche der abgefilterte Staub ausgetragen werden konnte.

Die Filterelemente litten sehr unter den Bedingungen beim Einfahren. Auf dem „Referenzschlauch“ hatten sich kleine, kompakte Knollen gebildet, die bei Druckeinwirkung zu Brösel zerfallen. Die hohe Staubbelastung hatte den Schläuchen kaum zugesetzt.



Abbildung 4-8: Trichter - Endsituation



Abbildung 4-9: Schläuche - Endsituation

4.2.14 Resümee der Testfahrten #7 und #8

4.2.14.1 Begleitheizung

Die Anbackungen im Sammeltrichterauslauf, auf den Klappentellern beider Klappen und im Schleusenrohr zeigten, dass durch die großflächige Verlegung des Heizkabels die Wärmestromdichte nicht mehr ausreichte, um diese Teile auf einer konstanten Temperatur von 75 °C zu halten. Die Wärmeverluste an die Umgebung waren höher als die zugeführte Wärme. Vor allem die Klappenwellen müssen gut mit Wärme versorgt werden, um die Anbackungen auf den Klappentellern so gering wie möglich zu halten.

4.2.14.2 Filterelemente

Folgende zwei Faktoren beeinflussten die Anbackungen an den Schläuchen merklich. Eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte über 20% führte zu starken, schlecht durchlässigen Ablagerungen. Das Ansaugen von kalter Umgebungsluft zeigte sich in Form von einem porösen und verhärteten Filterkuchen. In beiden Fällen ließen sich die Filterschläuche nicht mehr von ihrem Belag befreien.

Eine hohe Staubbelastung des Rohgases stellte aufgrund der regeltechnischen Veränderung kein Problem mehr dar.

4.2.14.3 Horizontale Flächen

Der Klappentellerdurchmesser betrug 290 [mm]. Das Schleusenrohr hatte einen Innendurchmesser von rund 300 [mm]. Die dadurch entstandene horizontale Kreisringfläche begünstigte den Aufbau des „Ringes“, wie im Verlauf der 7. Testfahrt beschrieben.

4.2.15 Veränderung der Begleitheizung

Infolge der Beobachtungen aus den Testfahrten #7 und #8 wurde für den unteren Teil des Sammeltrichters und der oberen Klappe ein Heizband (6 [m] à 40 [W/m]) angelegt (ohne Steuerung). Zusätzlich wurde ein Temperatursensor (Pt 100) am Trichterauslauf angebracht. Dieser wurde für die Temperatursteuerung des Filtergehäuses herangezogen, da man vor allem in diesem Bereich die voreingestellte Temperatur konstant halten wollte. Der Thermofühler am Gehäuse wurde mit einem Recorder überwacht. Nach einer Aufwärmphase von 12 Stunden (im Stillstand) zeigten beide Messeinrichtungen den gleichen Wert (~80 °C). Für die Temperierung des Schleusenrohres, der unteren Klappe und eines Teils des Auslaufrohres diente das bereits vorhandene selbstregulierende Heizkabel.

4.2.16 Testfahrt #9

4.2.16.1 Betriebsparameter

Düngersorte:	AMS 27,5%
Produktion:	15 t/h
Abreinigungsimpuls:	5 min/3 mbar
Abreinigungsdruck:	4,9 bar
Austragsintervall:	an Abreinigungsimpuls gekoppelt
Klappenmodus:	o-z, u-z
Datum und Uhrzeit Start:	16.12. - 07:30 Uhr
Datum und Uhrzeit Ende:	22.12. - 09:30 Uhr
Heizung:	Gehäuse + Sammeltrichter + Klappe oben (80 °C); Schleusenrohr + Klappe unten + Auslauf (Kabel 75 °C)

4.2.16.2 Verlauf

Der VersuchsfILTER wurde unmittelbar vor der Zugabe des Umlaufmaterials in Betrieb genommen. Wie schon bei den vorigen Einfahrversuchen beobachtet, fiel auch dieses Mal die Temperatur am Ausgang der Trockentrommel auf unter 50 °C ab. Nach der Stabilisierung der Produktionsparameter „Umlauf“ und „Produktion“, wurde die erste Inspektion vorgenommen.

- 16.12. – 11:00 Uhr
1. Inspektion: Am oberen Klappenteller hatte sich viel Staub angehäuft. Im Trichterauslauf hatte sich ein durchgehender Ring aufgebaut. Zur Abschätzung des Einflusses eines pneumatischen Klopfers wurde wieder das „Klopfexperiment“ durchgeführt. Durch das Klopfen konnte die Anhäufung am Klappenteller weitgehend entfernt werden. Der Trichter wurde bei dieser Aktion ebenfalls von dem lose sitzenden Staub befreit. Die Ablagerungen am Trichterauslauf blieben bestehen. (s. a. Abbildung 4-10 und Abbildung 4-11)
- 16.12. – 17:30 Uhr
2. Inspektion: Am oberen Klappenteller befanden sich erneut starke Ablagerungen. Die Ablagerungen am Trichterauslauf drohten sich zu einer Brücke über der Klappe zu formieren. Durch das „Klopfexperiment“ konnten beide Beläge entfernt werden.

- 17.12. – 14:30 Uhr 3. Inspektion: Die Erscheinungsbilder vor und nach dem Klopfexperiment gleichten denen der 1. Inspektion.
- 18.12. – 12:00 Uhr 4. Inspektion: Der gesamte Sammeltrichter und der obere Klappenteller waren stark mit Dünger belegt. Das Klopfen brachte keine Veränderung.
- 19.12. – 18:30 Uhr 5. Inspektion: Die Anbackungen wuchsen weiter an. Da ein Verstopfen des Trichters zu erwarten war, wurde dieser erfolgreich mit einer Druckluftlanze ausgeblasen. So konnte die Testfahrt bis zum Ende der Produktionskampagne fortgeführt werden.
- 22.12. – 09:30 Uhr Die Anlage wurde ausgefahren. Trotz massiven Rückständen im Trichter fand bis zum Ende ein Austrag statt.



Abbildung 4-10: „Klopfexperiment“ (vorher)



Abbildung 4-11: „Klopfexperiment“ (nachher)

4.2.17 Testfahrt #10

4.2.17.1 Betriebsparameter

Düngersorte:	AMS 27,5%
Produktion:	15 t/h
Abreinigungsimpuls:	5 min/3 mbar
Abreinigungsdruck:	4,9 bar
Austragsintervall:	an Abreinigungsimpuls gekoppelt
Klappenmodus:	o-o, u-z
Datum und Uhrzeit Start:	04.01. - 11:00 Uhr
Datum und Uhrzeit Ende:	12.01. - 07:00 Uhr
Heizung:	Gehäuse + Sammeltrichter + Klappe oben (80 °C); Schleusenrohr + Klappe unten + Auslauf (Kabel 75 °C)

4.2.17.2 Beschreibung

Diese Testfahrt wurde vom Anlagenpersonal selbständig durchgeführt. Wieder war am Anfang – durch die Zugabe des Gutkorns – die Trocknerausgangstemperatur auf unter 50°C gefallen. Am 08.01. wurde der Filter das erste Mal inspiziert. Der Sammeltrichter war sehr zugebacken, jedoch noch durchlässig. Nach einer manuellen Reinigung wurde der Betrieb bis zum Ausfahren fortgesetzt. Bei der Endinspektion bot sich ein ähnliches Bild wie bei der 1. Inspektion.

4.2.18 Resümee der Testfahrten #9 und #10

4.2.18.1 Beheizung

Bei der ersten Inspektion der 9. Testfahrt war bereits aufgefallen, dass die Temperaturverteilung im Filter nicht gleichmäßig war. Im weiteren Verlauf wurden die Messwerte der Temperatursensoren mitprotokolliert. Als Referenz zu diesen Werten wurden bei den Inspektionen die Oberflächentemperaturen im Inneren des Filters mit einem Infrarotthermometer überprüft. Bei stationärem Betrieb und einer Solltemperatur von 80 °C, stieg die Temperatur im Sammeltrichter und an der oberen Klappe auf über 90 °C an. Im Gehäuseteil hingegen sank die Temperatur auf 60 °C ab. Die zusätzliche Beheizung durch das unregelmäßige Heizband hatte somit zu großen Einfluss auf die Temperatursteuerung.

Wie die Laboruntersuchungen gezeigt haben, begünstigen beide Temperaturen die Entstehung von Anbackungen. Bei hohen Temperaturen bleibt der Staub zwar pulvrig, haftet jedoch vermehrt an den freien Oberflächen an.

4.2.18.2 Klopffexperiment

Durch das Klopfen mit dem Hammer konnten die Beläge von den Klappen weitgehend entfernt werden. Der Trichter wurde dabei ebenfalls von dem lose sitzenden Staub befreit.

4.2.19 Dritte konstruktive Veränderung

4.2.19.1 Beheizung

Aus den Testfahrten ging hervor, dass für eine ausreichende Wärmezufuhr gesorgt werden muss, um die Anbackungen so gering wie möglich zu halten. Die letzten zwei Testfahrten und die Laborversuche zeigten, dass zu hohe Oberflächentemperaturen Anbackungen wiederum begünstigen.

Da zum Beispiel der Sammeltrichter und das Gehäuse unterschiedlich vom Rohgas umspült werden, entstehen ungleiche Anforderungen an die Beheizung der jeweiligen Abschnitte. Deshalb ging man dazu über, den Sammeltrichter und das Gehäuse getrennt voneinander zu steuern (s. a. 4.1.3 Beheizung und Isolierung).

4.2.19.2 Klopfer

Das Klopffexperiment hatte gezeigt, dass es möglich ist, bestehende Anbackungen durch Erschütterung zu lösen. Deshalb wurde am Schleusenrohr ein pneumatischer Klopfer angebracht. Geklopft wurde zwei Mal innerhalb eines Austragungszyklus. Einmal wenn die obere Klappe geöffnet war, das zweite Mal bei geöffneter unterer Klappe.

4.2.19.3 Horizontale Flächen

Um dem Aufbau von Ablagerungen an den horizontalen Kreisringoberflächen (Ringbalg der Klappen) entgegenzuwirken, wurde der Schleusenrohrdurchmesser auf den kleinstmöglichen Innendurchmesser der Rohrleitung verringert (293 mm).

4.2.20 Testfahrt #11

Zusätzlich zu den Aufzeichnungen im Prozessleitsystem wurde nun das Anlagenpersonal dazu angehalten ein Versuchsprotokoll zu führen. In stündlichen Intervallen wurden die Ein- und Austrittstemperaturen des Gases wie auch die Messwerte der Temperatursteuerungen (Gehäuse, Sammeltrichter) festgehalten.

4.2.20.1 Betriebsparameter

Düngersorte:	AMS 27,5%
Produktion:	15 t/h
Abreinigungsimpuls:	5 min/3 mbar
Abreinigungsdruck:	4,9 bar
Austragsintervall:	an Abreinigungsimpuls gekoppelt
Klappenmodus:	o-z, u-z
Datum und Uhrzeit Start:	22.01. - 09:15 Uhr
Datum und Uhrzeit Ende:	29.01. - 10:00 Uhr
Heizung:	Gehäuse (75 °C); Sammeltrichter + Klappe oben (75 °C); Schleusenrohr + Klappe unten (Kabel 75 °C)
Klopfer:	eingeschalten

4.2.20.2 Verlauf

Der VersuchsfILTER wurde beim Anfahren der Produktionsanlage in Betrieb genommen, nachdem sich die Trocknerausgangstemperatur nach der Zugabe des kalten Umlaufkorns wieder auf ~85 °C eingependelt hatte. Am 25.01. (nach 74 Stunden Dauerbetrieb) wurde der Filter erstmals visitiert. Es hatten sich keine Anbackungen gebildet. Auch bei der Endkontrolle nach dem Ausfahren der Anlage hatte sich nur wenig Staub am oberen Klappenteller angesammelt.

Die Filterelemente waren bei beiden Kontrollen mit einem knollenförmigen Belag behaftet. Der Differenzdruck erhöhte sich im Laufe des Versuchs auf 5 mbar.

4.2.20.3 Anmerkung

Beim Ausfahren wurde der Rührkessel mit Brüdenwasser gereinigt. Dieses Wasser gelangte über den Granulator in die Trockentrommel und hob die relative Luftfeuchte auf über 40% an.

4.2.20.4 Ergebnis und Interpretation

Aus den Temperaturlaufzeichnungen geht hervor, dass die Oberflächentemperatur im Gehäuse und im Konus durchschnittlich 75 °C betrug.

Bei der Beobachtung des Austragsvorganges war aufgefallen, dass direkt nach dem Klopfimpuls vermehrt Staub ausgeschieden wurde.

Das Zusammenspiel aus kontrollierter Beheizung und Förderung des Materials durch einen Klopfimpuls wirkt gegen hartnäckige Verbackungen im regulären Betrieb.

Der Aufbau des „Ringes“ konnte durch die Minimierung der waagrechten Flächen vermieden werden.

4.3 Zusammenfassung der Testfahrten

Ziel der Testfahrten war es, apparatebauliche wie auch steuertechnische Schwachstellen der jeweils vorliegenden Konstruktionen aufzuzeigen. Der Pilotfilter wurde etappenweise so angepasst, dass – bei voller Eingliederung in den Produktionsprozess – eine kontinuierliche Filtration gewährleistet werden kann. Zur vollen Eingliederung gehören neben dem staubintensiven Ein- und Ausfahren, die Umstellung der Düngersorte während der laufenden Produktion und verschiedenste – durch äußere Einflüsse hervorgerufene – Produktionsstörungen (Förderbandriss, Stromausfall, menschliches Versagen, etc.). Eine tabellarische Zusammenfassung der Testläufe befindet sich auf Seite 65.

Bei den Testfahrten #1 bis #7 wurde der Filter nach dem Anfahren der Produktionsanlage in Betrieb genommen. Während der ersten beiden Testfahrten hatte man aufgrund einer schlecht programmierten Austragssequenz noch mit dem Eintrag von Falschluff durch die Schleuse zu kämpfen. Durch das Ansaugen von Umgebungsluft bildeten sich verhärtete Anbackungen an den Filterschläuchen, die sich auch durch mehrmalige Abreinigungsdruckluftstöße nicht mehr entfernen ließen. Wie bei den beiden Testfahrten zuvor, führte bei der dritten Testfahrt die fehlende Beheizung des Schleusenrohres und der Klappen zum mehrmaligen Verstopfen der Austragsvorrichtung.

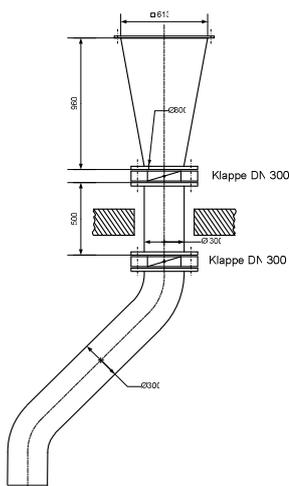


Abbildung 4-12: Fallrohr auf Förderband

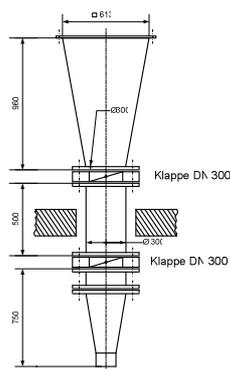


Abbildung 4-13: Auslaufkegel

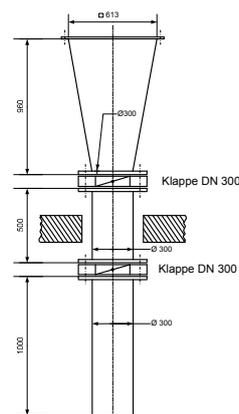


Abbildung 4-14: Freies Fallrohr

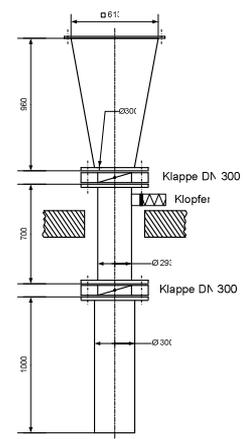


Abbildung 4-15: Klopfer

Tabelle 4-1: Übersicht über die Testläufe

Testfahrt #	Dauer (h)	Klappenmodus	Klopfers	Beheizung					Anbackungen					Versuchsende	Anmerkungen	
				Gehäuse	Filtertrichter	Klappe oben	Schleusenrohr	Klappe unten	Auslauf	Filterelemente	Trichter	Klappe oben	Schleusenrohr			Klappe unten
Konstruktion: Fallrohr auf Förderband																
1	25	1		x	x							x	x			Falschluff; unzureichende Beiheizung; hohe rF.
2	20	1		x	x							x	x			Falschluff; unzureichende Beiheizung
3	52	1		x	x							x	x			unzureichende Beiheizung
Konstruktion: Auslaufkegel mit Fallschlauch																
4	23	2		x	x	x	x									
5	47	1		x	x	x	x							x		Produktionsumstellung
6	59	2		x	x	x	x							x		Verstopfen des Auslaufkegels
Konstruktion: Fallrohr mit freiem Ende																
7	272	1		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			zu geringe Beiheizung
Regeltechnische Veränderung des Abreinigungsimpulses																
8	51	1		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			zu geringe Beiheizung; hohe rF.; sehr hohe Staubbentwicklung
Montage eines zusätzlichen unregelmäßig geheizten Heizbandes für den Sammeltrichter und die obere Klappe																
9	146	2		x	x	x	x	x	x							zu hohe Temperatur
10	188	1		x	x	x	x	x	x							zu hohe Temperatur
Regelung der gesamten Filterbeheizung und anbringen eines pneumatischen Klopfers																
11	169	2	x	x	x	x	x	x	x							Ausfahren der Anlage

Da die Konstruktion der Testfahrten #1 bis #3 den Filter für Reinigungsarbeiten unzugänglich machte, wurde ein Auslaufkegel mit Fallschlauch montiert (siehe auch Anhang A6-3). Dieser wurde für einen Mann demontierbar ausgeführt, sodass von unten ein Zugang zur Doppelklappenschleuse entstand. Außerdem wurde ein selbstregulierendes Heizkabel für die obere Klappe und das Schleusenrohr angebracht. Der Kegel war mit keiner Wärmequelle versehen worden. Im Zusammenspiel mit der Reduzierung des Auslaufquerschnittes verbackte der Auslaufkegel während der Testfahrten #5 und #6 nach spätestens 24 Stunden Dauerbetrieb.

In weiterer Folge wurde anstelle des Auslaufkegels ein Fallrohr (DN 300) mit einer Länge von 1.000 mm montiert. Das Heizkabel, welches zuvor der Beheizung der oberen Klappe und des Schleusenrohres diente, wurde nun zur Temperierung der gesamten Austragsvorrichtung (obere Klappe, Schleusenrohr, untere Klappe und Fallrohr) herangezogen. Mit dieser Konfiguration gelang es trotz Produktionsstörungen erstmals, eine vollständige Produktionskampagne, mit Ausnahme des Einfahrprozesses, durchzufahren (Testfahrt #7).

Zwar hatten sich im gesamten Filter Anbackungen gebildet, diese führten jedoch nicht zum Versagen der Abscheideeinheit. Im Schleusenrohr hatte sich eine ringförmige Anbackung gebildet. Aufgrund der unterschiedlichen Durchmesser des Schleusenrohres und des Klappentellers entstand eine horizontale Kreisringoberfläche, welche die Ablagerung von Staub in diesem Bereich begünstigte. Die hohe Staubfracht und die



Abbildung 4-16: Anbackung im Schleusenrohr

erhöhte relative Luftfeuchte während der Produktionsstörung führten auch zu erheblichen Ablagerungen im Sammeltrichter, am Klappenteller der oberen Klappe und den Filterschläuchen. Um dem Verbacken der Filterschläuche entgegenzuwirken, wurde die Steuerung des Abreinigungsimpulses umprogrammiert. Zuvor konnte man sich entscheiden, ob die „Abreinigungszeit“ oder der „Differenzdruck“ den Impuls für die Schlauchabreinigung geben soll. Nun war es möglich den Impuls, sowohl nach einer abgelaufenen Zeitspanne, als auch bei Erreichen eines bestimmten nicht zu überschreitenden Differenzdruckes auszulösen.

Durch diese Maßnahme gelang es bei der darauffolgenden Testfahrt #8 trotz außergewöhnlich hoher Staubentwicklung (die Produktion wurde nach 2 Tagen

abgebrochen, weil sich die Maische nicht granulieren ließ), die Filterelemente in einem guten Zustand zu erhalten. Wie schon bei der Testfahrt #7 bildete sich wieder der Feststoffring über der unteren Klappe. Die Anbackungen im Sammeltrichterauslauf, auf den Klappentellern beider Klappen und im Schleusenrohr zeigten, dass durch die großflächige Verlegung des Heizkabels die Wärmestromdichte nicht mehr ausreichte, um diese Teile auf einer konstanten Temperatur von 75 °C zu halten.

Deshalb wurde für den unteren Teil des Sammeltrichters und der oberen Klappe ein zusätzliches Heizband (6 [m] à 40 [W/m]) angelegt. Bei den anschließenden Testfahrten #9 und #10 kam es zu starken Ablagerungen im Sammeltrichter und am oberen Klappenteller. Wie die Laboruntersuchungen gezeigt haben, begünstigen auch zu hohe Temperaturen die Entstehung von Anbackungen. Bei stationärem Betrieb und einer Solltemperatur von 80 °C, stieg die Temperatur im Sammeltrichter und an der oberen Klappe auf über 90 °C an.

Durch das Klopfen mit einem Hammer, auf den für die Montage des Füllstandsmelders vorgesehenen Rohrstutzen (Abbildung 4-17), konnten die Anbackungen auf dem oberen Klappenteller weitgehend entfernt werden. Der Trichter wurde aufgrund der Erschütterung ebenfalls von dem lose sitzenden Staub befreit.



Abbildung 4-17: Klopfstelle

Der anschließende Umbau beinhaltete die Anbringung eines pneumatischen Klopfers am Schleusenrohr, die Regelung der gesamten Beheizung und eine Anpassung des Schleusenrohrdurchmessers auf den kleinstmöglichen Innendurchmesser der Rohrleitung (293mm).

Die darauffolgende Testfahrt #11, mit einer Dauer von 169 Stunden (inklusive Ein- und Ausfahren der Produktionsanlage), bestätigte aufgrund fehlender Anbackungen, dass die richtigen Maßnahmen zur Förderung des abgeschiedenen Staubes getroffen wurden.

5 Ergebnis

Durch die Befeuchtungs- und Rieseltests wurde nachgewiesen, dass es ab einer relativen Luftfeuchte von 20% zu einem markanten Anstieg der Wasserbeladungskurve vom AMS-Dünger kommt. Diese „20%-Grenze“ äußert sich auch in einem auffallenden Verlust der Fließfähigkeit. Weiters ergab die Erstellung der Wasserbilanz, dass der Großteil des in der Maische enthaltenen Wassers nicht in der Trockentrommel, sondern bei der Granulation freigesetzt wird. Durch die direkte Verbindung des Granulators mit der Trockentrommel wird der Wasserdampf in die zu filternde Abluft eingebracht. Eine sinnvolle Herabsenkung der Abluftfeuchte könnte nur durch eine konstruktive Veränderung in diesem Bereich passieren.

Da die relative Luftfeuchte (bei konstanter Wassermenge) mit steigender Temperatur sinkt, können durch eine geeignete Temperierung a.) die Fließfähigkeit aufrecht erhalten und b.) Anbackungen vermindert, aber nicht verhindert werden. Wird die Temperatur zu hoch gewählt (über 90 °C), beginnt der Düngerstaub zu sintern, bis das reine Ammoniumnitrat bei 125 °C schließlich zu schmelzen beginnt.

Bei den Untersuchungen im Labor konnte auch beobachtet werden, dass trockener Düngerstaub, der über einen längeren Zeitraum in einem luftdicht verschlossenen Behältnis gelagert wird, trotzdem zusammensitzt und verbackt.

Einmal angelagertes Material kann, sofern ein gewisses Temperaturfenster eingehalten wird und die relative Luftfeuchte zuvor zu keinem Zeitpunkt mehr als 20% betragen hat, durch leichte Erschütterung wieder gelöst werden. Dieser Sachverhalt konnte durch die Rieseltests, das „Klopfexperiment“ und die Testfahrt #11 herausgefunden werden.

Dazu konnten durch die Testfahrten zwei Faktoren herausgearbeitet werden, welche die Anbackungen an den Filterschläuchen merklich beeinflussen:

- Eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte über 20% führt zu starken, schlecht durchlässigen Ablagerungen. Hierbei steigt der Filterdifferenzdruck kontinuierlich an.
- Das Ansaugen von kalter Umgebungsluft zeigt sich in Form eines porösen und verhärteten Filterkuchens. Hier wurde kein Anstieg des Filterdifferenzdruckes beobachtet.

In beiden Fällen ließen sich die Filterschläuche nicht mehr von ihrem Belag befreien.

6 Schlussfolgerung und Empfehlung

Die Schlussfolgerung bezieht sich auf den gesamten Granulationsprozess inklusive der nachgeschalteten Filteranlage und soll als Entscheidungshilfe für einen eventuellen Ankauf einer Großfilteranlage dienen.

6.1 Konstruktive Maßnahmen

Die Testfahrten haben gezeigt, dass eine vollständige Beheizung der gesamten Filteranlage unumgänglich ist, um den hartnäckigen Anbackungen entgegenzuwirken. Vor allem die Klappenwellen müssen gut mit Wärme versorgt werden, um Anbackungen auf den Klappentellern zu vermeiden. Da das Filtergehäuse und der Sammeltrichter unterschiedlich von der Abluft umspült werden, ist es auch notwendig diese Bereiche durch voneinander getrennte Regelkreise zu beheizen. Diese Maßnahme soll sicherstellen, dass die Temperatur in der gesamten Filteranlage konstant bleibt. Wird der Filter nach einer Produktionskampagne nicht gereinigt, muss dieser auch für die Dauer des Stillstandes weiter beheizt werden. Als optimale Heiztemperatur empfiehlt sich die Austrittstemperatur der Trockentrommel.

Das Zusammenspiel aus kontrollierter Beheizung und der Förderung des Materials durch einen Klopfimpuls hat sich im regulären Betrieb bewährt. Daher wird die Anbringung von pneumatischen Klopfern an den Problemstellen empfohlen. Auch die Klappen sollen schnell und mit „Anschlag“ öffnen, um einen Rütteleffekt hervorzurufen.

Bei der Konstruktion soll darauf geachtet werden, Vorsprünge, geneigte und ebene Flächen, die mit Düngerstaub in Kontakt kommen, zu vermeiden. Der Aufbau des „Ringes“ im Schleusenrohr konnte zum Beispiel durch die Minimierung der waagrechten Kreisringfläche verhindert werden.

6.2 Einfahren des AMS-Betriebes

Da eine Großanlage direkt an den Abluftventilator gekoppelt sein wird, lässt sich der Eintrag von kalter Umgebungsluft zu Beginn der Aufwärmphase der Trockentrommel kaum vermeiden. Auch die Zugabe des kalten Gutkorns, welches als Granulierhilfe dient, ist mit einem Abfall der Trocknerausgangstemperatur verbunden.

Vorausgesetzt die Warmzyklone bleiben erhalten, ist es ratsam, während der Aufwärmphase die Abluft über diese zu leiten und den Filter erst in Betrieb zu nehmen, wenn auch das Gutkorn auf Betriebstemperatur erwärmt ist.

6.3 Ausfahren des AMS-Betriebes

Nach dem Abstellen des Reaktors reichen die Brüden nicht mehr zum Beheizen der Trocknerluft aus. Es gelangt jedoch weiterhin Umlaufmaterial, vorwiegend Staub, in die Trockentrommel. Um ein Verbacken der Filterelemente zu vermeiden, muss das Heizregister so lange mit Dampf versorgt werden, bis die Trockentrommel vollständig entleert ist. Dann erst kann der Abluftventilator abgeschaltet und somit der Filter außer Betrieb genommen werden.

Beim Ausfahren wird das Rührwerk *R253* mit Brüdenwasser gereinigt. Dieses Wasser gelangt über den Granulator direkt in die Trockentrommel, was einen erheblichen Anstieg der relativen Luftfeuchte bedeutet. Um den Filter zu schonen, soll darauf geachtet werden, dass dieses Wasser während des Betriebs der Filteranlage nicht in die Trockentrommel gelangt.

6.4 Geschätzter Reinigungsaufwand

Der Sammeltrichter und die Doppelklappenschleuse müssen nach jeder Produktionskampagne gereinigt werden, um ein Zuwachsen der Austragsvorrichtung bei der nächsten Inbetriebnahme zu vermeiden.

Die Filterelemente müssen nur gereinigt werden, wenn sich hartnäckige Anbackungen nach der Kampagne gebildet haben. Solche hartnäckigen Anbackungen bilden sich nur beim Eintrag von Falschlufft oder feuchter Luft.

Bei Produktionsstörungen die zum Versagen der Zyklone führen, ist davon auszugehen, dass auch der kontinuierliche Austrag aus der Filteranlage gefährdet ist.

Da die Zyklone bei jedem Stillstand mit Wasser gereinigt werden, entspricht der geschätzte Reinigungsaufwand für eine Großfilteranlage dem der jetzt vorhandenen Zyklone.

6.5 Schlussbemerkung

Unter Einhaltung der zuvor gegebenen Empfehlungen ist eine Abscheidung des Düngerstaubes mit einer Schlauchfilteranlage, unter Einhaltung der Emissionsgrenzen, möglich. Ein kontinuierlicher und wartungsfreier Betrieb kann jedoch nicht gewährleistet werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-2: RI-Fließbild - Versuchsaufbau 2007	22
Abbildung 3-1: Bilanzierungsfließbild um den Trockenteil	25
Abbildung 3-2: Quellen des Wassereintrags	27
Abbildung 3-4: Versuchsaufbau Befeuchtungsanlage	28
Abbildung 3-5: Sättigungsbehälter mit Messinstrumenten (links) und Isolationshaube (rechts)	29
Abbildung 3-7: Wasseraufnahme vs. relative Luftfeuchte	34
Abbildung 3-8: Wasseraufnahme vs. Luftbeladung	34
Abbildung 3-9: Auswertung der Fließfähigkeit	36
Abbildung 3-10: Rieselfähigkeit als Kurvenschar im Mollier-h-x-Diagramm (s. a. Anhang A2)	37
Abbildung 3-11: Probe 110 °C	38
Abbildung 3-12: Probe bei 125 °C	38
Abbildung 4-1: RI-Fließbild des Versuchsfilters	39
Abbildung 4-2: Darstellung des Versuchsfilters im PLS	43
Abbildung 4-4: Filterelemente – 5. Inspektion	55
Abbildung 4-5: Sammeltrichter – 14. Inspektion	55
Abbildung 4-6: Trichter – Ausgangssituation	56
Abbildung 4-7: Schläuche – Ausgangssituation	56
Abbildung 4-8: Trichter - Endsituation	57
Abbildung 4-9: Schläuche - Endsituation	57
Abbildung 4-10: „Klopfexperiment“ (vorher)	60
Abbildung 4-11: „Klopfexperiment“ (nachher)	60
Abbildung 4-12: Fallrohr auf Förderband	64
Abbildung 4-13: Auslaufkegel	64
Abbildung 4-14: Freies Fallrohr	64
Abbildung 4-15: Klopfer	64
Abbildung 4-16: Anbackung im Schleusenrohr	66
Abbildung 4-17: Klopfstelle	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Modifikationen des Kristallgitters von Ammoniumnitrat	15
Tabelle 1-2: Wasserlöslichkeit von Ammoniumnitrat	16
Tabelle 1-3: Verschiedene Düngersorten und deren Rezepte	20
Tabelle 3-1: Maximalwerte der Beladung von Umgebungsluft in Visp	24
Tabelle 3-2: Trockengehalt des Düngers	25
Tabelle 3-3: Angaben für die Bilanz	26
Tabelle 3-4: Wasserfrachten in den einzelnen Stoffströmen	26
Tabelle 3-5: Auswertung der Messpunkte	31
Tabelle 3-6: Auswertung der verschiedenen Düngersorten	33
Tabelle 3-7: Bewertung der Rieselfähigkeit	35
Tabelle 3-8: Auswertung Rieseltest	36
Tabelle 4-1: Übersicht über die Testläufe	65

Literaturverzeichnis

- [1] Deutsches Institut für Normung e.V. 2008: DIN 66138. Isotherme Messung der Sorption von Dämpfen an Feststoffen, Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [2] Kast, Werner 1988: Adsorption aus der Gasphase. Ingenieurwiss. Grundlagen u. techn. Verfahren. Weinheim/Basel/Cambridge/New York: VCH
- [3] Krischer, O. 1963: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Springer – Verlag Berlin Göttingen Heidelberg
- [4] Kupfer, Klaus 1997: Materialfeuchtemessung. Grundlagen, Messverfahren, Applikationen, Normen. Renningen – Malsheim: expert-Verlag
- [5] Kutschera, H. 1992: Betriebsvorschrift Neu. Unveröffentlichte Prozessbeschreibung. Lonza AG Visp.
- [6] Nagel, Horst 2002: Thermogravimetrische Feuchtebestimmung. Grundlagen und praktische Anwendungen. Landberg/Lech: Verl. Moderne Industrie
- [7] Schulze, Dietmar 2006: Pulver und Schüttgüter. Fließeigenschaften und Handhabung. Springer – Verlag Berlin Heidelberg
- [8] Schweizerischer Bundesrat 1985/2007: Luftreinhalteverordnung LRV. Bern 2007.
- [9] Tobler, Fritz 2006: Abluftsanierung AMS-Betrieb. Unveröffentlichter Forschungsbericht. Lonza AG Visp.
- [10] Weber, Dieter 1995: Technische Feuchtemessung in Gasen und Festkörpern. Essen: Vulkan-Verlag
- [11] Wiley-VCH (ed.) 2007: Ullmann's Agrochemicals, Vol. 1, ISBN: 978-3-527-31604-5
- [12] Wilhelm, Elke 1993: Anbackungen feuchter Schüttgüter. VDI – Verlag
- [13] Wyss, Barbara 2008: Diplomarbeit. Abscheidung von Ammonitrat-Staub aus Abluft. Technische Universität Graz.