

# Aschen aus der Klärschlamm-Verbrennung

Klaus Scheidig

1.	Gegenwärtige Wege der Klärschlammverwertung.....	250
2.	P-Recycling aus Klärschlamm .....	250
3.	P-Recycling aus Klärschlamm-Monoverbrennungasche .....	252
4.	P-Recycling bei der Klärschlamm-Mitverbrennung .....	252
5.	Schlussfolgerungen .....	253
6.	Literatur .....	255

Klärschlamm ist sowohl ein Abfallstoff, der zu beseitigen ist, als auch ein Wertstoff mit bekannten stofflichen und energetischen Potenzialen, die allerdings bisher nur ungenügend genutzt werden. Stand der Technik ist, dass sich die landwirtschaftliche und die energetische Klärschlammnutzung in der Praxis heute noch gegenseitig ausschließen. Die LAGA-Berichte der letzten Jahre und die darauf aufbauenden geplanten gesetzlichen Regelungen haben jetzt die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass diese Praxis überwunden werden kann [1, 9, 23]. Entscheidende Vorschläge sind:

- Verbot der Mitverbrennung von Klärschlamm und tierischen Nebenprodukten mit mehr als 20 g P/kg Klärschlamm-TM,
- Langfristiger Ersatz der Mitverbrennung dieser Stoffe durch die Monoverbrennung,
- Entwicklung von Verfahren zur Langzeitlagerung von Monoverbrennungaschen.

Ausdrücklich unterstützt werden die LAGA-Vorschläge durch die Beschlüsse der Umweltministerkonferenzen sowie durch die im Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung enthaltene Phosphor-Strategie, die den Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung und die Rückgewinnung von Phosphor vorsieht. Es liegen jetzt neue Untersuchungsergebnisse und Erkenntnisse zum P-Recycling vor, die die früher gemachten Vorschläge ergänzen, sie zum Teil auch in Frage stellen, und die es wert sind, als Alternativen diskutiert zu werden.

Bei den nachfolgend dargestellten Wegen zur Klärschlammverwertung wird vor allem Bezug auf die Wirtschaftlichkeit und die Ressourceneffizienz der jeweiligen Verwertungsart genommen. Damit wird den Beschlüssen der letzten UMK entsprochen, wo

LAGA gebeten wird, die *bekanntesten Verfahren auf Grundlage aktueller Forschungsergebnisse unter Berücksichtigung von*

- *Wirtschaftlichkeit*
- *Einsatzfähigkeit*
- *Ressourcen- und Energieeffizienz*

zu bewerten [9]. Unter Beachtung dieser Nachhaltigkeitskriterien werden die LAGA-Vorschläge nachfolgend einer kritischen Bewertung unterzogen.

## 1. Gegenwärtige Wege der Klärschlammverwertung

In den deutschen kommunalen Kläranlagen werden jährlich etwa 1,8 Millionen Tonnen TM Klärschlamm erzeugt [1, 3]. Der Klärschlamm wurde wie folgt verwertet:

Monoverbrennung:	etwa 0,5 Mio. t TM
Mitverbrennung:	etwa 0,6 Mio. t TM
Landwirtschaftliche Verwertung:	etwa 0,5 Mio. t TM (Düngung)
Sonstige stoffliche Verwertung:	etwa 0,2 Mio. t TM (Landschaftsbau, Kompostierung, u.a.)

Bei den nachfolgend diskutierten neuen Wegen zur Klärschlammverwertung werden die Erfolgsaussichten des P-Recyclings unter Beachtung der genannten Kriterien untersucht und in einem Nachhaltigkeitsraster verglichen.

## 2. P-Recycling aus Klärschlamm

Klärschlamm wird in Deutschland in fast 10.000 kommunalen Kläranlagen mit unterschiedlichen Technologien erzeugt. Er besitzt dadurch variierende Eigenschaften und Analysen. Im Mittel kann mit Heizwerten von 10 bis 12 MJ/kg TS sowie mit bis zu sechs Prozent P in der Trockensubstanz gerechnet werden [7, 8, 18]. Klärschlamm wird als Abfallstoff eingestuft, der vom Klärwerk mangels eigener Verwertungsmöglichkeiten gebührenpflichtig zu entsorgen ist.

Mit dem Ziel, den erzeugten Faulschlamm klärwerksintern zu verwerten, wurden seit 2004 umfangreiche Forschungsarbeiten zum P-Recycling durchgeführt [15, 16]. Dabei wurden nasschemische sowie Adsorption- und Fällungsverfahren entwickelt, für die das P-Recyclingpotenzial mit 50 bis 90 Prozent angegeben wird. Allerdings musste im Herbst 2013 eingeschätzt werden: *Der Vergleich der Kosten für die Phosphorrückgewinnung mit den heutigen Marktpreisen für Phosphor... zeigt deutlich, dass die Rückgewinnung allein zurzeit noch nicht wirtschaftlich zu betreiben ist* [15, 16]. Mit dieser Einschätzung wird bereits darauf hingewiesen, dass zusätzliche oder begleitende Maßnahmen erforderlich sind. Die hierzu aufgeführten zahlreichen Empfehlungen [15, 16]

können dabei unterstützend wirken, sie berücksichtigen jedoch weiterhin nicht das energetische Potenzial des Klärschlammes. Wie Tabelle 1 zeigt, fehlt dadurch im Nachhaltigkeitsraster ein für die Wirtschaftlichkeit des P-Recyclings wichtiger Baustein.

Tabelle 1: Verfahren zum P-Recycling aus Klärschlamm im Nachhaltigkeitsraster

Nachhaltigkeitskriterien <sup>1</sup>	Ressourceneffizienz		Wirtschaftlichkeit
	stoffliche Nutzung (P-Recycling)	energetische Nutzung (Strom/Wärme)	
P-Recycling aus Klärschlamm			
nasschemischer Aufschluss <sup>2,3</sup>	ja	nein	nein <sup>2,3</sup>
Adsorption/Fällung <sup>2,3</sup>	ja	nein	nein <sup>2,3</sup>
Thermochemische Verfahren <sup>2,3</sup>	ja	nein	nein <sup>2,3</sup>
Schmelzvergasung <sup>4,5</sup>	ja	ja	?

<sup>1</sup> Laux, D.: P-Recycling aus Sicht der Länder: UMK-Beschluss vom 07. Juni 2013 und Bericht der LAGA vom 30. Januar 2012. BMU/UBA: Phosphorrückgewinnung – Aktueller Stand von Technologien. Tagungspräsentationen. Bonn, 09. Oktober 2013

<sup>2</sup> Pinnekamp, J., et al.: P-Rückgewinnung: Technisch möglich – wirtschaftlich sinnvoll? BMU/UBA: Phosphorrückgewinnung – Aktueller Stand von Technologien. Tagungspräsentationen. Bonn, 09. Oktober 2013

<sup>3</sup> Pinnekamp, J., et al.: Stand und Perspektiven der Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm. Sonderdruck aus KA-Korrespondenz Abwasser, Abfall. 2013 (60), Heft 10 und 11

<sup>4</sup> Scheidig, K.; Mallon, J.; Schaaf, M.: Klärschlammverwertung nach dem Mephrec-Verfahren. Vortrag. 7. Klärschlammtag der DWA. Fulda, März 2011

<sup>5</sup> Scheidig, K.; Mallon, J.; Schaaf, M.: Zukunftsfähige Klärschlammverwertung. KA-Korrespondenz Abwasser, Abfall. 2010 (57) Nr. 9, S. 902-915

Mit dem metallurgischen Verfahren der Schmelzvergasung eröffnet sich jetzt ein Weg, die im Klärschlamm enthaltenen stofflichen und energetischen Potenziale in einem einstufigen Prozess zu erschließen. Das bildet die Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit der Klärschlamm-Schmelzvergasung.

Als vorteilhaft erweist sich dabei die Tatsache, dass Klärschlamm erst am Ende der Abwasseraufbereitungskette anfällt, so dass seine Verarbeitung zum P-Recycling keine Umstellung der Verfahrensführung in der Kläranlage erfordert. Dabei ist es offensichtlich unbedeutend, in welcher chemischen Bindung der Phosphor im Klärschlamm vorliegt, da die mit der Schmelzvergasung verbundenen hohen Temperaturen und reduzierenden Bedingungen bewirken, dass vorhandene Bindungen aufgebrochen werden und die in der flüssigen Schlacke anwesenden Stoffe zu neuen chemischen Verbindungen reagieren. Bei einer Stichprobenuntersuchung konnte festgestellt werden, dass der Phosphor wie beim früheren Thomasmehl als Kalksilico-Phosphat gebunden wird, so dass ähnliche Düngeigenschaften wie ehemals mit Thomasmehl erwartet werden [21]. Erste Gefäßversuche mit Mais [17] und Sommergerste haben diese Erwartungen bestätigt.

Bei der Schmelzvergasung von Klärschlamm ist die Schlackenbildung untrennbar mit der gleichzeitigen Bildung einer flüssigen Metallphase verbunden, bei der es sich um ein P-legiertes Roheisen handelt. Das flüssige Roheisen wirkt als Schwermetallsenke und bildet die Voraussetzung für extrem niedrige Schwermetallgehalte in der Schlacke, die dem Düngemitteltyp *Phosphatdünger aus der Verbrennung von Klärschlamm* zugeordnet werden kann. Die Schmelzvergasung von Klärschlamm und Klärschlammasche

ist inzwischen in die überarbeitete Düngemittelverordnung (DüMV 2012) als Herstellungsverfahren zur Erzeugung eines Phosphat-Düngers aufgenommen worden [21]. Der neue P-Recycling-Dünger soll unter dem Markennamen Mephrec-Phosphat vermarktet werden.

Das von der ingitec GmbH Leipzig entwickelte Verfahren wurde in einem umgerüsteten Kleinkupolofen unter Technikums-Bedingungen an der TH Bergakademie Freiberg erprobt. Als Einsatzstoffe wurden Klärschlamm, Tiermehl und Monoverbrennungsaschen untersucht, die brikettiert und mit Koks als Energielieferant und Reduktionsmittel im Schachtofen verarbeitet wurden [19, 20]. Als nächster Schritt ist die Errichtung einer Pilotanlage im halbtechnischen Maßstab als Prototyp für eine Industrie-Anlage geplant. Das Projekt wird von der eigens dafür gegründeten *Klärschlammverwertung Region Nürnberg GmbH* geführt und wird von Hagspiel und Pluschke [4, 5, 6] ausführlich beschrieben. Es ist Bestandteil der Bayerischen Phosphor-Strategie [2, 22] und soll neben der Verarbeitung von Klärschlamm auch zum Test für den Einsatz von Monoverbrennungsasche und von Tiermehl im halbtechnischen Maßstab genutzt werden. Es besteht das Ziel, ein Verfahren zum P-Recycling zu entwickeln, das mit einem P-Ausbringen von etwa 80 Prozent für die Verarbeitung von weitgehend allen P-haltigen Abfällen geeignet ist.

### 3. P-Recycling aus Klärschlamm-Monoverbrennungsasche

Zur KS-Monoverbrennung werden mehrheitlich Anlagen mit Wirbelschichtverbrennung eingesetzt. Solche Anlagen befinden sich zum Teil schon seit mehr als 30 Jahren zuverlässig in Betrieb [7, 8]. Es fallen Aschen mit bis zu 21 Prozent  $P_2O_5$  an, was Phosphat-Gehalten entspricht, die im Bereich natürlicher Phosphat-Erze liegen [7, 8, 15, 16, 18]. Es ist deshalb naheliegend ihren P-Gehalt mit den aus der Erz-Aufbereitung bekannten Technologien zu erschließen, d.h. durch einen Säure-Aufschluss, wobei sowohl Schwefel- oder Salz-Säure als auch Phosphor-Säure eingesetzt werden. Es sind auch weitere nass-chemische, thermo-chemische und metallurgische Verfahren bekannt, die zum P-Recycling aus der Asche eingesetzt werden können [15, 16]. Somit bietet die Monoverbrennung die Voraussetzung für eine ressourceneffiziente, d.h. energetische wie auch stoffliche Klärschlammverwertung. Sie wird deshalb als wichtige Vorstufe zum P-Recycling betrachtet und soll durch den Neubau von Monoverbrennungsanlagen unterstützt werden [1, 9, 23]. Allerdings wird eingeschätzt, dass die P-Rückgewinnung aus der Asche zurzeit noch nicht wirtschaftlich zu betreiben ist [15, 16].

### 4. P-Recycling bei der Klärschlamm-Mitverbrennung

Klärschlamm wird in Deutschland in einer Vielzahl von Kraftwerken, aber auch in Zementwerken und in MVA's als Ersatzbrennstoff eingesetzt. Das im Klärschlamm enthaltene stoffliche Potenzial wird jedoch beim gegenwärtigen Stand der Technik vernichtet, da die P-Konzentrationen in den anfallenden Aschen so gering sind, dass ein

wirtschaftliches P-Recycling ausgeschlossen werden muss. Für die Zementerzeugung erübrigt sich diese Frage ohnehin, da der Phosphor als Bestandteil des erzeugten Produkts irreversibel gebunden ist.

Mit der KS-Schmelzvergasung steht jetzt eine Verfahrenstechnik zur Verfügung, die auch für die genannten Anlagen zur KS-Mitverbrennung neue Maßstäbe setzen kann, indem der Klärschlamm nicht direkt zur Mitverbrennung, sondern zur Schmelzvergasung eingesetzt und das dabei entstehende Abgas in den Verbrennungsprozess der Hauptanlage eingespeist wird. Die KS-Schmelzvergasung wird somit in den Mitverbrennungsprozess integriert, wobei das erzeugte Rohgas praktisch die gesamte in der Trockensubstanz des Klärschlammes enthaltene Energie besitzt [10, 11, 12]. Es handelt sich somit um eine *modifizierte* KS-Mitverbrennung. Das aus dieser Verbrennung resultierende Abgasvolumen kann im Verhältnis zum Abgasvolumen des Hauptprozesses als gering eingeschätzt werden. Es entspricht näherungsweise dem Abgasvolumen, das sonst bei der direkten Mitverbrennung der gleichen KS-Menge entstehen würde [10, 11, 12]. Somit ist davon auszugehen, dass keine zusätzlichen Aufwendungen in der Abgasreinigung des Hauptprozesses erforderlich sind und dadurch vorteilhaft niedrige Investitions- und Betriebskosten für die KS-Schmelzvergasung zu erwarten sind. Eine solche Verfahrensweise würde auch der LAGA-Empfehlung entsprechen, die KS-Mitverbrennung nur dann zuzulassen, *solange ein maximal zulässiger Phosphorgehalt von 20 g P/kg Klärschlamm-TM bei den zur Verbrennung eingesetzten Abfälle unterschritten wird* [1]. In diesem Zusammenhang stellen sich nunmehr folgende Fragen:

- a) In welchem Maß kann die bisher übliche KS-Mitverbrennungsrate erhöht werden, ohne dass Zusatz-Investitionen in den vorhandenen Abgasreinigungsanlagen erforderlich werden?
- b) Wo liegen die technologischen und wirtschaftlichen Grenzen für noch höhere Mitverbrennungsraten als unter a) ausgewiesen?

Mit der Integration der KS-Schmelzvergasung in vorhandene Mitverbrennungsanlagen können somit zusätzliche Kapazitäten zur thermischen KS-Verwertung geschaffen werden. Hier eröffnet sich ein Weg, der schneller und kostengünstiger als der Neubau von Monoverbrennungsanlagen ist, was bisher als Konsequenz aus verschärften Grenzwerten gem. Novelle der AbfKlärV bzw. dem Ausstieg aus der landwirtschaftlichen KS-Verwertung genannt wurde [23]. Die Wirtschaftlichkeit der KS-Mitverbrennung kann sich noch verbessern, wenn dabei Primär-Brennstoffe ersetzt werden, so dass sich die aus dem CO<sub>2</sub>-Emissionshandel ergebenden Gutschriften wirksam werden können. Die Zukunftsfähigkeit der prozessintegrierten KS-Schmelzvergasung als Bestandteil von Mitverbrennungsanlagen muss noch durch entsprechende Machbarkeitsstudien an konkreten Objekten untersucht werden.

## 5. Schlussfolgerungen

Mit der **Schmelzvergasung** steht eine metallurgische Verfahrenstechnik zur Verfügung, die neue Wege zur wirtschaftlichen Klärschlammverwertung eröffnet.

### **P-Recycling aus Klärschlamm**

Die im Klärschlamm enthaltenen stofflichen und energetischen Potenziale können durch die KS-Schmelzvergasung in einem einstufigen Prozess erschlossen werden. Das bildet die Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit des P-Recyclings bei simultaner Strom- und Wärmeerzeugung und stellt ein entscheidendes Alleinstellungsmerkmal des Mephrec-Verfahrens dar.

### **P-Recycling bei der KS-Monoverbrennung**

Durch Integration der Asche-Schmelzvergasung in Monoverbrennungsanlagen werden Voraussetzungen dafür geschaffen,

- dass das P-Recycling aus der anfallenden Asche simultan mit dem Monoverbrennungsprozess verläuft und dadurch wirtschaftlich machbar ist und
- dass Kosten für die Asche-Monodeponie vermieden werden.

### **P-Recycling bei der KS-Mitverbrennung**

Durch Integration der KS-Schmelzvergasung in vorhandene Verbrennungsanlagen werden Voraussetzungen dafür geschaffen,

- dass das P-Recycling vor der Mitverbrennung stattfindet,
- dass eine modifizierte KS-Mitverbrennung, d.h. Mitverbrennung des bei der KS-Schmelzvergasung erzeugten Rohgases, somit auch bei  $>20$  g P/ im Klärschlamm möglich ist,
- dass höhere KS-Mitverbrennungsraten als bisher möglich sind,
- dass somit wirtschaftliche Alternativen zum Neubau von KS-Monoverbrennungsanlagen geschaffen werden.

### **P-Recycling unter geänderten Rahmenbedingungen**

Die angeführten Schlussfolgerungen beziehen sich auf die gegenwärtig gegebenen Rahmenbedingungen. Dazu gehören u.a.

- Das Eigenstrom-Privileg der Klärwerke  
Die Aussagen zur Wirtschaftlichkeit des P-Recyclings bei simultaner Strom- und Wärme-Erzeugung setzen voraus, dass das Eigenstrom-Privileg der Klärwerke erhalten bleibt.
- Langfristig weiter steigende Preise für Phosphat-Dünger  
Der weltweit steigende P-Düngerverbrauch hat zu ständig steigenden P-Düngerpreisen geführt – als Folge der Bevölkerungsexplosion und der veränderten Ernährungsgewohnheiten in den Entwicklungsländern. Diese Entwicklung wird als unveränderlich eingeschätzt [25].
- Langfristig weiter steigende Energiepreise als Folge der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung.

## 6. Literatur

- [1] Bergs, C.-G.: Die neue Klärschlamm-Verordnung. Vortrag, Dresden, 23. März 2016
- [2] Dimaczek, G., et al: Phosphorstrategie für Bayern. Fraunhofer-Institut UMSICHT Sulzbach-Rosenberg. Okt. 2012, S. 1-84
- [3] DWA-newsletter 2016; KA-Korrespondenz Abwasser, Abfall 2016: DWA-Positionen zur Klärschlamm-Entsorgung. DWA März 2015
- [4] Hagspiel, B.: Klärschlammmanagement und Phosphorrecycling in der Metropolregion Nürnberg. Vortrag. IFAT ENTSORGA München, Forum P-Recycling, Halle A5, 08. Mai 2012
- [5] Hagspiel, B.: P-Recycling bei gleichzeitiger Energienutzung in Nürnberg – Das Mephrec-Verfahren. BMU/UBA: Phosphorrückgewinnung – Aktueller Stand von Technologien. Bonn, 09. Okt. 2013 Tagungspräsentationen. Vortrag 13 (24 Folien)
- [6] Hagspiel, B.; Pluschke, P.: Klärschlammverwertung Region Nürnberg: Klärschlamm zu Energie und Dünger. Vortrag. 3. Symposium *Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen*. Fraunhofer ICT, Nürnberg, 05./06. Febr. 2014; veröff. in: Teipel, U., Reller, A.: Tagungsbericht 3. Symposium. Fraunhofer Verlag Stuttgart 2014, S. 139-160
- [7] Krüger, O.; Adam, Ch.: Fachgespräch Klärschlamm-Schememonitoring. Workshop *Abwasser-Phosphor-Dünger*. Berlin, 28./29.01.2014
- [8] Krüger, O.; Adam, Ch.: Monitoring von Klärschlamm-Aschen. BMU/UBA: Phosphorrückgewinnung – Aktueller Stand von Technologien. Tagungspräsentationen. Bonn, 09. Oktober 2013
- [9] Laux, D.: P-Recycling aus Sicht der Länder: UMK-Beschluss vom 07. Juni 2013 und Bericht der LAGA vom 30. Januar 2012. BMU/UBA: Phosphorrückgewinnung – Aktueller Stand von Technologien. Tagungspräsentationen. Bonn, 09. Oktober 2013
- [10] Lehrmann, F.: Klärschlamm-Entsorgung in Europa. Tagungsunterlagen 2. VDI-Fachkonferenz. Heidelberg, 16./17. Nov. 2011
- [11] Lehrmann, F.: Überblick über die thermische Klärschlammbehandlung. In: Thomé-Kozmiensky, K.J.; Beckmann, M. (Hrsg.): *Energie aus Abfall*, Band 10. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 901-926; ISBN 978-3-935317-93-1
- [12] Lehrmann, F.: Verwertung von Aschen aus der Klärschlamm-Monoverbrennung. KA-Korrespondenz Abwasser, Abfall. 2012 (59), S. 916-922
- [13] Mallon, J.; Schaaf, M.: Mephrec-Anlage zur Klärschlamm-Mitverbrennung im Kraftwerk. ingitec GmbH Leipzig, 30. Jan. 2012
- [14] Mallon, J.; Schaaf, M.: Metallurgisches Phosphorrecycling. Machbarkeits-Studie im Auftrag der Innovatherm GmbH Lünen. Ingitec GmbH Leipzig, 09. Jan. 2012
- [15] Pinnekamp, J., et al.: P-Rückgewinnung: Technisch möglich – wirtschaftlich sinnvoll? BMU/UBA: Phosphorrückgewinnung – Aktueller Stand von Technologien. Tagungspräsentationen. Bonn, 09. Oktober 2013;
- [16] Pinnekamp, J., et al.: Stand und Perspektiven der Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm. Sonderdruck aus KA-Korrespondenz Abwasser, Abfall. 2013 (60), Heft 10 und 11
- [17] Römer, W.: Phosphor-Düngewirkung von P-Recyclingprodukten. KA-Korrespondenz Abwasser. Abfall 2013 (60) Nr. 3, S. 202-215
- [18] Scheidig, K.; Lehrmann, F.; Mallon, J.; Schaaf, M.: Klärschlamm-Monoverbrennung mit integriertem Phosphor-Recycling. In: Thomé-Kozmiensky, K.J.; Beckmann, M. (Hrsg.): *Energie aus Abfall*, Band 10. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 1039-1046; ISBN 978-3-935317-93-1
- [19] Scheidig, K.; Mallon, J.; Schaaf, M.: Klärschlammverwertung nach dem Mephrec®-Verfahren. Vortrag. 7. Klärschlammstage der DWA. Fulda, März 2011

- [20] Scheidig, K.; Mallon, J.; Schaaf, M.: Zukunftsfähige Klärschlammverwertung. KA-Korrespondenz Abwasser, Abfall. 2010 (57) Nr. 9, S. 902-915
- [21] Scheidig, K.; Mallon, J.; Schaaf, M., Riedel, R.: P-Recycling-Dünger aus der Schmelzvergasung von Klärschlamm und Klärschlamm-Asche. KA-Korrespondenz Abwasser, Abfall 2013 (60) Nr. 10, S. 845-850
- [22] Spitznagel, M.: Bayrische Phosphorstrategie. Vortrag 4. VDI- Fachkonferenz Klärschlammbehandlung. Dortmund, 06./07. Nov. 2013
- [23] Wiechmann, B.: Klärschlamm Entsorgung unter Berücksichtigung des Ressourcen- und Immissionsschutzes. Vortrag Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz. Berlin, 28./29. Januar 2013. Tagungsunterlagen S. 233-251
- [24] [www.agrarmarkt.nrw](http://www.agrarmarkt.nrw) vom 30.06.2014
- [25] [www.phosphorusplatform.eu](http://www.phosphorusplatform.eu): SCOPE NEWSLETTER Number 89-104
- [26] [www.phosphorusplatform.eu](http://www.phosphorusplatform.eu): SCOPE NEWSLETTER Number 96, August 2013, Page 10