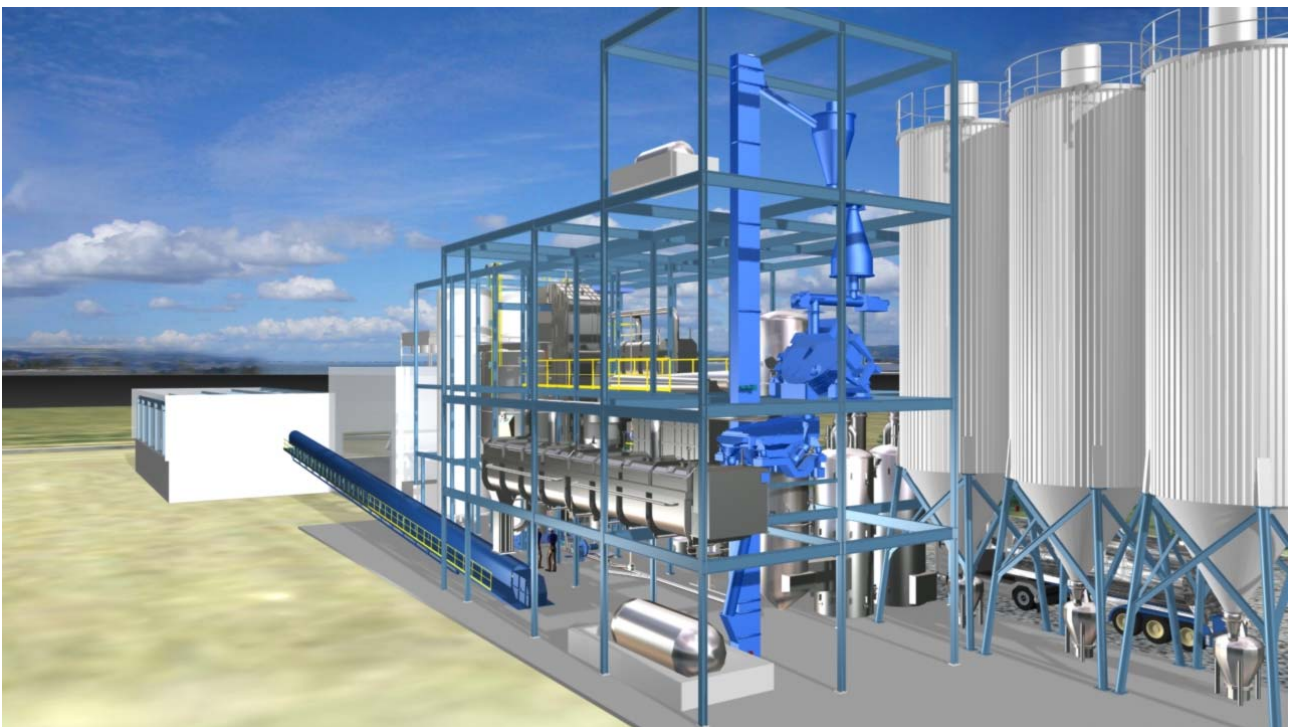


Detaillierte Verfahrensbeschreibung, Datengrundlage und Ergebnisse

RecoPhos®



Inhaltsverzeichnis

RecoPhos®	5
1.1 Grundlagen allgemein	5
1.1.1 Prozessskizze RecoPhos® Verfahren	5
1.1.2 Prozessskizze als STAN Modell.....	6
1.1.3 Verfahrensbeschreibung	6
1.2 Datengrundlage für Bewertung.....	7
1.2.1 Sachbilanz	7
1.2.2 Stoffflussanalyse.....	8
1.2.3 Charakteristik Endprodukt	8
1.2.4 Umsetzung.....	10
1.2.5 Flächenbedarf auf Kläranlage	10
1.2.6 Ökonomische Grundlagen.....	10
1.3 Ergebnis RecoPhos® Verfahren	11
1.3.1 Technologie Bewertung	11
1.3.2 Ökologische Bewertung (Systemgrenze Verfahren)	11
1.3.3 Ganzheitliche ökologische Bewertung RecoPhos®.....	16
1.3.4 Ökonomische Bewertung	19
1.3.5 Literatur.....	24
1.4 Anhang	25
1.4.1 Stoffflussanalyse RecoPhos®	25
1.4.2 Stoffflussanalyse Gesamtprozess RecoPhos®.....	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prozessskizze RecoPhos®	5
Abbildung 2: STAN Modell RecoPhos® inkl. Trocknung	6
Abbildung 3: STAN Modell RecoPhos® gesamte Prozesskette	6
Abbildung 4: RecoPhos® Endprodukt RecoPhos P38®.....	9
Abbildung 5: Großtechnische Umsetzung RecoPhos® Verfahren in Schönebeck (3D-Animation)	10
Abbildung 6: P-Stoffflussanalyse RecoPhos® (2 signifikante Stellen).....	12
Abbildung 7: P Stoffflussanalyse RecoPhos®: Gesamte Prozesskette (2 signifikante Stellen)	12
Abbildung 8: Entfrachtungsleistung (Endprodukt:Asche).....	13
Abbildung 9: Ergebnis Güterflussanalyse RecoPhos®	13
Abbildung 10: CO ₂ bzw. SO ₂ -Äquivalente [kg bzw. g/kg P _{rückg.}] RecoPhos®	14
Abbildung 11: Zusammenfassung Parameter ökologische Bewertung (Systemgrenze Rückgewinnungsverfahren).....	15
Abbildung 12: Veränderung der gasförmigen Emissionen und des KEA in Relation Referenzsituation	17
Abbildung 13: P-und Schwermetallpfade in % bezogen auf Zulauf der Referenzkläranlage (RecoPhos®).....	17
Abbildung 14: Nährstoffbezogene Schwermetallaufbringung RecoPhos® Endprodukt Vergleich Handelsdünger (SSP).....	18

Abbildung 15: Upscaling Faktoren Investitionskosten RecoPhos®	19
Abbildung 16: Produktspezifische Kosten RecoPhos®; Variation Rücklösung und Anlagengröße.....	21
Abbildung 17: Kostenaufgliederung RecoPhos® 30.000 t Asche	22
Abbildung 18: Kosten gesamte Prozesskette RecoPhos® Verfahren 30.000 t Asche	23
Abbildung 19: Sensitivitätsanalyse RecoPhos®	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Chemikalien- und Energiebedarf RecoPhos®	8
Tabelle 2: Transferkoeffizienten RecoPhos® Prozess.....	8
Tabelle 3: Nährstoff-, (Schwer)-metallgehalte und org. Spurenstoffe RecoPhos P38® Endprodukt.....	9
Tabelle 4: Löslichkeit in % bezogen auf Pges (RecoPhos P38®)	9
Tabelle 5: Umsetzungen RecoPhos® Verfahren	10
Tabelle 6: Komplexität, Umsetzung und Rückgewinnungspotential RecoPhos®.....	11
Tabelle 7: Chemikalienbedarf RecoPhos® (.....	13
Tabelle 8: Produkt- und einwohnerspezifischer Ressourcenbedarf RecoPhos®	13
Tabelle 9: Spezifischer Energiebedarf RecoPhos®	14
Tabelle 10: Indirekte SM-Emissionen RecoPhos®	15
Tabelle 11: Kumulierter Energieaufwand RecoPhos®.....	15
Tabelle 12: Einflussfaktoren ganzheitliche Bewertung RecoPhos®	16
Tabelle 13: Transportwege RecoPhos®	16
Tabelle 14: CO ₂ bzw. SO ₂ -Äquivalente Prozesskette RecoPhos®.....	16
Tabelle 15: Kumulierter Energieaufwand gesamte Prozesskette	16
Tabelle 16: Bewertung RecoPhos® P38.....	18
Tabelle 17: Investitionskosten RecoPhos® in Relation zum jährlichen Aschedurchsatz (Investitionskostenfaktor Ash Dec® Verfahren)	19
Tabelle 18: Jahreskosten RecoPhos® (Aschedurchsatz 30.000 t).....	20
Tabelle 19: Einsparungen und Erlöse RecoPhos® (Aschedurchsatz 30.000 t).....	20
Tabelle 20: Spezifische Kosten RecoPhos® (Aschedurchsatz 30.000 t)	20
Tabelle 21: Amortisationszeit in Abhängigkeit der Anlagengröße.....	22
Tabelle 22: Jahreskosten gesamte Prozesskette RecoPhos®	23



RecoPhos®

1.1 Grundlagen allgemein

Das RecoPhos® Verfahren ist ein von reco-phos Consult GmbH entwickeltes und patentiertes Verfahren (Zulassung 17. Januar 2013) zur Aufbereitung von Klärschlammaschen (Bohndick, 2012). Dabei wird Klärschlammasche mit Phosphorsäure (H_3PO_4) vermengt und ein teils des gebundene, vormals nicht pflanzenverfügbare Phosphors, soll dabei aufgeschlossen werden. Dieser Prozess entspricht vom Prinzip her der Herstellung von herkömmlichen Triplesuperphosphat aus Phosphaterzen in der konventionellen Düngemittelproduktion. Nach einer intensiven Mischphase wird das Endprodukt anschließend granuliert, getrocknet und mittels Siebe klassifiziert. Dieses Verfahren wurde bereits im großtechnischen Maßstab umgesetzt. Das Endprodukt „RecoPhos® P 38“ ist ein durch Mineralsäureaufschluss von mineralisierter Klärschlammasche zertifiziertes und zugelassenes Düngeprodukt in Pelletform. gemäß DüMV Anlage 2 Tab. 6.2.3. Festzuhalten ist, dass dieses Verfahren im Vergleich zu vielen anderen Technologien keine Entfernung bzw. Entfrachtung von Schwermetallen vorsieht. Der in der Ausgangsasche enthaltene Phosphor ist dafür vollständig im Endprodukt nachweisbar. Bezogen auf den Kläranlagenzulauf kann damit rund 88 % des Phosphors rückgewonnen werden. Nach Angaben von Weigand et al. (2011) werden in der großtechnischen Anlagen monatlich ca. 1.000 t Dünger zu marktüblichen Preisen produziert. Aktuell steht eine Anlage mit einem Durchsatz von 30.000 t/a kurz vor der Umsetzung. Voraussetzung für die Zulassung des Endproduktes ist die Einhaltung der Schwermetallgrenzwerte der Düngemittelverordnung. Da keine gezielte Schwermetallentfrachtung stattfindet, muss die Ausgangsasche diese Grenzwerte bereits einhalten. Nach persönlicher Auskunft von Herrn Bohndick erfüllen rund 60 % der Aschen in Deutschland aus der Monoverbrennung diese Voraussetzung. 2-5,5 mm

430 €/t

1.1.1 Prozessskizze RecoPhos® Verfahren

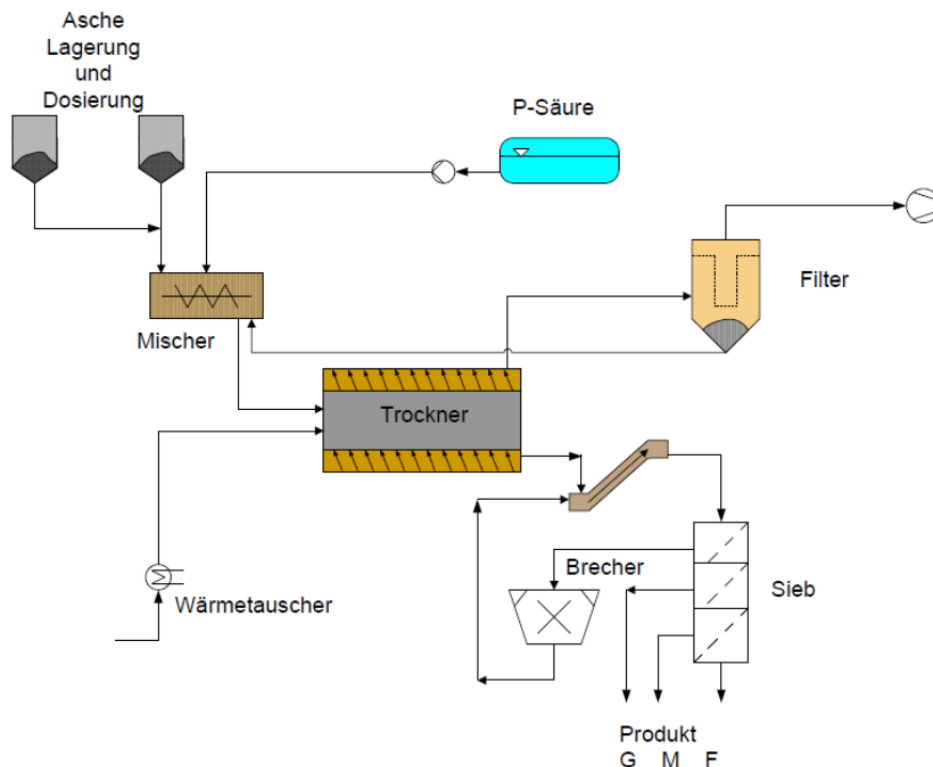


Abbildung 1: Prozessskizze RecoPhos®

1.1.2 Prozessskizze als STAN Modell

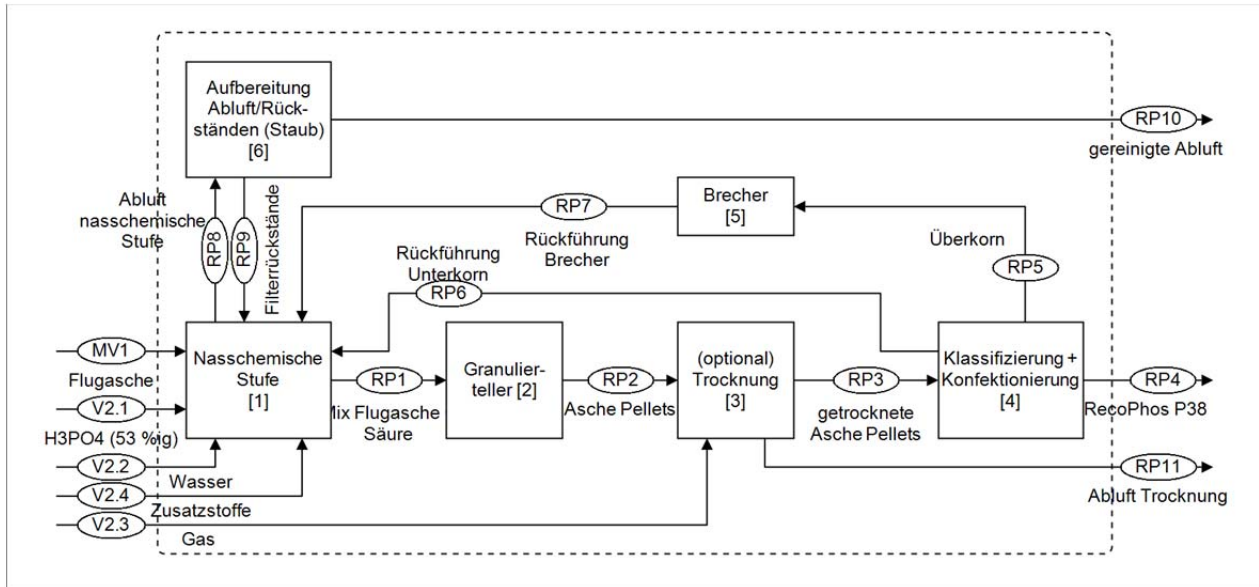


Abbildung 2: STAN Modell RecoPhos® inkl. Trocknung

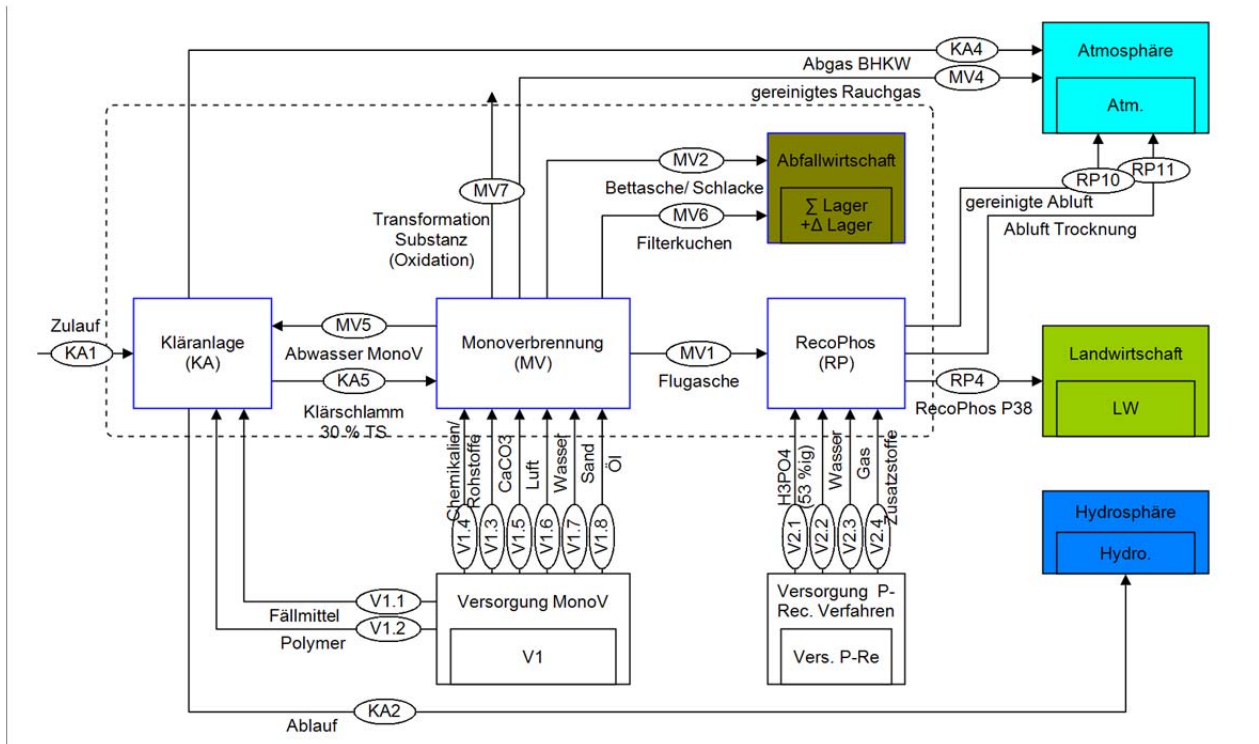


Abbildung 3: STAN Modell RecoPhos® gesamte Prozesskette

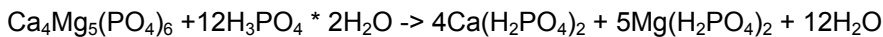
1.1.3 Verfahrensbeschreibung

Mischen (1)

Phosphor liegt in der Asche chemisch gebunden in zahlreichen Phosphatverbindungen vor (z.B. Whitlockit, Enstatit, Brushit, Hilgenstockit) vor. Diese Verbindungen sind sehr schlecht wasserlöslich, sowie schlecht Zitronensäurelöslich und damit auch schlecht pflanzenverfügbar (+). Durch Zugabe von 52 - 53%iger Phosphorsäure (industrieller Reinheitsgrad) soll der pflanzenverfügbare Anteil deutlich erhöht werden. Die weiteren Zuschlagstoffe. Zu den Zuschlagstoffen zählen tierische und pflanzliche Phosphorträger, durch deren Einsatz eine Änderung der Inputgüter, abhängig von der zugegebenen Menge, berücksichtigt werden muss. Die tierischen Phosphorträger wie z.B. Knochenmehle weisen eine teils sehr hohe P-Konzentration auf, wodurch z.B. der Phosphorsäurebedarf zur Herstellung des gewünschten Ziel P-Gehaltes deutlich



reduziert werden kann. Beispielhaft wird die Reaktion einer ausgewählten Phosphorfraktion (Stantfieldit) mit Phosphorsäure beschrieben.



Diese Reaktion entspricht jener, die bei der konventionellen Herstellung von Triplesuperphosphatdünger in der Düngemittelindustrie zu beobachten ist.

Granulierteller (2)

Mithilfe eines Granuliertellers werden die Aschepellets in der gewünschten Größe hergestellt.

Trocknung (3) und Klassifizierung (4)

Im Anschluss an die nasschemische Behandlung wird das Produkt granuliert getrocknet, und dann zum Abschluss mittels verschiedener Siebdurchmesser klassifiziert und abgepackt. Die Trocknung muss direkt nach dem granulieren erfolgen, da es bei feuchten Pellets die Gefahr der Verklebungen in der Klassifizierung und dem Brecher besteht. Die Pellets dürfen nicht zu groß sein, da es sonst zu einer unvollständigen Trocknung kommt und der Kern der Pellets noch feucht ist. Die Restfeuchte kann in späteren Prozessen oder auch bei der Aufbringung Probleme machen, indem z.B. die Pellets verkleben. Pellets mit zu großem Durchmesser (geringer Anteil), werden über einen Brecher wieder zurück zur Klassifizierung geführt. Zu kleine Pellets werden als quasi Aufwachkeime zurück in den Prozess geführt. Das Endprodukt wird am Ende mit einem „Coating“ überzogen, damit ein quasi staubfreies Produkt entsteht. Welches Material dazu verwendet wird ist nicht bekannt.

Filter/Abluftreinigung (4)

Die teils staubige Abluft aus der Trocknung und dem Materialtransport muss über eine Filteranlage zur Staubentfernung geführt werden. Der anfallende Staub wird wieder in den Prozess zurückgeführt. Somit fallen bei RecoPhos® Verfahren keine zu entsorgenden Abfälle an.

Mögliche Betriebsprobleme

- Anhaften des Asche-Phosphorsäure-Gemisches an den Anlagenteilen. Spezielle Beschichtung ist nötig.
- Aufgrund unterschiedlicher Aschequalität kann auch bei gleichbleibenden Betriebsparametern die Qualität der finalen Pellets (Körnung, Festigkeit) variieren.
- In der Phosphorsäure können in unterschiedlichen Konzentrationen auch jene Schwermetalle wie z.B. Cadmium enthalten sein, die auch im Phosphaterz vorkommen. Diese gelangen im RecoPhos® Prozess auch in das Endprodukt.

1.2 Datengrundlage für Bewertung

1.2.1 Sachbilanz

Neben der Asche und der Phosphorsäure sind weitere Zuschlagstoffe für die Herstellung des RecoPhos® P 38 Endproduktes nötig. Informationen über die weiteren Zuschlagstoffe sind jedoch Betriebsgeheimnis und werden nicht weitergegeben. Allerdings kann angenommen werden, dass die Phosphorsäure die dominierende Ressource darstellt. Die Phosphorsäure wird in Form von Industriesäure eingesetzt. Es handelt sich dabei um eine 52 – 53 %ige Phosphorsäure (+). In der Lebensmittelindustrie wird z.B. 75 – 85 %ige Phosphorsäure eingesetzt. Auf Basis des Phosphorgehaltes in der Referenzklärschlammasche (~8,4 %) und dem Zielposphorgehalt im Endprodukt (38 % P_2O_5 bzw. 16,6 % P) kann der Phosphorsäurebedarf abgeleitet werden. Nach Angaben von Bohndick (2013) liegt der P-Säurebedarf (industriell) bei rund 1.250 kg/t Asche (-/+). Je nach Input kann dies verringert werden, durch Das bedeutet aber auch, dass der P-Säurebedarf abhängig vom P-Gehalt in der Ausgangsasche stark variieren kann um die gewünschten 16,6 % P zu erreichen. Eine hohe Unsicherheit wird dadurch berücksichtigt. Durch den Einsatz der Phosphorsäure fallen pro kg Asche rund 1,7 kg Endprodukt an. Der Energiebedarf wird von Bohndick (2013) mit 200 kWh für 4 Tonnen Asche angegeben (+). Das entspricht in etwa dem Energiebedarf des PASCH Verfahrens. Soll eine weitere Trocknung des Produktes erfolgen, verdoppelt sich der Energiebedarf (Tabelle 1).

Chemikalien	t/t Asche
Phosphorsäure (H ₃ PO ₄)	1,25
Sonstiges Additive	1,33unbekannt
Energie	kWh/t Asche
Elektrische Energie	50/39
Thermische Energie (Trocknung) Gas	50/ca
Gesamt	50-100

Tabelle 1: Chemikalien- und Energiebedarf RecoPhos®

1.2.2 Stoffflussanalyse

Sämtliche in der Asche vorliegenden Nährelemente und Schwermetalle gelangen vollständig in das Endprodukt. Damit wird für das RecoPhos® Verfahren für alle definierten Parameter der Transferkoeffizienten mit 100 festgelegt (+).

TK	Entfrachtete Asche	Rauchgas	UL
P	100	0	1
As	100	0	1
Cd	100	0	1
Cr	100	0	1
Cu	100	0	1
Hg	100	0	1
Ni	100	0	1
Pb	100	0	1
Zn	100	0	1

Tabelle 2: Transferkoeffizienten RecoPhos® Prozess

1.2.3 Charakteristik Endprodukt

1.2.3.1 Nährstoffe, (Schwer-)metalle und org. Spurenstoffe

RecoPhos® P 38 ist laut Datenblatt ein braunes bis rotbraunes Produkt von leichtem charakteristischem Geruch. Es wird als Düngemittel zur Versorgung der Pflanzen mit Phosphor eingesetzt. Die Zusammensetzung kann je nach Ausgangsasche variieren. Hauptphosphorkomponenten sind Monocalciumphosphate, Dicalciumphosphate, Magnesiumhydrogenphosphate, Aluminiumphosphate, Eisenphosphat aber auch diverse Spurnährstoffe wie Kupfer und Zink. Schwermetallgehalte liegen für das RecoPhos® Produkt vor (Weigand et al., 2011). Cr (VI) ist im Endprodukt zum Beispiel nicht nachweisbar (<0,01 mg/kg TS). Generell können die Schwermetallgehalte auf Grundlage der eingesetzten Asche stark variieren. Für die Bewertung wird der Schwermetallgehalt im Endprodukt aus der anfallenden Endproduktmenge und der Schwermetallfracht in der Referenzklärschlammasche errechnet. Das Endprodukt ist aufgrund der vorangegangenen thermischen Klärschlammbehandlung frei von organischen Spurenstoffe oder pathogenen Keimen (++). Exemplarisch wurde das Endprodukt auf Perfluorooctansulfonat (PFOS) und Perfluorooctansäure (PFOA) untersucht (Summe = Perfluorierte Tenside (PFT), wobei Gehalte von <0,01 mg/kg TS nachgewiesen wurden (Grenzwert Düngemittelverordnung Perfluorierte Tenside (PFT): 0,1 mg/kg TS)

Nährstoffe [g/kg TS]	Schwermetalle [mg/kg TS]	Org. Spurenstoffe [mg/kg TS]
P 166	As 9,1	AOX -
N -	Cd 2,2	PAK -
Mg -	Cr 118	PCDD/F -
Ca -	Cu 664	LAS -
K	Hg 0,7	NPE -
Metalle [mg/kg TS]	Ni 47,4	Bisphenole -



Al	-	Pb	51,4	PFOS / PFOA	<0,01
Fe	-	Zn	1.600		

Tabelle 3: Nährstoff-, (Schwer)-metallgehalte und org. Spurenstoffe RecoPhos P38® Endprodukt

1.2.3.2 P-Löslichkeit

Unabhängige Laboruntersuchungen (Topfversuche) bestätigen dem RecoPhos® P 38 eine sehr gute Düngewirkung. Untersuchen an Mais und Raps auf verschiedenen Böden (unterschiedlicher pH-Wert; sauer und neutral) zeigen ähnliche, teilweise sogar bessere Trockenmasseerträge wie die Vergleichsdüngung mit handelsüblichem Calciumdihydrogenphosphat (DHP). Diese Ergebnisse konnten neben der Gesamttrockenmasse auch bei der Spross-Trockenmasse belegt werden. Rund 30 % des gesamten Produktes sind wasserlöslich und damit sofort pflanzenverfügbar. Damit ist auch die Einsatzmöglichkeit dieses Produktes zur Düngung in der Wachstumsphase einer Pflanze gegeben. Zu hinterfragen ist, ob der wasserlösliche Anteil des Produktes aufgrund der chemischen Behandlung der Asche resultiert oder nur auf die Phosphorsäure zurückzuführen ist.

Extraktionsmittel	Löslichkeit [%]
Wasser	50-70
Zitronensäure	90
Ameisensäure	70-90
Mineralsäure	-
Ammoncitrat	~100

Tabelle 4: Löslichkeit in % bezogen auf Pges (RecoPhos P38®)

1.2.3.3 Eignung als Sekundärdünger

RecoPhos® P 38 erfüllt die Anforderungen der deutschen Düngemittelverordnung und kann aufgrund seiner Verarbeitung als Pellets mit gängigen Maschinen direkt ausgebracht werden. Dazu werden die Pellets aus dem Reaktor im Anschluss an den Reaktor granuliert, getrocknet, klassifiziert, zwischengelagert und in Big Bags abgepackt. Die Pellets können in beliebiger Größe hergestellt werden. Typische Körnungsklassen sind $0,8 < x < 2$ und $2 < x < 5$. Die Schüttdichte liegt im Bereich von 1000-1000750 – 900 g/l. Die Kornfestigkeit liegt im Bereich von 20 – 25 / 30-40 N. Voraussetzung moderner Aufbringungsmethoden hinsichtlich der Wurfweiten- und Streubreitenanforderung ist eine Kornstabilität von 20 – 30 N. Das Endprodukt ist weitgehend staubfrei und muss Witterungsgeschützt gelagert werden (Weigand et al. 2011). Mikrogranulate werden wieder zurückgeführt als keimgranulat. Neues Produkt dunkelbraun, lichtgrau



Abbildung 4: RecoPhos® Endprodukt RecoPhos P38®

1.2.3.4 Zu berücksichtigende Abfallstoffe aus RecoPhos® Verfahren

Keine

1.2.4 Umsetzung

Das RecoPhos® Verfahren wurde bereits großtechnisch mit einem jährlichen Durchsatz von bis zu 10.000 t umgesetzt. Nach Schließung der alten Anlage, wird eine neue Anlage in Schönebeck mit einem jährlichen Aschedurchsatz von 30.000 t Asche errichtet.

Umsetzung

Schönebeck Elbe (Magdeburg Sachsen-Anhalt) (D)

Großtechnisch (30.000 t Asche)

Tabelle 5: Umsetzungen RecoPhos® Verfahren



Abbildung 5: Großtechnische Umsetzung RecoPhos® Verfahren in Schönebeck (3D-Animation)

1.2.5 Flächenbedarf auf Kläranlage

Der Flächenbedarf der Anlage liegt bei 1.000 m². Bei Mitberücksichtigung der Lagerfläche und Infrastruktur ist mit einer Fläche von 5.000 m² zu rechnen.

1.2.6 Ökonomische Grundlagen

Die Investitionskosten für eine RecoPhos Anlage mit einem Durchsatz von 15.000 t Asche liegen ohne Gebäude und Grundstück bei rund 6 Mio. Euro. Die Investitionskosten die aktuelle Anlage mit einem jährlichen Aschedurchsatz liegt bei etwa 8 Mio. €. Anhand dieser Kosten kann in Kapitel 1.3.4.1 eine gute Annäherung der Investitionskosten für verschiedene Ausbaugrößen angenommen werden. Der Wartungsaufwand wird mit 1,5 % der Investitionskosten angenommen. Nach Auskunft von Herrn Bohndick ist allerdings eine Ausbaugröße von mindestens 30.000 t Asche pro Jahr für einen wirtschaftlichen Betrieb erforderlich. Die Anlage läuft vollautomatisch, trotzdem ist der Personalaufwand mit rund 16 MA/a anzunehmen. Chemikalien- und Energiekosten können aus den Güterfluss- bzw. Energieflussanalysen abgeleitet werden. Der Produktpreis P38 liegt bei (330 - 350 €/t). Sowohl der Preis für die Phosphorsäure als auch der Preis für den P38 Dünger sind abhängig von den Rohphosphatpreisen.



1.3 Ergebnis RecoPhos® Verfahren

1.3.1 Technologie Bewertung

Das RecoPhos® Verfahren ist eine Technologie die an zentralen Standorten zur Erzeugung eines handelsfähigen Düngemittels aus Klärschlammasche und weiterer P-reicher Aschen eingesetzt werden kann. Hinsichtlich der Komplexität, kann der Prozess als sehr einfach eingestuft werden. Umgesetzt wurde das Verfahren bereits im großtechnischen Maßstab und ein handelsfähiger Dünger erzeugt wird. Aufgrund des Einsatzes nach der Monoverbrennung, hat diese Technologie keinen Einfluss auf die Prozesse der Abwasserreinigung bzw. ist auch keine Veränderung der weiterführenden Prozesse notwendig. Zudem fallen auch keine zu entsorgenden Abfallstoffe an. 100 % des Phosphors aus der Klärschlammasche liegt im Endprodukt vor. Damit liegt das Potential bezogen auf den Kläranlagenzulauf bei rund 88 %.

RecoPhos® Verfahren	
Entwicklungsstand	Großtechnisch
Komplexität Technologie	Nasschemische Behandlung, Mischen
Implementierung	Klärschlammasche
Wartungsaufwand	Gering
Veränderung Schlammbehandlung	Keine
Effektivität des Verfahrens	100 %
Potential bezogen auf KA-Zulauf	88 %
Qualitativer Ressourcenaufwand	H ₃ PO ₄ , Additive, Energie (elektrisch, thermisch (optional))
Abfallstoffe	keine
Negative Effekte auf Abwasserreinigung	keine

Tabelle 6: Komplexität, Umsetzung und Rückgewinnungspotential RecoPhos®

1.3.2 Ökologische Bewertung (Systemgrenze Verfahren)

1.3.2.1 Stoffflussanalyse P

Das RecoPhos® Verfahren hat im Vergleich zu Rückgewinnungsverfahren aus dem Schlammwasser oder dem Klärschlamm keinen Einfluss auf den Abwasserreinigungsprozess. Die Wiederfindungsrate des Phosphors aus der Flugasche im Endprodukt ist 100 %. Durch die Zugabe der Phosphorsäure wird eine P-Fracht von rund 140.000 kg/a in den Prozess und damit das Endprodukt eingebracht. 8

Das P-Rückgewinnungspotential des in der Asche enthaltenen Phosphors bezogen auf den Kläranlagenzulauf liegt bei 88 % bei damit bei 56.700 kg/a. Aufaddiert liegt in der Klärschlammasche eine P-Fracht von rund 200.000 kg/a vor. Auf Basis der ermittelten Endproduktmenge von 1.160 t/a errechnet sich die gewünschte P-Konzentration von rund 16,6 %.

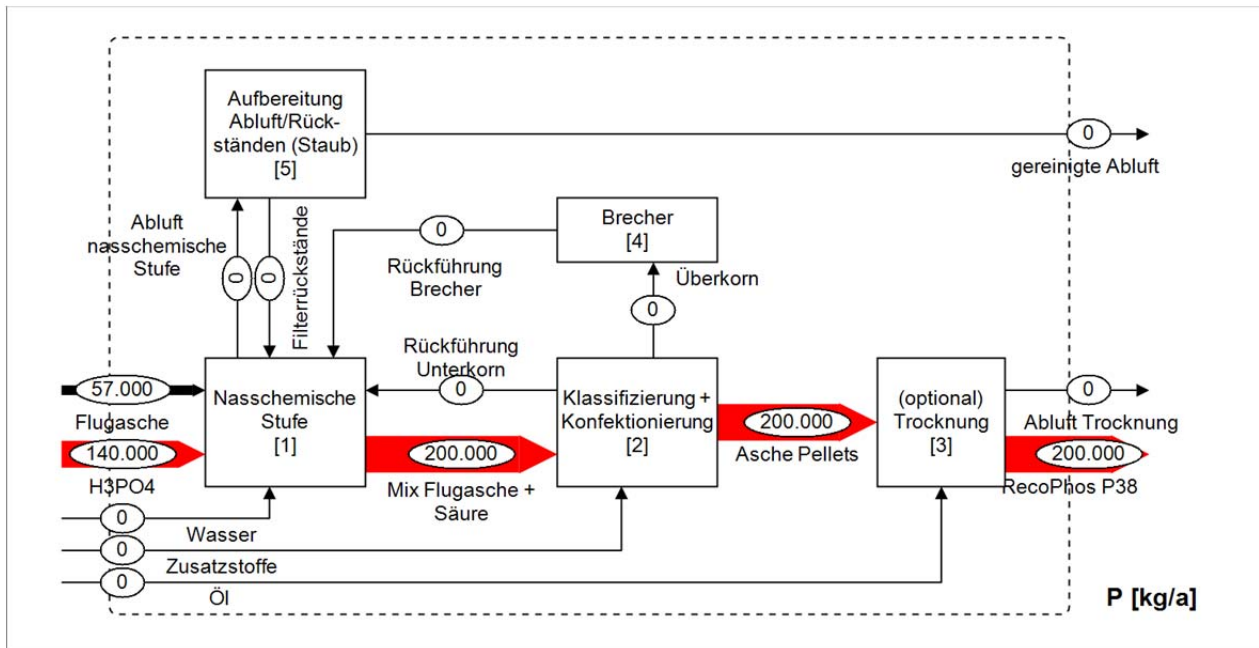


Abbildung 6: P-Stoffflussanalyse RecoPhos® (2 signifikante Stellen)

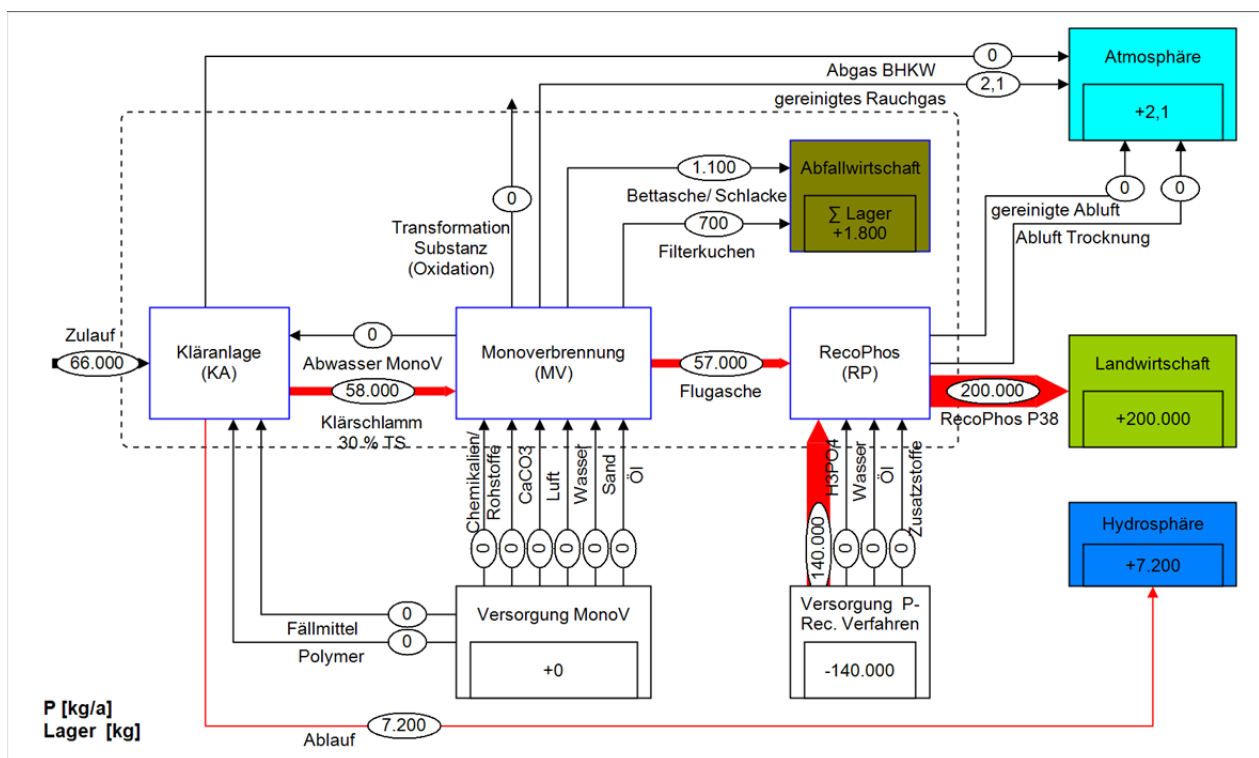


Abbildung 7: P Stoffflussanalyse RecoPhos®: Gesamte Prozesskette (2 signifikante Stellen)

1.3.2.2 Stoffflussanalyse SM

Auf Basis der Stoffflussanalyse für die Schwermetalle und der in Kapitel 1.2.2 erhobenen Transferkoeffizienten für den RecoPhos® Prozess werden die Stoffflussanalysen erstellt. Sämtliche Schwermetalle der Ausgangsasche sind aufgrund der Prozessführung im Endprodukt nachweisbar, womit keine Entfrachtung erreicht wird. Aufgrund der Zugabe von Phosphorsäure erfolgt allerdings eine Verdünnung, wodurch der Schwermetallgehalt bezogen auf die Trockensubstanz reduziert wird. Organischen Spurenstoffe werden bereits in der Verbrennung vollständig zerstört.

Parameter	Asche [kg/a]	Endprodukt [kg/a]	Rückgewinnung bzw. Entfrachtung [%]
P	56.700	56.700	100
As	8,0	8,0	0
Cd	2,2	2,2	0
Cr	66,3	66,370	0
Cu	380	380	0
Hg	0,04	0,04	0
Ni	51,0	51,0	0
Pb	83,0	83,0	0
Zn	1304	1304	0

Abbildung 8: Entfrachtungsleistung (Endprodukt:Asche)

1.3.2.3 Ergebnisse Güterflussanalyse

Der Gesamt-Ressourcenbedarf sowie der produkt-bzw. einwohnerspezifische Ressourcenbedarf für den Einsatz des RecoPhos® Verfahrens auf Basis der Referenzkläranlage kann aus den folgenden Tabellen entnommen werden. In diesem Falle wird zur Berechnung des produktspezifischen Bedarfs nur jener P-Anteil zur Berechnung herangezogen, welcher tatsächlich aus der Klärschlammasche stammt. Im Falle des RecoPhos® Prozesses fallen bei einem Input von 1 t Flugasche ein Endprodukt mit einer Fracht von rund 1,7 t an. Im Falle der Referenzklärschlammasche fracht von 670 t/a entspricht dies rund 1.160 t pro Jahr.

Chemikalien [kg/a]	
Phosphorsäure [53 %ig]	840.200
Phosphorsäure [rein]	445.300
Phosphor [rein]	139.500

Tabelle 7: Chemikalienbedarf RecoPhos® (

	Produktspez. [kg P _{rückg.}]	Einwohnerspez. [EW*a]
Phosphorsäure [53 %ig]	14,81	8,40
Endprodukt	20,43	11,59

Tabelle 8: Produkt- und einwohnerspezifischer Ressourcenbedarf RecoPhos®

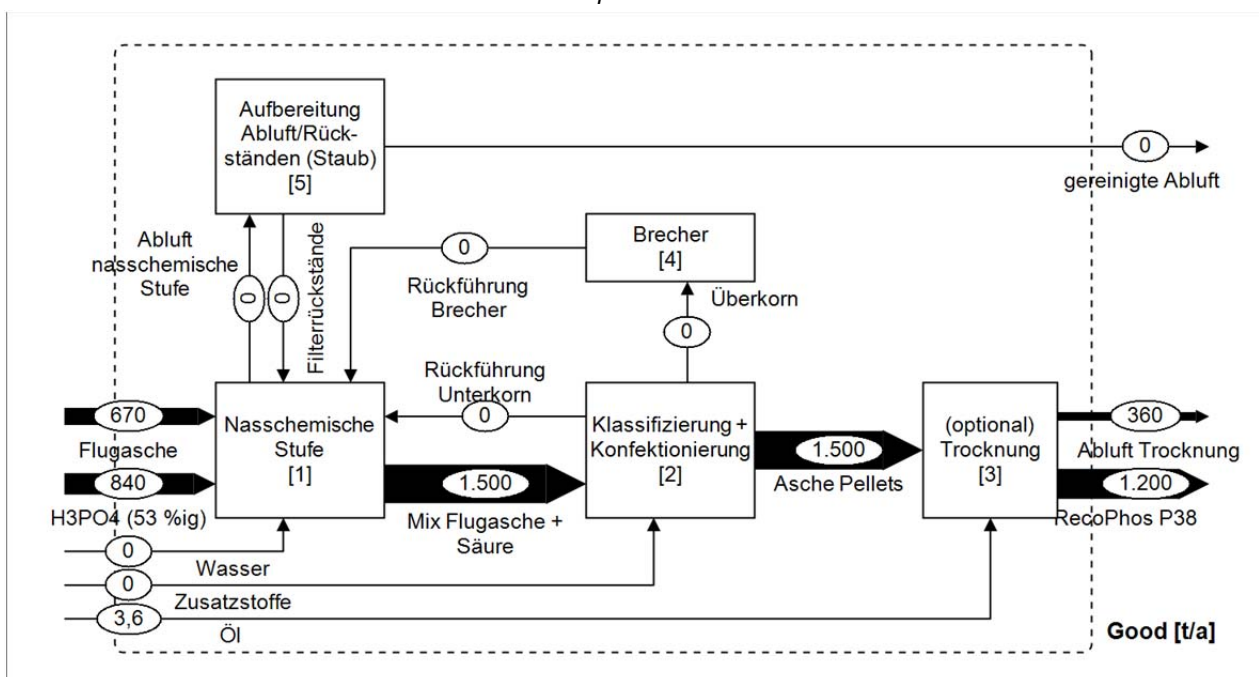


Abbildung 9: Ergebnis Güterflussanalyse RecoPhos®

1.3.2.4 Ergebnisse Energieflussanalyse

Auf Basis der Betreiberangaben zum Energiebedarf von 50-100 kWh/t Asche wird im Fall der Implementierung des RecoPhos® Verfahren auf der Referenzkläranlage ein jährlicher Bedarf an elektrischer Energie von rund 33.600 kWh ermittelt. Im Falle einer Trocknung ist ein Energiebedarf von 67.200 kWh anzunehmen. (Tabelle 9).

	Produktspez. [kg P _{rückg.}]	Einwohnerspez. [EW*a]
kWh ohne Trocknung	0,59	0,33
kWh mit Trocknung	1,18	0,67

Tabelle 9: Spezifischer Energiebedarf RecoPhos®

1.3.2.5 Ergebnis gasförmige Emissionen

Auf Basis der Ergebnisse der Güterflussanalyse und der indirekten Emissionen der notwendigen Ressourcen (GEMIS-Datenbank) kann folgender jährlicher Ausstoß an CO₂- bzw. SO₂-Äquivalenten ermittelt werden. Als Basis für die Berechnung der produktspezifischen Emissionen wird nur die tatsächlich rückgewonnen P-Fracht aus der Klärschlammasche berücksichtigt. Wenig überraschend werden die Emissionen von der Phosphorsäure dominiert. Sowohl die direkten als auch indirekten Emissionen aus dem Energiebedarf (Strom und Öl) fallen betrachtet auch die Gesamtemissionen kaum ins Gewicht.

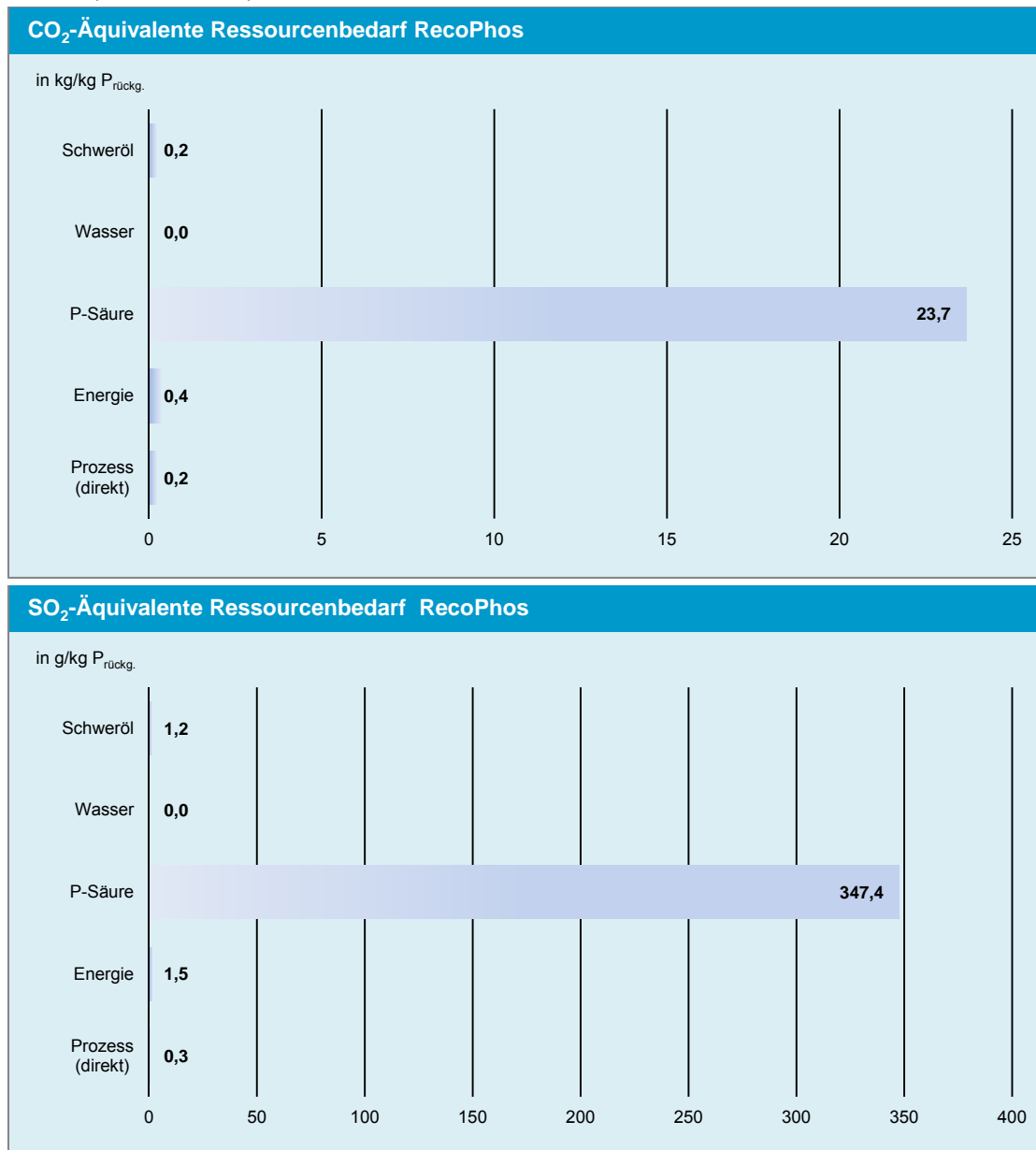


Abbildung 10: CO₂ bzw. SO₂-Äquivalente [kg bzw. g/kg P_{rückg.}] RecoPhos®



1.3.2.6 Indirekte Schwermetallemissionen RecoPhos®

Die indirekten Schwermetallemissionen werden analog zu den Gasemissionen auf Basis der Güterflussanalyse und der GEMIS-Datenbank ermittelt.

Indirekt Emissionen	Atmosphäre [g/a]	Hydrosphäre [mg/a]
As	-7,8	0,00007
Cd	-0,6	0,00018
Cr	-3,4	0,00018
Cu	-	-
Hg	-	0,0000
Ni	-2,5	-
Pb	-20,8	0,00018
Zn	-	-
AOX	-	39
PAK	-0,01	-
PCDD/F	0,000005	-

Tabelle 10: Indirekte SM-Emissionen RecoPhos®

1.3.2.7 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Der kumulierte Energieaufwand wird analog zu den Gasemissionen auf Basis der Güter- und Energieflussanalyse und der GEMIS-Datenbank ermittelt.

KEA	[kWh]	[kWh/EW*a]	[kWh/kg P _{rückg.}]
Chemikalien	3.519.700	35,19	62,0
Elektrische Energie	64.300	0,64	1,13
Thermische Energie	416.300	4,16	7,34
Gesamt	4.000.300	40,0	70,5

Tabelle 11: Kumulierter Energieaufwand RecoPhos®

Abbildung 11 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse jener Parameter die in die ökologische Bewertung des Rückgewinnungsverfahrens einfließen.

Systemgrenze Rückgewinnungsverfahren

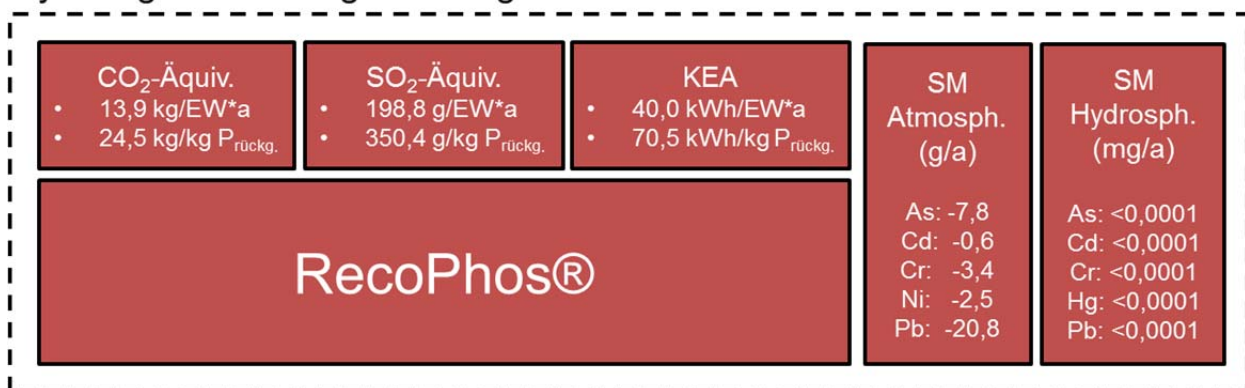


Abbildung 11: Zusammenfassung Parameter ökologische Bewertung (Systemgrenze Rückgewinnungsverfahren)

1.3.3 Ganzheitliche ökologische Bewertung RecoPhos®

Da das RecoPhos® im Anschluss an die Monoverbrennung ansetzt, hat diese Technologie keinen Einfluss auf den Abwasserreinigungsprozess und damit nachfolgende Prozesse die im Rahmen der ganzheitlichen Bewertung berücksichtigt werden. Bei der ganzheitlichen Betrachtung wird der gesamte im Endprodukt vorliegende Phosphor als Gutschrift berücksichtigt und nicht nur der aus der Klärschlammmasche stammende Anteil. Folgende Faktoren und deren Einfluss auf weitere Prozesse werden berücksichtigt:

Faktor	Einfluss auf
Ascheannahme	Keine Entsorgung bzw. Deponierung notwendig, Erlöse aus der Ascheannahme
Ressourcenaufwand RecoPhos®	Indirekte Emissionen, Kosten
Endprodukt	Kosten (Erlöse), Gutschrift ökologische Bewertung

Tabelle 12: Einflussfaktoren ganzheitliche Bewertung RecoPhos®

Berücksichtigung Transport

Die Transportwege können bis auf den Transport der Asche zum Rückgewinnungsverfahren auf Basis der Referenzsituation angenommen werden (Tabelle 13).

Transportwege	[t/a]	[tkm]	[€/EW*a]
Klärschlamm – MonoV	4.975	696.500	0,98
Flugasche - Rückgewinnung	672	26.900	0,04
Bettasche - Reststoffdeponie	45	4.500	0,01
Filterkuchen MonoV- Untertagedeponie	32	32.000	0,05
Gesamt Transport		759.900	1,08

Tabelle 13: Transportwege RecoPhos®

1.3.3.1 Ergebnis Gasemissionen

Im Vergleich zur Referenzsituation sind signifikante Veränderung der treibhausrelevanten Gase (+ 305 %), sowie eine massive Zunahme der Gase mit Versauerungspotential (+ 1.280 %) zu beobachten (Tabelle 14). Grund für die massive Zunahme der Gasemissionen, ist die ressourcenintensive Herstellung der Phosphorsäure, welche vor allem durch den Bedarf an Schwefelsäure dominiert wird.

CO ₂ -Äquivalente	[kg]	[CO ₂ -Äquiv./EW*a]
RecoPhos®	1.491.800	14,91
Referenz	368.600	3,7
Δ	+ 305%	
SO ₂ -Äquivalente	[kg]	[SO ₂ -Äquiv./EW*a]
RecoPhos®	17.340	0,173
Referenz	1.260	0,013
Δ	+ 1.280 %	

Tabelle 14: CO₂ bzw. SO₂-Äquivalente Prozesskette RecoPhos®

1.3.3.2 Ergebnis kumulierter Energieaufwand

KEA [kWh/a]	
RecoPhos®	4.888.800
Referenz	1.131.700
Δ	+ 330 %

Tabelle 15: Kumulierter Energieaufwand gesamte Prozesskette

In Abbildung 12 werden die ökologisch relevanten Bewertungsparameter CO₂- und SO₂-Emissionen sowie der kumulierte Energieaufwand in Relation zur Referenzsituation zusammenfassend bezogen auf EW*a dargestellt. Die ökologische Bewertung verdeutlicht, dass infolge der Implementierung des RecoPhos® Verfahrens nur geringe bzw. moderate Steigerungen der CO₂ bzw. SO₂-Emissionen zu erwarten sind.

Systemgrenze gesamte Prozesskette

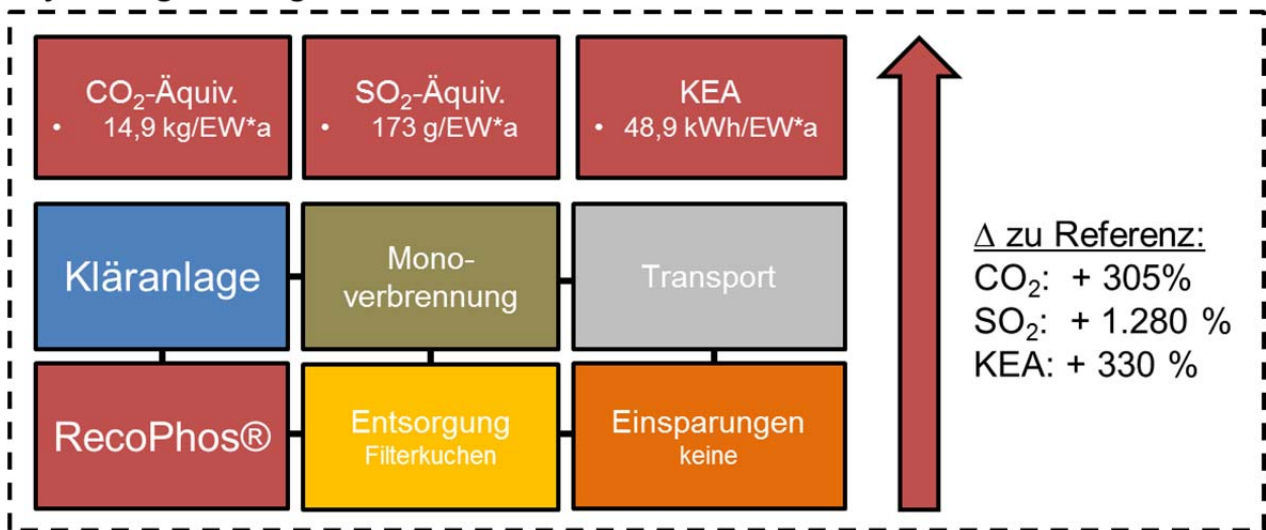


Abbildung 12: Veränderung der gasförmigen Emissionen und des KEA in Relation Referenzsituation

1.3.3.3 Ergebnisse Stoffflussanalyse Schwermetalle und organische Spurenstoffe

Auf Basis der Stoffflussanalyse können die Phosphor- und Schwermetallpfade in eine mögliche finale Senke (Deponie), Atmosphäre, Hydrosphäre oder Landwirtschaft dargestellt werden (Abbildung 13). Im Vergleich zur Referenzsituation sind keine erhöhten Schwermetallfrachten in die Atmosphäre oder Hydrosphäre zu erwarten. Die Phosphorbilanz verdeutlicht, dass in Relation zum P-Input einer Kläranlage mit dem RecoPhos® Verfahren nahezu 90 % in die Landwirtschaft rückgeführt werden kann. Jener P-Anteil der in die Gewässer geleitet wird bleibt konstant. Nur rund 10 % des abwasserbürtigen Phosphors enden final auf einer Deponie. Allerdings gelangen aufgrund der Prozessführung alle Schwermetalle die in der Klärschlammasche vorliegen auch in die Landwirtschaft. Organische Spurenstoffe sind im Endprodukt nicht nachweisbar, womit auch keine Spurenstoffe über das Endprodukt in die Landwirtschaft gelangen.

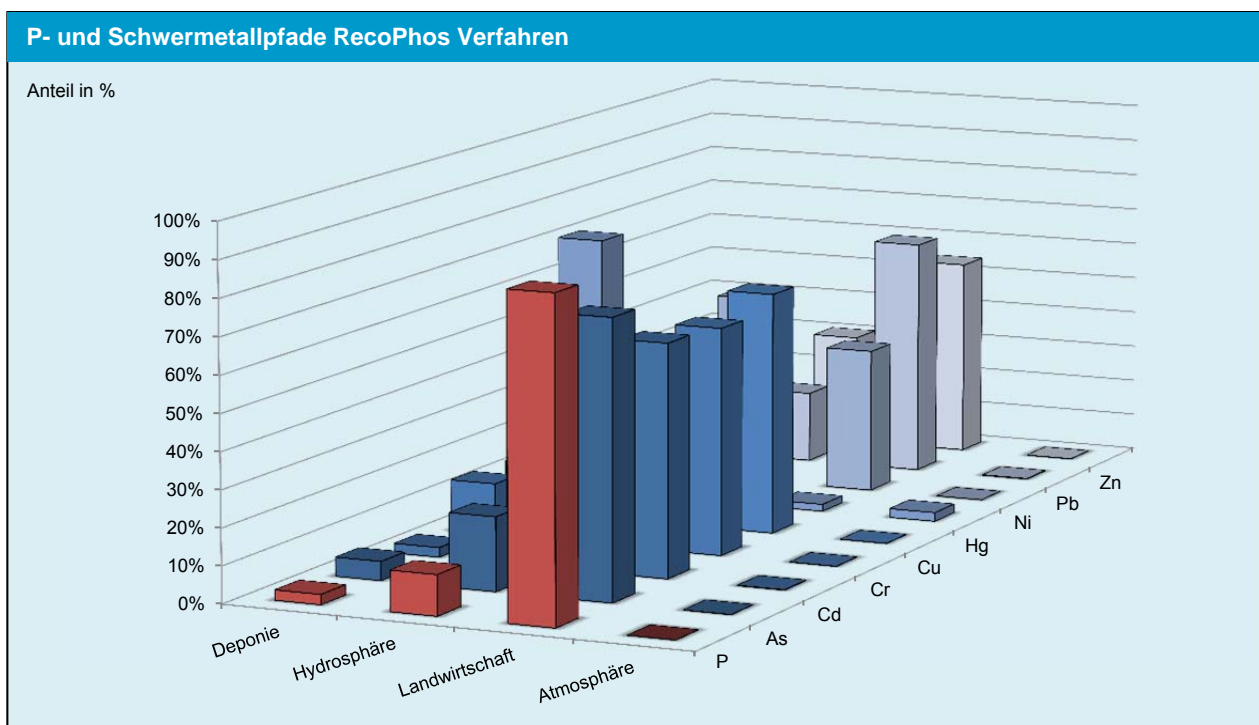


Abbildung 13: P- und Schwermetallpfade in % bezogen auf Zulauf der Referenzkläranlage (RecoPhos®)

1.3.3.4 Ergebnis Endprodukt

Das Endprodukt ist eine mit P-Säure angereicherte Asche, in welcher durch den nasschemischen Aufschluss veränderte P-Verbindungen vorliegen. Abbildung 11 zeigt die Schwermetallgehalte bezogen auf den P-Gehalt im Endprodukt, der Klärschlammasche und einem handelsüblichen Dünger gegenübergestellt. Zum einen konnte der nährstoffbezogene Schwermetallgehalt auf Basis von Literaturdaten und zum anderen auf Grundlage der Stofffluss- und Güterflussanalyse ermittelt werden. Deutlich wird, dass die Schwermetallgehalte bezogen auf den Nährstoff P im Vergleich zu einer Klärschlammasche verringert werden können (RecoPhos® Referenzasche). Grund dafür ist die deutliche Erhöhung des P-Gehaltes in der Asche und damit quasi eine Verdünnung bezogen auf den Hauptnährstoff. Im Vergleich zu einem handelsüblichen Dünger liegen die Cd, Cr und Ni Gehalte darunter, für Ni und Hg auf gleichem Niveau, bei As leicht und bei Cu und Zn deutlich darüber.

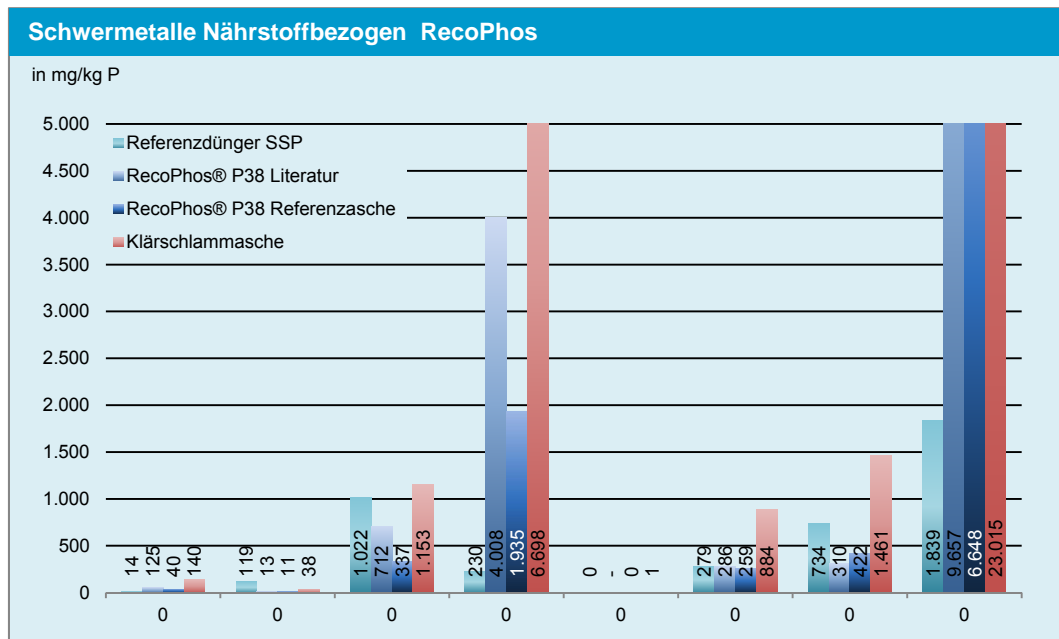


Abbildung 14: Nährstoffbezogene Schwermetallaufbringung RecoPhos® Endprodukt Vergleich Handelsdünger (SSP)

Bewertung Endprodukt	RecoPhos® P38	RecoPhos® P38 Referenzasche	SSP
Löslichkeit	Sehr Gut	Sehr Gut	Sehr Gut
Düngewirksamkeit	Sehr Gut	Sehr Gut	Sehr Gut
Monetäre Wert [€/t Endprodukt]	399/350	399	230
Anorganische Verunreinigungen			
SM:P [mg Cd/kg P]	13,0	11,1	118
Schadeinheit [SE/kg P]	0,16	0,11	1,26
Referenzbodenmethode [*limitierendes Element]	970 (Ni*)	1.960 (Ni*)	1.450 (Cd*)
Tolerierbare Menge bezogen auf Cd	0,56	0,64	-
Organische Verunreinigungen			
Keine organische Spurenstoffe	5 ¹	5 ¹	5
Keine hygienischen Bedenken	5 ¹	5 ¹	5
Handhabung			
Einfache Lagerung möglich	5	5	5
Direkter Einsatz in LW möglich	5	5	5

Tabelle 16: Bewertung RecoPhos® P38

Das Cd:P Verhältnis ist mit 11 - 13 mg Cd/kg P im Vergleich zu einem handelsüblichen Düngers (SSP) gering, jedoch im Verhältnis zu anderen Sekundärprodukten eher hoch einzustufen. Das Schadeinheitenmodell und die Referenzbodenmethode verdeutlichen die geringen Gehalte an Schwermetallen im Vergleich zu handelsüblichen Düngern. Verglichen mit anderen Sekundärdüngern



schneidet dieses Endprodukt jedoch nicht gut ab. Theoretisch kann RecoPhos® Endprodukt rund 970 – 1.960 Jahre aufgebracht werden bis die tolerierbare Konzentration des ersten begrenzenden Schwermetalls erreicht wird. In diesem Fall ist Nickel das limitierende Element. Bei der Betrachtung der maximal tolerierbaren Menge bezogen auf den Cd, könnte das RecoPhos® Endprodukt im Vergleich zum SSP um den zirka den Faktor 0,6 häufiger ausgebracht werden. Organische Spurenstoffe sind nach Angaben des Herstellers keine nachweisbar (+¹) bzw. ergeben sich aus der Prozessführung keine hygienischen Bedenken (+²). Die hergestellten Pellets können nach der Größenklassifizierung problemlos gelagert werden und aufgrund deren Eigenschaften direkt mithilfe moderner Ausbringungsgeräte in der Landwirtschaft ausgebracht werden.

1.3.4 Ökonomische Bewertung

1.3.4.1 Up- and Downscaling Investitionskosten RecoPhos®

Wesentliche Voraussetzung für größenabhängige Kostenkalkulationen ist die Annahme und Festlegung von Up- und Downscalingfaktoren. Auf Basis der vorliegenden Investitionskosten von rund 6,0 Mio. € für das RecoPhos® Verfahren für eine jährliche Kapazität von 15.000 t/a und bekannter Investitionskostenentwicklungen (siehe ökonomische Bewertung Ash Dec® Verfahren) wird eine Beziehung zum jährlichen Aschedurchsatz und den entsprechenden Kosten hergestellt. Die Unsicherheit der Daten liegt bei rund +/-0,5 Mio. €.

Aschedurchsatz [t/a]	Investitionskosten [Mio. €]	Faktor [aus Ash Dec]
5.000	3,8	0,63
10.000	5,1	0,84
15.000	6,0	1,00
20.000	6,6	1,10
30.000	7,4	1,25
50.000	9,0	1,50

Tabelle 17: Investitionskosten RecoPhos® in Relation zum jährlichen Aschedurchsatz (Investitionskostenfaktor Ash Dec® Verfahren)

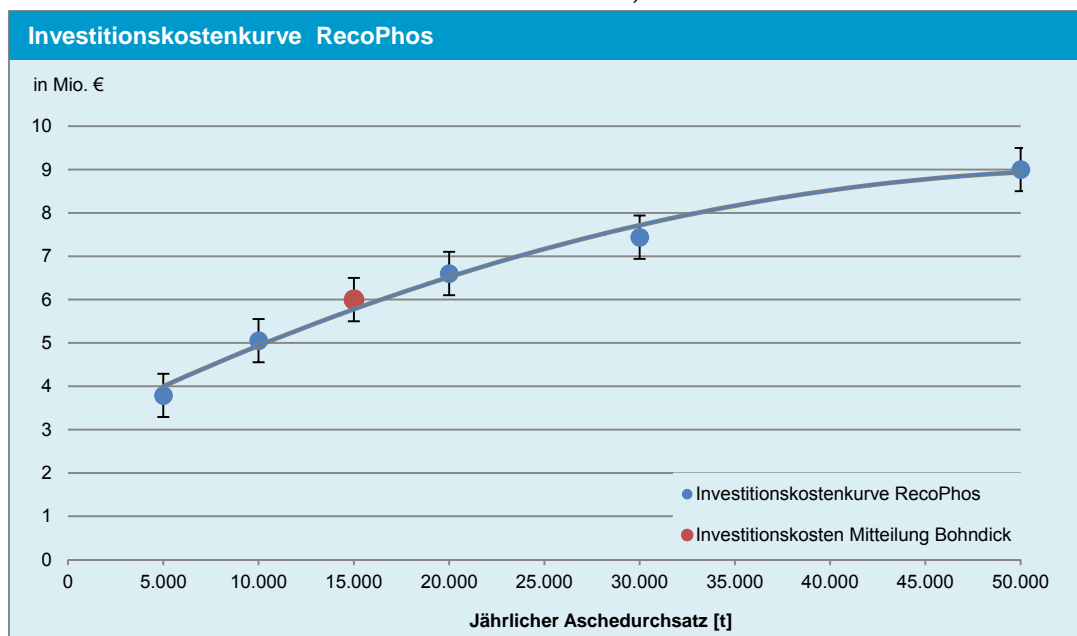


Abbildung 15: Upscaling Faktoren Investitionskosten RecoPhos®

Abbildung 15 verdeutlicht, dass die Investitionskosten nicht proportional zum jährlichen Aschedurchsatz steigen. Das bedeutet, dass z.B. die Investitionskosten für eine Anlage mit 15.000 t/a bei rund 6 Mio. € liegen (Bohnedick, 2013), während bei einer Anlage mit z.B. doppeltem Durchsatz die Investitionskosten um nur ca. 25 % steigen. Unter 30.000 t keinen sinn

1.3.4.2 Jahreskosten

Die Kostenkalkulation wird auf Basis der Daten von Bohndick (2013) auf eine 30.000 t Anlage hochgerechnet. Die Investitionskosten für diese Ausbaugröße liegt im Bereich von $7,5 \pm 0,5$ Mio. €. Eine detaillierte Aufgliederung der Kosten für die einzelnen Anlagenteile ist nicht möglich. Wartungskosten werden mit 1,5 % Anlageninvestitionskosten der Investitionskosten festgelegt. Der Personalaufwand bei dieser Ausbaugröße mit 16 MA/Jahr angenommen werden. Die Kosten für die Betriebsmittel werden auf Basis des Sachbilanz ermittelt.

Jahreskosten	Menge [t bzw. kWh]	Preis/Einheit	€/a
Kapitalkosten			669.100
Wartung + Reparaturen			111.600
H ₃ PO ₄ [50%ig]	37.530	550 €/t	20.641.500
Strom	1.500.000	0,1 €/kWh	150.000
Öl	188.700	0,1 €/kWh	122.700
Personal	2	50.000 €/MA	100.000
Sonstiges	-	-	-
Entsorgung	-	-	-
Betriebskosten (gerundet)			21.126.000
Gesamt (gerundet)			21.795.000

Tabelle 18: Jahreskosten RecoPhos® (Aschedurchsatz 30.000 t)

Einsparungen/Erlöse	Menge [t]	Preis/Einheit	€/a
Ascheannahme	30.000	50 €/t	1.500.000
Verkauf Endprodukt (Var. 1)	30.000	350 €/t	18.118.600
Verkauf Endprodukt (Var. 2)	30.000	399 €/t	20.644.300
Gesamt Variante 1			19.618.600
Gesamt Variante 2			22.144.300

Tabelle 19: Einsparungen und Erlöse RecoPhos® (Aschedurchsatz 30.000 t)

Spezifische Kosten		
€/kg P _{rückgewonnen}	2,3	
€/EW*a	5,8	
€/E*a	11,6	
Spezifische Kosten (nach Erlöse)	Variante 1	Variante 2
€/kg P _{rückgewonnen}	0,25	-0,04
€/EW*a	0,62	-0,10
€/E*a	1,20	-0,20

Tabelle 20: Spezifische Kosten RecoPhos® (Aschedurchsatz 30.000 t)

1.3.4.3 Variantenrechnung/Kostendegression

Die größenabhängigen Investitionskosten und die daraus abgeleiteten Kapitalkosten sind mit höheren Unsicherheiten behaftet. Allerdings zeigt die Kostenkalkulation, dass der Anteil der Kapitalkosten an den Jahreskosten deutlich unter 5 % liegt. Das heißt, dass auch etwaige Unsicherheiten bei der Annahme der Investitionskosten im Rahmen der Gesamtkostenrechnung nur unwesentlich ins Gewicht fallen. Da die Kosten von der Phosphorsäure dominiert werden, die wiederum direkt proportional zur Aschemenge eingesetzt wird, hat die Ausbaugröße (unterschiedlicher Aschedurchsatz pro Jahr) nur einen geringen Einfluss. Das heißt, dass sich z.B. die produktspezifischen Kosten im Fall einer Anlage mit einem jährlichen Durchsatz von 5.000 t (2,7 €/kg P_{rückg.}) kaum von den produktspezifischen Kosten im Falle einer Ausbaugröße von 50.000 t (2,5 €/kg P_{rückg.}) unterscheiden. Dies obgleich die Investitionskosten trotz 10-fachem Aschedurchsatz nur um 140 % ansteigen.

Schwierig zu beurteilen sind mögliche veränderliche Kosten aufgrund der in den letzten Jahren stark schwankenden P-Preise und damit auch der Preis für Phosphorsäure. Dies hat Einfluss zum einen Einfluss



wie erwähnt auf den Phosphorsäurepreis und zum anderen auf den Verkaufspreis des entstehenden Endprodukts. Wird ein Preis von 550 €/t für die 50%ige P-Säure und ein Verkaufserlös von 350 €/t angenommen liegen die Betriebskosten im Bereich von 0,2 - 0,5 €/kg P. Was nicht berücksichtigt wird sind eventuell abnehmende Kosten für die Phosphorsäure aufgrund z.B. von Großmengenrabatten oder langfristigen Lieferverträgen. Unter der Annahme eines Verkaufspreises von rund 400 €/t (=monetärer Wert der Nährinhaltsstoffe) liegen die Kosten bei 0,17 bzw. kann ein Gewinn von bis zu 0,06/kg P_{rückg.} erwirtschaftet werde. Eine Besonderheit im Fall des RecoPhos® Verfahren sind die im Vergleich zu den produktspezifischen Kosten höheren einwohnerspezifischen Kosten. Grund dafür ist, dass bei den produktspezifischen Kosten natürlich auch die bedeutende P-Fracht aus der P-Säure mitberücksichtigt wird.

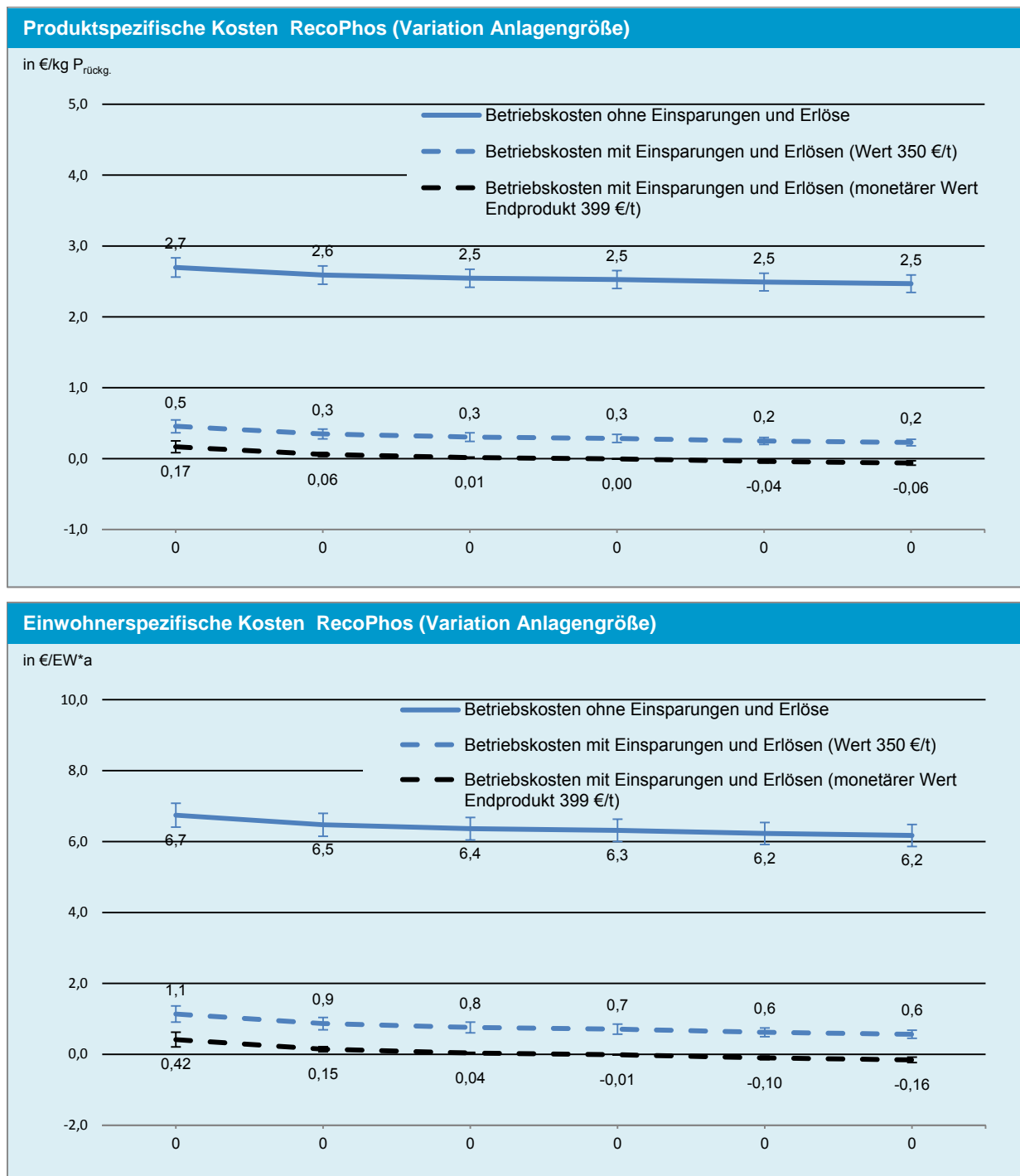


Abbildung 16: Produktspezifische Kosten RecoPhos®; Variation Rücklösung und Anlagengröße

1.3.4.4 Kostenaufgliederung

Anhand der Kostenaufgliederung wird deutlich, dass nur 3 % der Gesamtkosten auf die Kapitalkosten entfallen. Im Falle der Betriebskosten haben die Kostenposten Wartung, Energie und Personal im Vergleich zur Phosphorsäure kaum einen Einfluss. Auch unterschiedliche Anlagengrößen wirken sich kaum auf die Kostenaufgliederung aus.

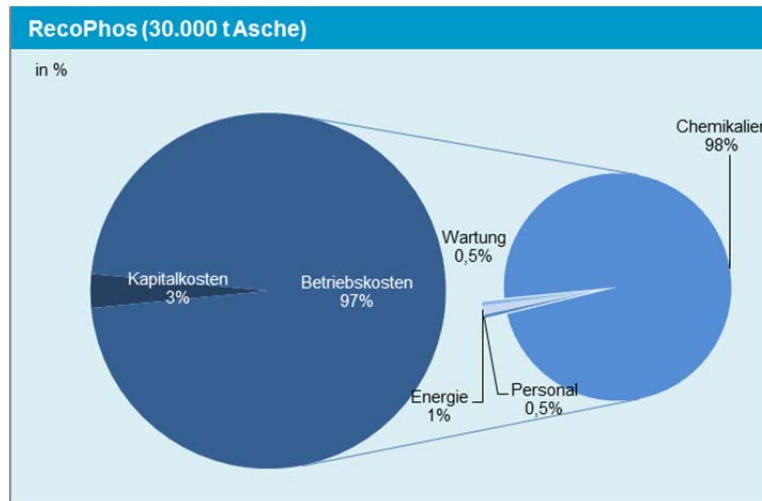


Abbildung 17: Kostenaufgliederung RecoPhos® 30.000 t Asche

1.3.4.5 Amortisation

Die Kostenrechnung zeigt, dass das RecoPhos® Verfahren unter Annahme des P-Säurepreises von 550 €/t und dem Endproduktpreis von 350 €/t nach dieser Berechnung die Erlöse die Betriebskosten nicht decken und damit auch keine Amortisation der Anlage möglich ist. Allerdings können schon geringe Veränderungen der Parameter P-Säurepreis oder Erlös aus dem Endprodukt einen gewinnbringenden Betrieb des Verfahrens ermöglichen. Unter der Annahme der Variante 2 der Kostenrechnung in Kapitel 1.3.4.2 wäre eine Amortisation der Anlage bereits nach 6 - 8 Jahren möglich.

Anlagengröße	Amortisationszeit [a]
15.000 t; Variante 1	Keine Amortisation
15.000 t; Variante 2	Keine Amortisation
30.000 t; Variante 1	Keine Amortisation
30.000 t; Variante 2	5-6/

Tabelle 21: Amortisationszeit in Abhängigkeit der Anlagengröße

1.3.4.6 Kosten gesamte Prozesskette

Wie bereits bei den vorangegangenen Kostenkalkulationen zeigt sich, dass die möglichen Erlöse einen starken Einfluss auf die Gesamtkosten und damit auf die Kosten bei Betrachtung der gesamten Prozesskette haben (Tabelle 22). Unter der Voraussetzung, dass die Ascheannahme und der Verkauf des Produktes zum festgelegten Preis von 350 €/t berücksichtigt wird, liegen die Kosten für eine Anlage mit einem Durchsatz von 30.000 t/a bei rund 17 % über den Kosten der Referenzsituation. Wird der tatsächliche monetäre Wert für den Erlöse des Endproduktes angesetzt, so liegen die Kosten rund 10 % über der Referenz.

Kostenstellen (Kosten in €EW*a)	30.000 t (Erlöse 350 €/t)	30.000 t (Erlöse ~400 €/t)
Kläranlage		
Abwasserreinigung	4,50	4,50
Schlammbeh. inkl. Entwässerung	1,50	1,50
Kosten Kläranlage	6,00	6,00
Rückgewinnungsverfahren	6,20	6,20
Monoverbrennung	5,22	5,22
Entsorgung		
Asche/Schlacke/Flugasche	0,36	0,36



Filterkuchen	0,06	0,06
Transport		
Schlamm zu Verbrennung	0,98	0,98
Bettasche zu Deponie	0,01	0,01
Filterkuchen zu Untertagedeponie	0,04	0,04
Summe Kosten	18,57	18,57
Einsparungen und Erlöse		
Ascheannahme	0,43	0,43
Verkauf Endprodukt	5,18	5,90
Summe Einsparungen und Erlöse	5,61	6,33
Gesamtkosten	12,97	12,25
Δ zu Referenz	+17 %	+10 %

Tabelle 22: Jahreskosten gesamte Prozesskette RecoPhos®

Kläranlage	MonoV	RecoPhos®	Entsorgung Bettasche, Filterkuchen	Transport	Einsparungen Ascheannahme, Verkauf Endprodukt
6,0 €	5,2 €	6,2 €	0,2 €	1,0 €	5,6 – 6,3€
Gesamt: 12,3-13,0 €/EW*a					
Vergleich zur Referenz: Δ absolut: + 1,1- +1,9 €/EW*a; Δ %: + 10-17 %					

Abbildung 18: Kosten gesamte Prozesskette RecoPhos® Verfahren 30.000 t Asche

1.3.4.7 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse in Abbildung 19 verdeutlicht, dass die Preisänderung für Rohstoffe (+ 20 %) und vor allem ein Anstieg des Säurepreises eine großen Einfluss auf die Gesamtkosten dieses ressourcenintensiven Verfahrens haben. Kapitalkosten hingegen haben trotz der Annahme höheren Investitionskosten (+ 20 %) keinen großen Einfluss auf die Gesamtkosten (+ 5 %). Auch der geringere P-Gehalt der Ausgangsasche hat keine so dominanten Auswirkungen auf die produktspezifischen Kosten wie bei anderen Rückgewinnungsverfahren aus der Asche. Grund dafür ist, dass die Phosphorfracht die über die Asche in den Rückgewinnungsprozess gelangt durch Zugabe von P-Säure ungefähr verdoppelt wird. Damit fällt eine verringerte P-Fracht in der Inputasche nicht so stark ins Gewicht.

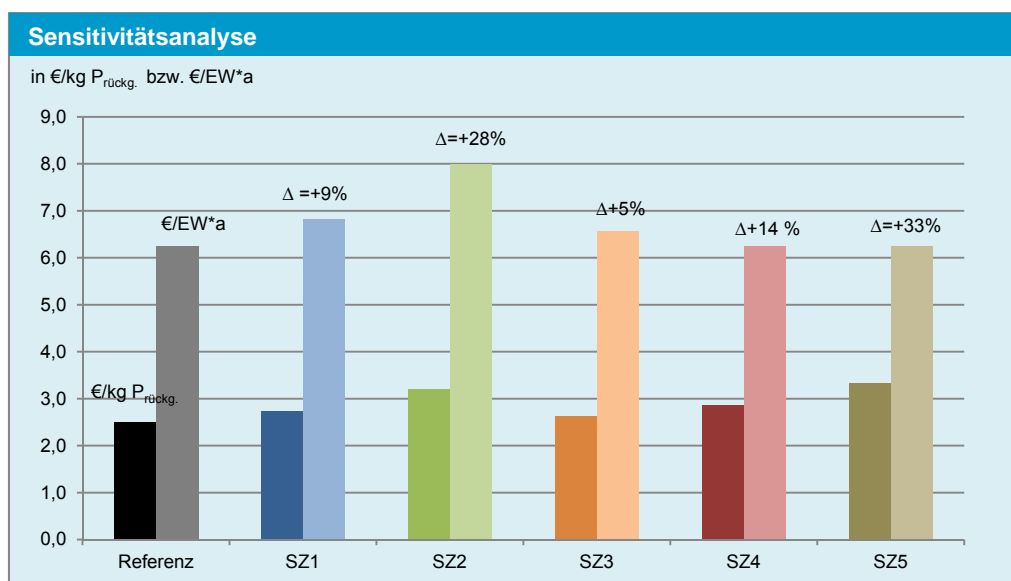


Abbildung 19: Sensitivitätsanalyse RecoPhos®

1.3.5 Literatur

Bohndick, F. (2012) persönliche Mitteilung, Telefonat am 2.11.12

Bohndick, F. (2013) persönliche Mitteilung.

Bohndick, F. (2012) RecoPhos P 38. Präsentation. Green Jobs Round Table am 17.10.12, Phosphor Recycling. Wien, 2012.

Weigand, H., Bertau, M., Bohndick, F. Bruckert, A. (2011) Recophos: Full-scale recovery of phosphate from sewage sludge ash. In: Sardinia 2011, Proceeding of the thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium

Weigand, H., Bertau, M., Hübner, W. (2012) P-Düngerproduktion aus Klärschlammasche - Erfolge und Hemmnisse bei der ressourceneffizienten Nutzung eines Abfallstromes. Müll und Abfall Vol. 5. pp. 248-253

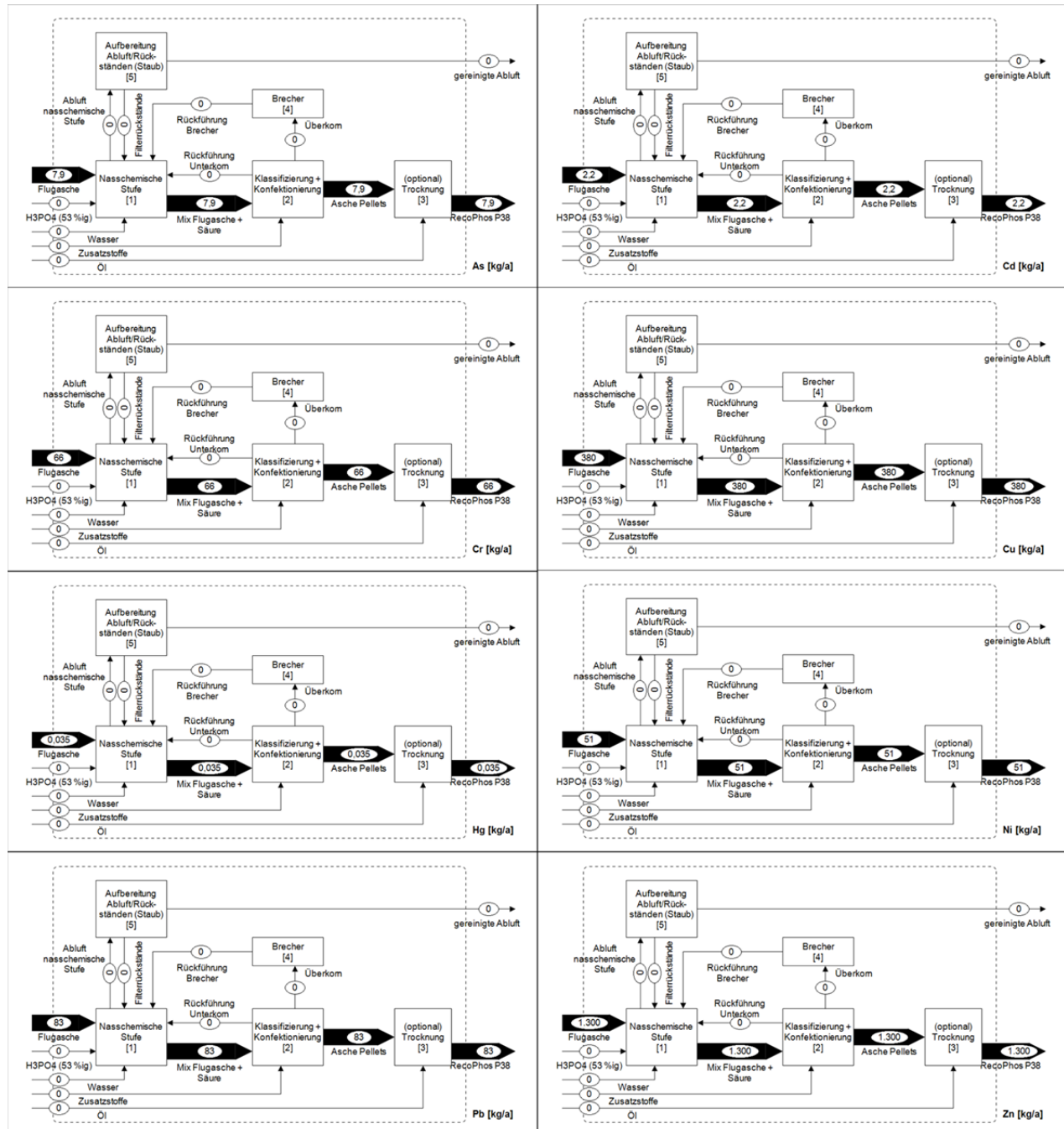
TUM (2011) Wirkung einer P-Düngung mit Reco-Phos zu Raps und Mais in zwei Böden. Versuche Nov 2010 –Jan 2011. Präsentation. Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Technische Universität München (TUM)

Produktdatenblatt RecoPhos® (2011) Juni 2011. <http://www.recophos.de/index.php?id=14>



1.4 Anhang

1.4.1 Stoffflussanalyse RecoPhos®



1.4.2 Stoffflussanalyse Gesamtprozess RecoPhos®

