

# P-Recycling in Gifhorn mit dem modifizierten Seaborne-Prozess

**Norbert Bayerle, Gifhorn**

Die Stadt Gifhorn liegt in Niedersachsen am Rand der Lüneburger Heide in einem Dreieck mit Wolfsburg und Braunschweig. Sie hat derzeit ca. 42.000 Einwohner auf einer Gesamtfläche von 105 km<sup>2</sup>. Aus über 150 km Schmutzwasser- und 50 km Mischwasserkanal sowie 42 Pumpstationen werden der städtischen Kläranlage ca. 6.600 m<sup>3</sup>/d Abwasser bei Trockenwetter zugeführt. Die Zulauffrachten liegen i. M. bei

4.300 kg/d CSB  
 3.500 kg/d BSB<sub>5</sub>  
 75 kg/d P<sub>ges</sub>  
 650 kg/d N<sub>ges</sub>.

In den Jahren 1990-95 wurde die Kläranlage erweitert auf 90.000 EW, mit weitergehender Abwasserreinigung (Bio-P und Nitrifikation/Denitrifikation). Z. Zt. angeschlossen sind nach BSB<sub>5</sub>-Zulauf ca. 58.000 EW. Die Vorreinigung besteht aus Stufenrechen, belüftetem Langsandfang und Vorklärbecken, die Biologie aus 3 Umlaufbecken à 2.900 m<sup>3</sup> Volumen, belüftet über Mammutrotoren, und 3 Rundnachklärbecken á 2.700 m<sup>3</sup> Volumen.

Die Schlammbehandlung besteht seit 1972 aus 2 Stahlfaultürmen á 2.000 m<sup>3</sup> Volumen, die im Moment noch in Reihe (mesophil) gefahren werden. Z. Zt. wird die Faulung umgebaut und durch den Einbau eines zweiten Wärmetauschers ein Parallelbetrieb ermöglicht, um eine bessere Ausfäulung im Hinblick auf die Gasausbeute und die Verfügbarkeit bzw. Verarbeitbarkeit in der neuen Klärschlammbehandlung (P-Rückgewinnung) zu erreichen. Input und Output der Faulung im Jahr 2008 zeigt Tabelle 1.

| Input Faulung                                |                |                   |              |            | kg/d         |              |
|----------------------------------------------|----------------|-------------------|--------------|------------|--------------|--------------|
|                                              | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> /d | TSG          | GV         | TM           | oTM          |
| <b>PS</b>                                    | <b>23.918</b>  | <b>65</b>         | <b>2,57%</b> | <b>87%</b> | <b>1.682</b> | <b>1.459</b> |
| <b>ÜSS</b>                                   | <b>11.651</b>  | <b>32</b>         | <b>5,19%</b> | <b>73%</b> | <b>1.652</b> | <b>1.209</b> |
| <b>Fett</b>                                  | <b>4.100</b>   | <b>11</b>         | <b>5,00%</b> | <b>93%</b> | <b>560</b>   | <b>521</b>   |
| <b>Gesamt</b>                                | <b>39.669</b>  | <b>108</b>        |              |            | <b>3.895</b> | <b>3.189</b> |
| Output Faulung - zur Klärschlammaufbereitung |                |                   |              |            |              |              |
| <b>Rohschl.</b>                              | <b>36.751</b>  | <b>101</b>        | <b>1,66%</b> | <b>62%</b> | <b>1.671</b> | <b>1.036</b> |
|                                              | <b>-2.918</b>  | <b>-7,0</b>       |              |            |              |              |

Tabelle 1: Input/Output Faulstufe

Der ÜSS wird, bevor er auf die Faulung kommt, zunächst maschinell eingedickt und anschließend mit einem chemisch/thermischen Zellaufschluss behandelt. Für Fremdfette gibt es eine Annahmestation, die bis zu 7.300 m<sup>3</sup> im Jahr aufnehmen kann. Die mittleren Werte des z. Zt. ausgefäulten Schlammes zeigt Tabelle 2.

|                |  |               |  |                            |
|----------------|--|---------------|--|----------------------------|
| <b>pH 7,06</b> |  |               |  | <b>110 m<sup>3</sup>/d</b> |
|                |  | <b>g/l OS</b> |  | <b>kg/d</b>                |

|                      |              |                                   |                 |              |
|----------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------|--------------|
| <b>TS</b>            | <b>1,60%</b> | <b>16,0</b>                       |                 | <b>1.760</b> |
| <b>70% org. Ant.</b> | <b>1,12%</b> | <b>11,2</b>                       |                 | <b>1.232</b> |
| <b>miner. Anteil</b> | <b>0,48%</b> | <b>4,8</b>                        |                 | <b>528</b>   |
|                      |              | <b>Nährstoffe</b>                 | <b>mg/l OS</b>  | <b>kg/d</b>  |
|                      |              | <b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> | <b>1.120</b>    | <b>123</b>   |
|                      |              | <b>P<sub>ges</sub></b>            | <b>590</b>      | <b>65</b>    |
|                      |              | <b>Ca<sup>2+</sup></b>            | <b>580</b>      | <b>64</b>    |
|                      |              | <b>Mg<sup>2+</sup></b>            | <b>95</b>       | <b>10</b>    |
|                      |              | <b>K<sup>+</sup></b>              | <b>220</b>      | <b>24</b>    |
|                      |              | <b>Na<sup>+</sup></b>             | <b>350</b>      | <b>39</b>    |
|                      |              | <b>S</b>                          |                 |              |
|                      |              | <b>Schadstoffe</b>                | <b>mg/kg TS</b> | <b>kg/d</b>  |
|                      |              | <b>Pb</b>                         | <b>66</b>       | <b>0,116</b> |
|                      |              | <b>Cd</b>                         | <b>1,9</b>      | <b>0,003</b> |
|                      |              | <b>Cr</b>                         | <b>29</b>       | <b>0,051</b> |
|                      |              | <b>Cu</b>                         | <b>327</b>      | <b>0,575</b> |
|                      |              | <b>Ni</b>                         | <b>18,7</b>     | <b>0,033</b> |
|                      |              | <b>Hg</b>                         | <b>2,04</b>     | <b>0,003</b> |
|                      |              | <b>Zn</b>                         | <b>819</b>      | <b>1,441</b> |
|                      |              | <b>AOX</b>                        | <b>197</b>      | <b>0,346</b> |

Tabelle 2: Mittlere Werte des ausgefaulten Klärschlammes

Bis Ende 2005 wurde der Klärschlamm der Kläranlage Gifhorn ausschließlich landwirtschaftlich verwertet. Wobei durch eine bis dahin noch vorhandene Faulschlammeindickung die auszubringende Jahresmenge zuvor noch auf ca. 3,8 – 4% TS-Gehalt eingedickt wurde.

Rat und Verwaltung der Stadt Gifhorn waren sich seinerzeit einig, dass die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung, wie sie bis dahin betrieben wurde, nicht mehr der Weg der Zukunft sein sollte – Stichworte: Daseinsvorsorge, Boden- und Grundwasserschutz, Schwermetallbelastungen, Belastungen durch organische Gifte und Medikamentenrückstände. Gewählt wurde nach langer und umfassender Recherche ein für die Klärschlammaufbereitung bis dato noch nicht erprobtes Verfahren, dass dadurch natürlich auch mit gewissen Risiken behaftet ist, da hierüber keinerlei Erfahrungen vorlagen. Deshalb hat das Land Niedersachsen diesen Schritt zum Einen mit einem ungewöhnlich hohen Zuschuss von 51% bedacht, und zum Anderen eine wissenschaftliche Begleitung durch die Universitäten Hannover und Braunschweig und die PFI Planungsgemeinschaft eingebunden. Aus den im Rahmen dieser Begleitung durchgeführten Analysen und Untersuchungen wurden die hier vorgestellten Ergebnisse entnommen.

Das s. g. Seaborne-Verfahren war Grundlage der Anlage, die in Gifhorn seit ca. Mitte 2006 betrieben wird. Sie stellt einen alternativen Behandlungs- und Verwertungspfad u. a. für Klärschlämme an Stelle der bisher bekannten Wege der Klärschlamm Entsorgung dar. Es hat eine Ausschleusung von Schwermetallen einerseits sowie primär die Rückgewinnung der Wertstoffe Stickstoff und Phosphor zum Ziel. Insbesondere der letztgenannte Aspekt ist von besonderer Bedeutung, da hiermit die Möglichkeit besteht, die Wertstoffe aus dem Klärschlamm in Form eines vermarktaren Dünger-Produktes zu recyceln. Allerdings muss man dazu sagen, dass die Anlage in Gifhorn gegenüber dem ursprünglichen Seaborne-Verfahren in teilweise erheblichem Maße reduziert und verändert werden musste, um einen praktikablen und vor allem einigermaßen wirtschaftlichen Weg zum Betrieb der Anlage zu finden, ohne die Abwassergebühr zu belasten. Bild 1 zeigt die wesentlichen Verfahrensschritte der Anlage.

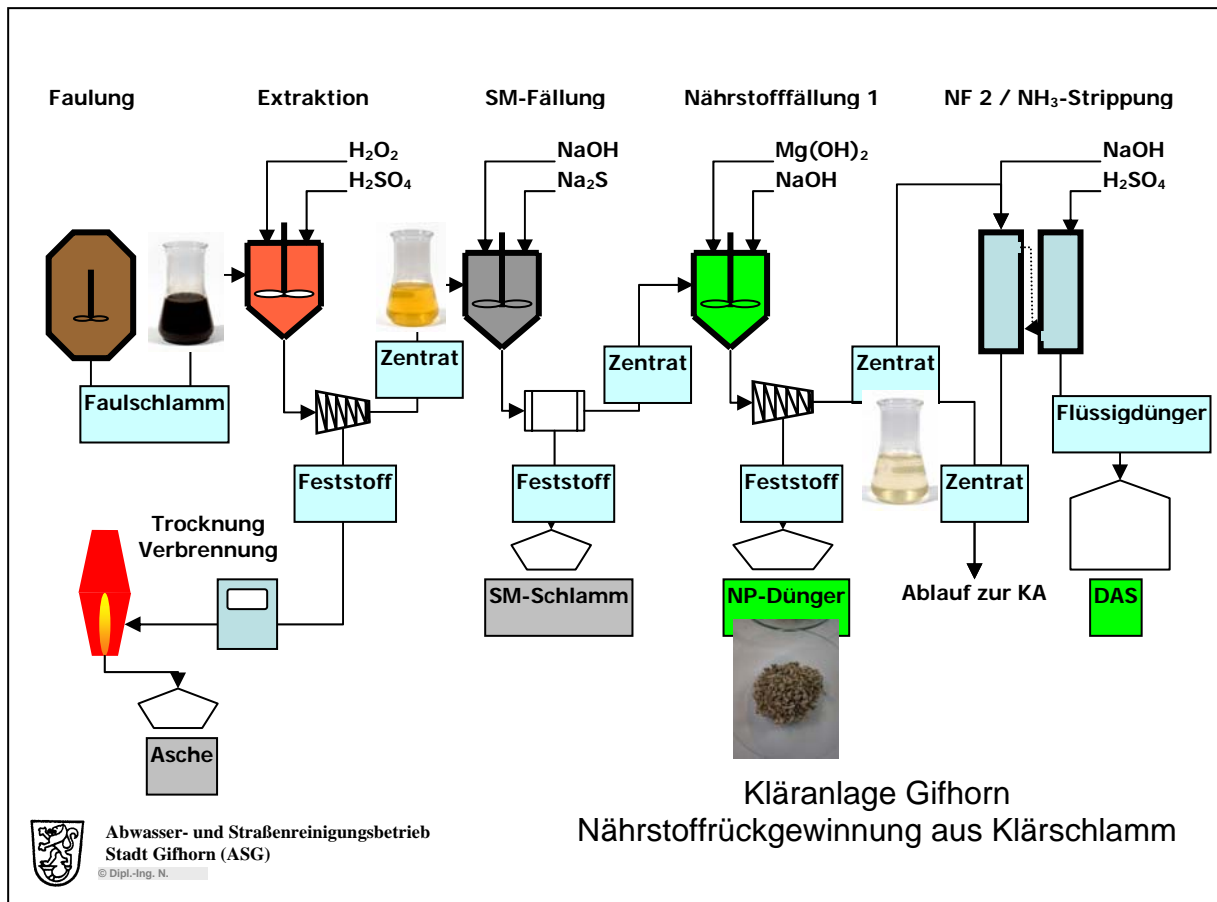


Bild 1: Verfahrensfließschema der Phosphorrückgewinnungsanlage der Kläranlage Gifhorn

Zunächst wird in der s. g. Extraktion der mesophil ausgefautete Klärschlamm durch Zugabe von Schwefelsäure in einem ersten Schritt im pH-Wert erheblich abgesenkt. Bild 2 zeigt anhand von tatsächlichen Messwerten an der Anlage, dass die Rücklösung von Phosphor durch pH-Wert-Absenkung linear zunimmt. Dabei steigt die Rücklösequote bei pH 2 auf bis zu 95%. Stickstoff ist bereits im Faulschlamm zu ca. 50% in Lösung, und bewegt sich auch bei extremer pH-Wert-Senkung nicht weiter (siehe Bild 2).

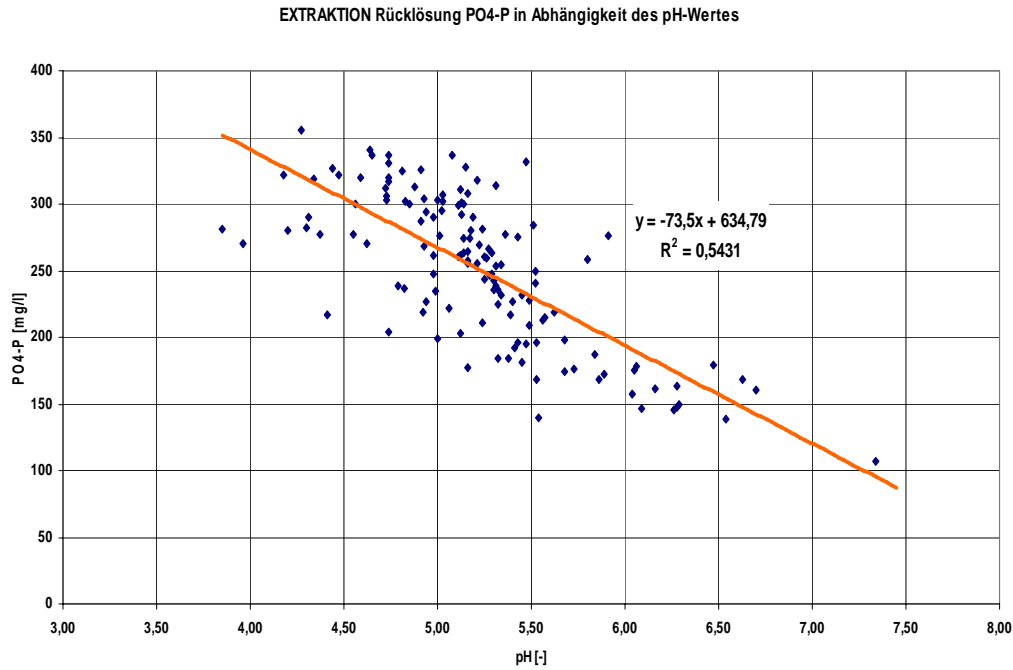


Bild 2: Rücklösung von Phosphor in Abhängigkeit vom pH-Wert

Das Rücklöseverhalten der Schwermetalle ist sehr unterschiedlich (Bild 3). Eisen und Nickel lassen sich ähnlich gut lösen wie Phosphor. Aluminium, Zink und Chrom lösen sich erst ab pH-Werten < 4, dann allerdings recht gut. Blei, Cadmium, Kupfer und Quecksilber lassen sich nur mit pH-Wert-Absenkungen nicht oder nur in nur sehr geringen Maß in Lösung bringen. Hierfür ist optional die zusätzliche Dosierung von Wasserstoffperoxid installiert.

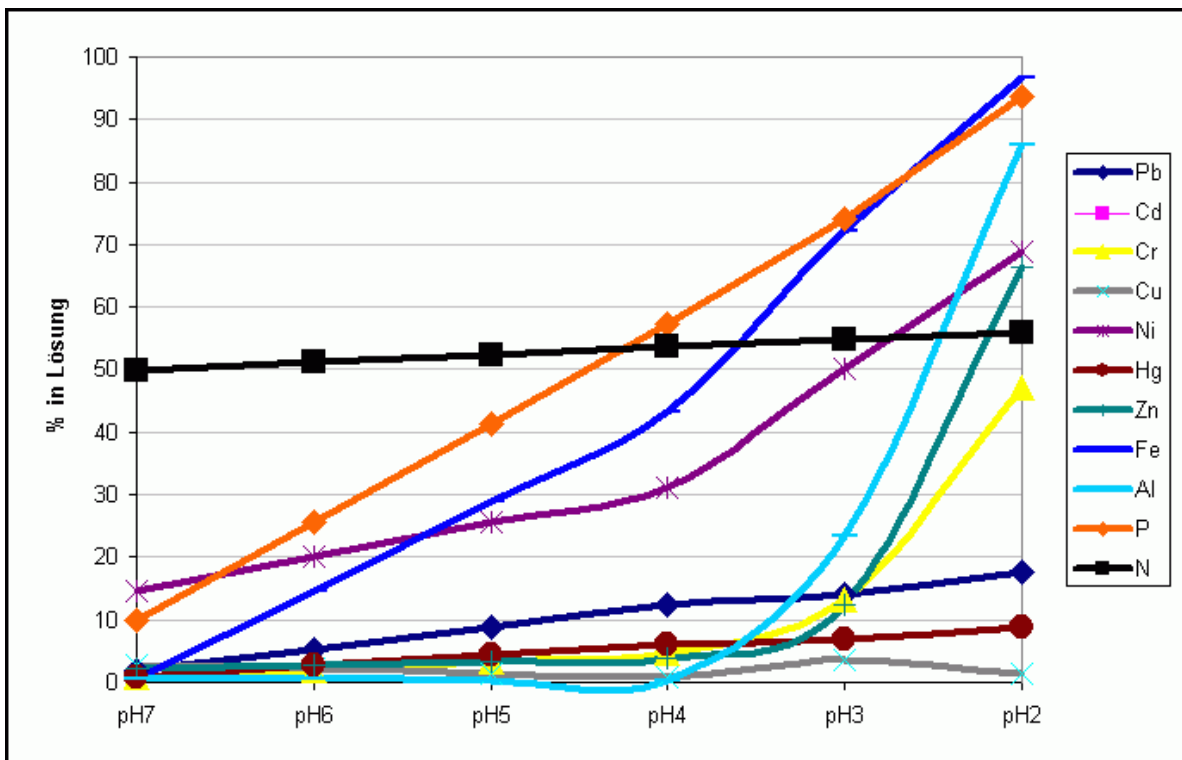


Bild 3: Löslichkeit von Schwermetallen und Nährstoffen in Abhängigkeit vom pH-Wert

An die Extraktion schließt sich die Fest-/Flüssig-Trennung mittels Zentrifugen an. Die Flüssigphase mit den gelösten Stoffen geht zur weiteren Behandlung. Der Feststoff (rund 25%-TS-Gehalt) wird mit einem Dünnschichttrockner auf 80% TS-Gehalt getrocknet, und kann anschließend verbrannt, oder anderweitig abgegeben werden (Kompostierung, Mitverbrennung, Zementindustrie etc.).

In der sich an die Extraktion anschließenden Schwermetallfällung wird der pH-Wert durch Zugabe von Natronlauge auf 5 angehoben und durch die Zugabe von Natriumsulfid eine sehr spontane Fällreaktion von Metallsulfiden ausgelöst. Das Fällprodukt kann anschließend aus dem Prozessstrom herausgefiltert werden. Im Prozesswasser gelöst geblieben sind bei diesen pH-Werten noch die Nährstoffe.

In der sich anschließenden Nährstofffällung 1 wird nun zunächst mit Natronlauge der pH-Wert nochmals auf 8,5 - 9 angehoben und äquivalent zum gelösten Phosphor Magnesium in Form von Magnesiumhydroxid oder Magnesiumoxid zugegeben. Es findet eine recht spontane Fällreaktion statt. Das Fällprodukt ist, nicht wie bei den sonst üblichen „wilden“ MAP-Fällungen rein kristallin, sondern zu ca. 90% sehr fein amorph und zu 10% kristallin.

Es lässt sich im nächsten Schritt sehr gut zentrifugieren, mit Abscheidegraden von 98,5 %. Die Zusammensetzung des Materials ist wesentlich von der Fahrweise der Anlage in der Extraktion und der Schwermetallfällung abhängig.

In Gifhorn wird die Anlage im Dauerbetrieb bei pH 5 gefahren. Damit können im Moment nur ca. 50% des Phosphors zurück gewonnen werden, und es wird auf die Schwermetallfällung verzichtet. Dies hat ausschließlich wirtschaftliche Gründe. Sollten sich die Randbedingungen ändern, kann die Fahrweise problemlos auf tiefere pH-Werte und Betrieb der Schwermetallfällung umgestellt werden. Hauptgrund sind hierbei die Kosten der für die Prozesse benötigten Chemikalien. Gegenüber dem Start des Projektes im Jahr 2006 haben sich die Chemikalienpreise mehr als verdoppelt.

Tabelle 3 zeigt, dass die Erträge an  $PO_4^{3-}$  in Abhängigkeit vom pH-Wert von ca. 4.700 kg/a bei pH 7, also unbehandeltem Faulschlamm, auf 17.700 kg/a bei Absäuerung auf pH 3 gesteigert werden können. Die spezifischen Kosten pro kg  $PO_4^{3-}$  sinken dabei von ca. 20,- € auf ca. 14,- €. Die Tabelle macht aber auch deutlich, dass vor allem der Einfluss der Kosten von Schwefelsäure und Natronlauge mit zunehmender Extraktion immer größer werden. Magnesium spielt bei den Betriebskosten nur eine untergeordnete Rolle.

| pH-Wert | Bedarf [kg/kg TM]              |      |                     | spez. Kost.<br>€/kg $PO_4^{3-}$ | Ertrag<br>kg $PO_4^{3-}$ /a | Kostenverteilung |             |
|---------|--------------------------------|------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------|-------------|
|         | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | NaOH | Mg(OH) <sub>2</sub> |                                 |                             | AfA/RWU          | Chemikalien |
| 7       | 0                              | 7,1  | 0,7                 | 20,19                           | 4.715                       | 62%              | 38%         |
| 6       | 5,7                            | 10,1 | 0,4                 | 17,30                           | 6.800                       | 50%              | 50%         |
| 5       | 10,7                           | 14,2 | 0,3                 | 15,68                           | 9.823                       | 38%              | 62%         |
| 4       | 15,3                           | 19,4 | 0,8                 | 14,72                           | 13.010                      | 29%              | 71%         |
| 3       | 19,9                           | 28,4 | 1,4                 | 14,22                           | 17.681                      | 23%              | 77%         |

Tabelle 4: Erträge und spez. Kosten P-Rückgewinnung

Eine der wesentlichen Änderungen gegenüber dem Seaborneverfahren war die Änderung der Äquivalenzeinstellung in der Nährstofffällung. Seaborne wollte ursprünglich wegen des wesentlich höheren Anteils Stickstoff im Klärschlamm gegenüber dem Phosphor, die Äquivalenz durch Auffüllen von Phosphor über Phosphorsäure auf Stickstoff einstellen, um damit alle Nährstoffe am Ende aus dem Prozesswasser geholt zu haben. Phosphorsäure ist aber dermaßen teuer, dass diese Betriebsweise wirtschaftlich nicht sinnvoll ist. Der Überschuss an

Stickstoff, der nach der Nährstofffällung 1 noch im Prozesswasser verblieben ist, sollte in Gifhorn durch den Einsatz einer sauren Strippung und der Herstellung von Diammonsulfat (DAS) als Flüssigdünger, abgebaut werden, bevor das Prozesswasser wieder dem Zulauf der Kläranlage zugeführt wird. Der Betrieb dieser Stufe hat sich bisher aber als sehr schwierig bis fast unmöglich erwiesen, da durch das Absenken des pH-Wertes in der Extraktion fast alles Calcium in Lösung geht, so dass es im Strippbetrieb zu ganz erheblichen Ausfällungen von Calciumcarbonat kommt.

Das Verfahren ist in der in Gifhorn realisierten Form als Forschungs- und Demonstrationsanlage sicherlich noch nicht optimal. Dazu lagen zu Beginn des Projektes zu wenig Erfahrungen mit den hierfür erforderlichen Technologien vor. Vieles musste im Betrieb ausprobiert und modifiziert werden. Mit den heutigen Erkenntnissen kann eine solche Anlage sicherlich kostengünstiger konzipiert und betrieben werden, was auch Einfluss auf die spezifischen Kosten für das Phosphorrecycling hätte. Dennoch können P-Rückgewinnungskosten aus Klärschlamm noch lange nicht mit den derzeitigen Preisen für handelsüblichen Phosphor konkurrieren. Entscheidend für den derzeitigen Betrieb bei pH 5 war auch die Vorgabe beim Betrieb der Anlage am Ende die Kosten der bisherigen landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung nicht zu übersteigen. Fallende Chemikalienpreise und steigende Düngemittelpreise können das Verfahren attraktiver machen, oder eine wesentliche Verschärfung der Klärschlammverordnung im Hinblick auf die Schadstoffbelastungen, die zu Engpässen bei der landwirtschaftlichen Verwertung führen würden.

#### Zusammenfassung

Die neue Klärschlammbehandlungsanlage der Stadt Gifhorn ist in der Lage bis zu 95% des im kommunalen Klärschlamm enthaltenen Phosphors zu lösen und nach Durchlaufen einer Schwermetallfällung einen hochwertigen mineralischen Dünger zu produzieren. Es entstehen in der Nährstofffällung 1 Magnesiumammoniumphosphate (MAP) und andere Phosphorsalze, die landwirtschaftlich verwertet werden können.

Anschrift des Autors:

Dipl.-Ing. N. Bayerle  
Abwasser- u. Straßenreinigungs-  
Betrieb der Stadt Gifhorn (ASG), Abt.3  
Winkeler Straße 4a, 38518 Gifhorn  
Tel.: 05371 – 9842 31  
Fax: 05371 – 14580  
Mobil: 0171 – 56 26 700  
bayerle@asg-gifhorn.de

Anhang: Tabellen / Bilder

| Input Faulung                                |                |                   |              |            | kg/d         |              |
|----------------------------------------------|----------------|-------------------|--------------|------------|--------------|--------------|
|                                              | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> /d | TSG          | GV         | TM           | oTM          |
| <b>PS</b>                                    | <b>23.918</b>  | <b>65</b>         | <b>2,57%</b> | <b>87%</b> | <b>1.682</b> | <b>1.459</b> |
| <b>ÜSS</b>                                   | <b>11.651</b>  | <b>32</b>         | <b>5,19%</b> | <b>73%</b> | <b>1.652</b> | <b>1.209</b> |
| <b>Fett</b>                                  | <b>4.100</b>   | <b>11</b>         | <b>5,00%</b> | <b>93%</b> | <b>560</b>   | <b>521</b>   |
| <b>Gesamt</b>                                | <b>39.669</b>  | <b>108</b>        |              |            | <b>3.895</b> | <b>3.189</b> |
| Output Faulung - zur Klärschlammaufbereitung |                |                   |              |            |              |              |
| <b>Rohschl.</b>                              | <b>36.751</b>  | <b>101</b>        | <b>1,66%</b> | <b>62%</b> | <b>1.671</b> | <b>1.036</b> |
|                                              | <b>-2.918</b>  | <b>-7,0</b>       |              |            |              |              |

Tabelle 1: Input/Output Faulstufe

|                      |              |                                   |                 |                            |
|----------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------|----------------------------|
| <b>pH 7,06</b>       |              |                                   |                 | <b>110 m<sup>3</sup>/d</b> |
|                      |              | <b>g/l OS</b>                     |                 | <b>kg/d</b>                |
| <b>TS</b>            | <b>1,60%</b> | <b>16,0</b>                       |                 | <b>1.760</b>               |
| <b>70% org. Ant.</b> | <b>1,12%</b> | <b>11,2</b>                       |                 | <b>1.232</b>               |
| <b>miner. Anteil</b> | <b>0,48%</b> | <b>4,8</b>                        |                 | <b>528</b>                 |
|                      |              | <b>Nährstoffe</b>                 | <b>mg/l OS</b>  | <b>kg/d</b>                |
|                      |              | <b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> | <b>1.120</b>    | <b>123</b>                 |
|                      |              | <b>P<sub>ges</sub></b>            | <b>590</b>      | <b>65</b>                  |
|                      |              | <b>Ca<sup>2+</sup></b>            | <b>580</b>      | <b>64</b>                  |
|                      |              | <b>Mg<sup>2+</sup></b>            | <b>95</b>       | <b>10</b>                  |
|                      |              | <b>K<sup>+</sup></b>              | <b>220</b>      | <b>24</b>                  |
|                      |              | <b>Na<sup>+</sup></b>             | <b>350</b>      | <b>39</b>                  |
|                      |              | <b>S</b>                          |                 |                            |
|                      |              | <b>Schadstoffe</b>                | <b>mg/kg TS</b> | <b>kg/d</b>                |
|                      |              | <b>Pb</b>                         | <b>66</b>       | <b>0,116</b>               |
|                      |              | <b>Cd</b>                         | <b>1,9</b>      | <b>0,003</b>               |
|                      |              | <b>Cr</b>                         | <b>29</b>       | <b>0,051</b>               |
|                      |              | <b>Cu</b>                         | <b>327</b>      | <b>0,575</b>               |
|                      |              | <b>Ni</b>                         | <b>18,7</b>     | <b>0,033</b>               |
|                      |              | <b>Hg</b>                         | <b>2,04</b>     | <b>0,003</b>               |
|                      |              | <b>Zn</b>                         | <b>819</b>      | <b>1,441</b>               |
|                      |              | <b>AOX</b>                        | <b>197</b>      | <b>0,346</b>               |

Tabelle 2: Mittlere Werte ausgefauter Klärschlamm

|                                                                                |            |                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Feststoff NRS-Dekanter</b>                                                  |            |                                                                                        |
| Fa. Ashland, Chemisch-Instrumentelle Analytik, Stockhausen GmbH vom 11.04.2007 |            |                                                                                        |
| <b>Untersuchungsmethode: Ionenchromatographie</b>                              |            |                                                                                        |
| <b>Anorg. Bestandteile</b>                                                     | <b>59%</b> | <b>bestehend aus:</b>                                                                  |
|                                                                                |            | <b>17%</b> MAP ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4$ )                                          |
|                                                                                |            | <b>16%</b> $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ u/o $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ |
|                                                                                |            | <b>18%</b> Mg/Ca-Carbonat u/o -Oxid                                                    |
|                                                                                |            | <b>4%</b> Eisenoxid                                                                    |
|                                                                                |            | <b>2%</b> Siliciumdioxid                                                               |
|                                                                                |            | <b>2%</b> Rest aus Natrium, Kalium, Chlorid u. Sulfat                                  |
| <b>Org. Bestandteile</b>                                                       | <b>3%</b>  |                                                                                        |
| <b>Feuchtigkeit incl. Kristallwasser</b>                                       | <b>38%</b> |                                                                                        |

Tabelle 3: Zusammensetzung Feststoffdünger

| pH-Wert | Bedarf [kg/kg TM]       |      |                          | spez. Kost.<br>€/kg $\text{PO}_4^{3-}$ | Ertrag<br>kg $\text{PO}_4^{3-}$ /a | Kostenverteilung |             |
|---------|-------------------------|------|--------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|------------------|-------------|
|         | $\text{H}_2\text{SO}_4$ | NaOH | $\text{Mg}(\text{OH})_2$ |                                        |                                    | AfA/RWU          | Chemikalien |
| 7       | 0                       | 7,1  | 0,7                      | 20,19                                  | 4.715                              | 62%              | 38%         |
| 6       | 5,7                     | 10,1 | 0,4                      | 17,30                                  | 6.800                              | 50%              | 50%         |
| 5       | 10,7                    | 14,2 | 0,3                      | 15,68                                  | 9.823                              | 38%              | 62%         |
| 4       | 15,3                    | 19,4 | 0,8                      | 14,72                                  | 13.010                             | 29%              | 71%         |
| 3       | 19,9                    | 28,4 | 1,4                      | 14,22                                  | 17.681                             | 23%              | 77%         |

Tabelle 4: Erträge und spez. Kosten P-Rückgewinnung

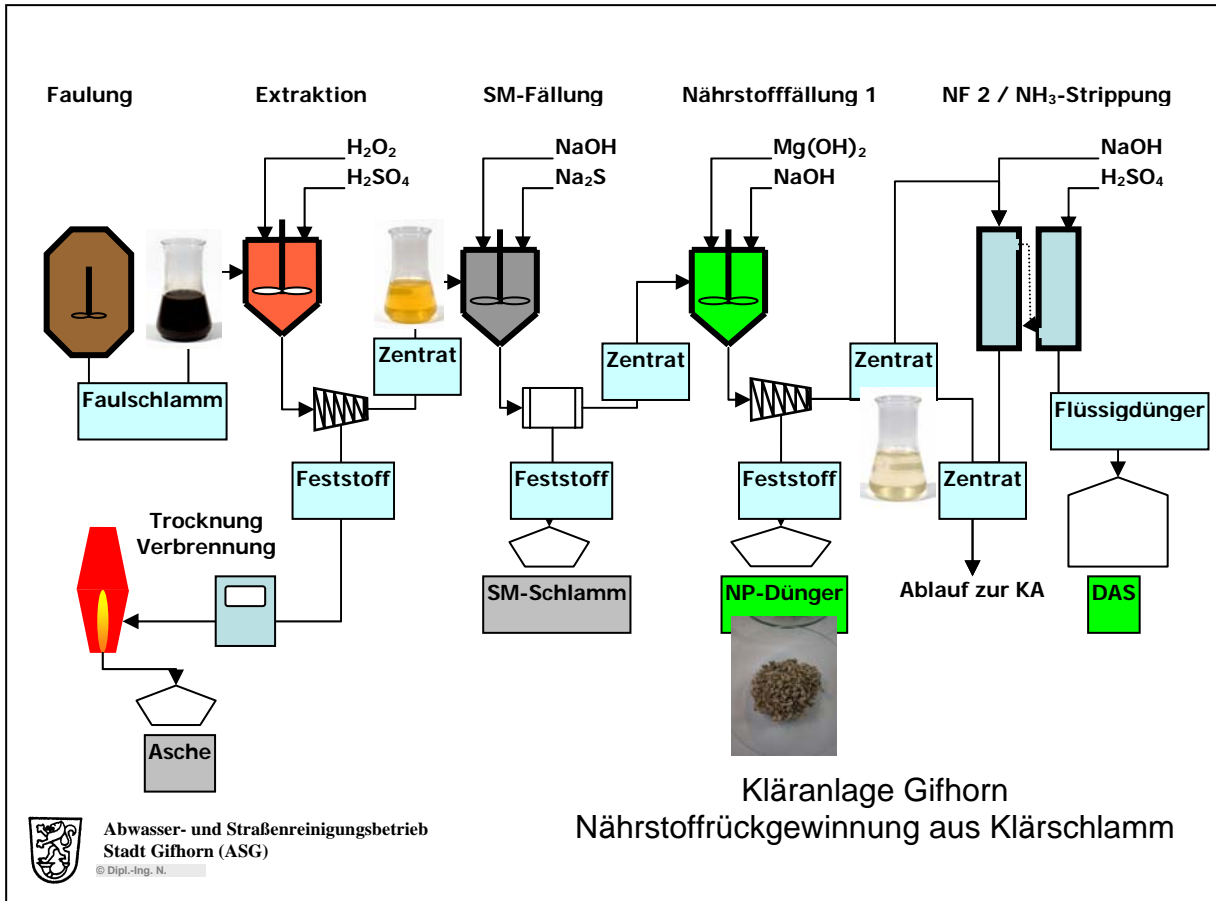
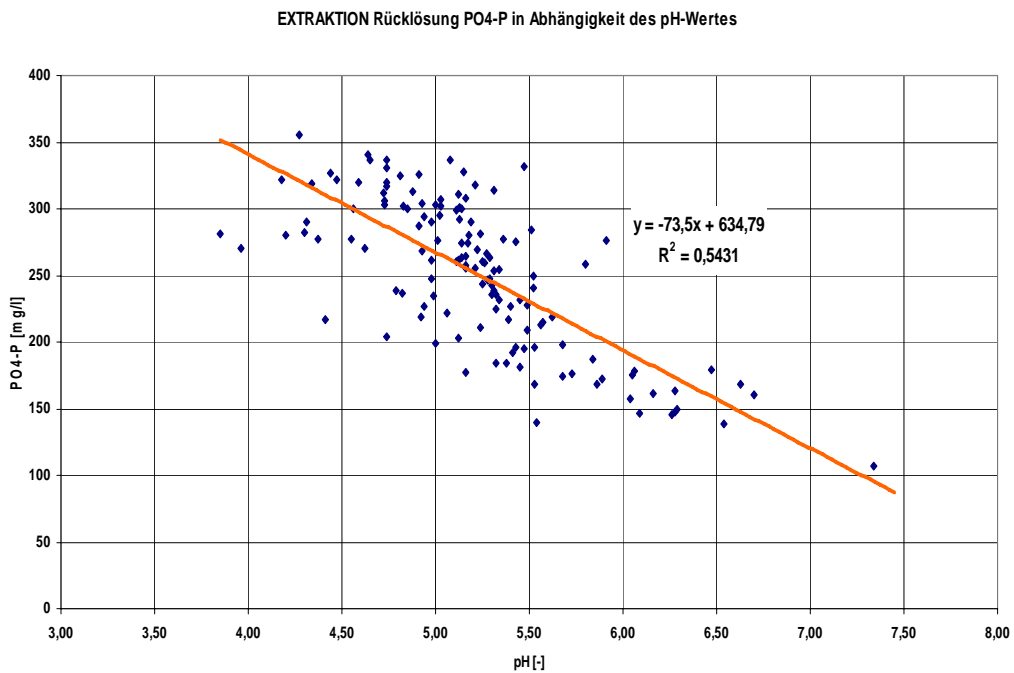


Bild 1: Verfahrensfliesschema der Phosphorrückgewinnungsanlage der Kläranlage Gifhorn



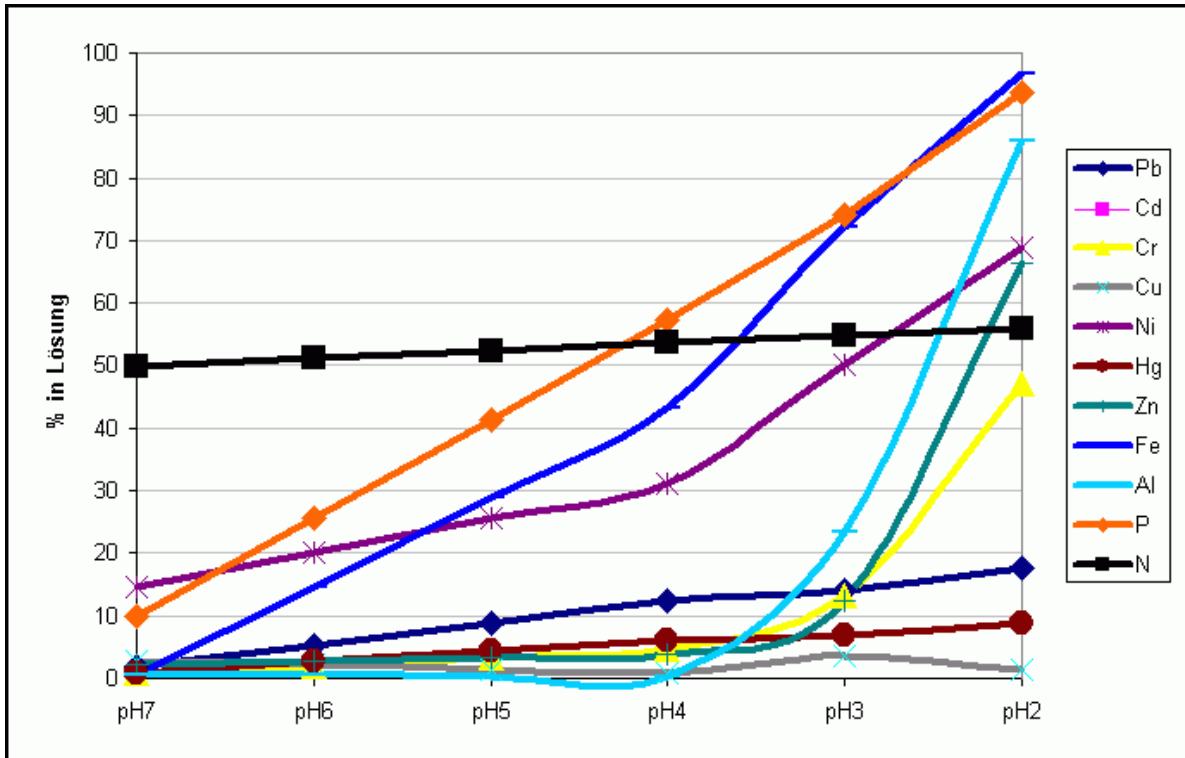


Bild 2: Löslichkeit von Schwermetallen und Nährstoffen in Abhängigkeit vom pH-Wert

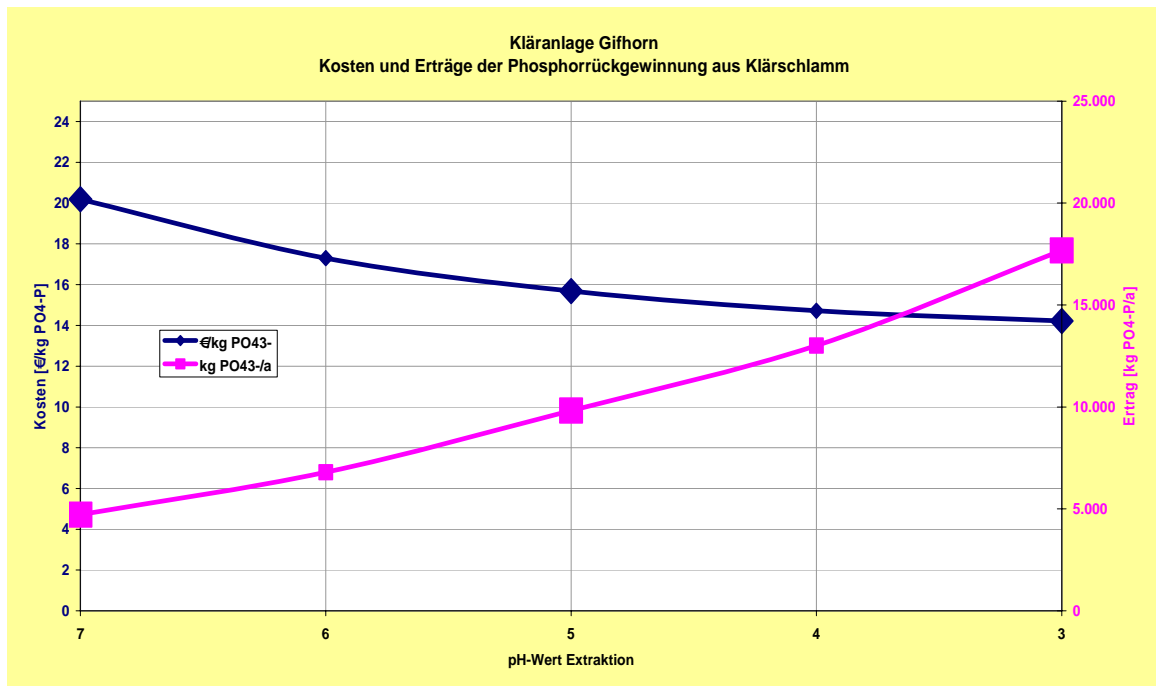


Bild 3: Kosten und Erträge des P-Recyclings