

Stickstoffrückgewinnung am Beispiel der ARA Kloten/Opfikon

– Dünger aus Abwasser

Sandra Büttner, Marc Böhler

Kantonale Tagung Zürcher
Klärwerkspersonal 21.11 – 23.11.2011



Erste volltechnische Luftstrippanlage der Schweiz

Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs

Übersicht

- Hintergrund und Motivation
- Grundlagen der Luftstrippung
- Prinzip der Anwendung
- Ammoniak Strippung auf der ARA Kloten-Opfikon
- Resultate aus dem ersten Betriebsjahr
- Energievergleich und Kosten des Verfahrens
- Schlussfolgerungen

Hintergrund und Motivation

- heute wird die kommunale Abwasserbehandlung als “**End-of-pipe**”-Behandlung gesehen, um Gefahren für Umwelt und Mensch zu minimieren

- in der Zukunft werden sich die Ziele hin zu verbesserter Ablaufqualität und **Resourcennutzung** verschieben, Gründe hier für sind u.a:
 - global Veränderungen in der Demographie
 - des Klimawandels
 - öko-toxikologischer Belange (Spurenstoffe) und
 - neuer, verschärfter Gesetzgebung (z. Bsp. EU Water Framework Directive)
 - begrenzte Ressourcen (Rohstoffe, z. Bsp. Phosphor, Metalle, etc.)

Hintergrund und Motivation

Ziele der SWW heute und morgen

etablierter Fokus

- Nährstoffelimination
- Hygiene
- Energieoptimierung
- sichere Schlammentsorgung

neuer Fokus



Hintergrund und Motivation

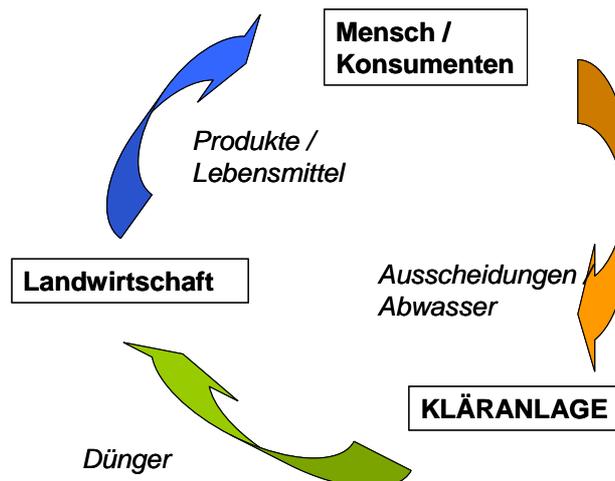
Ziele der SWW heute und morgen

etablierter Fokus	neuer Fokus
<ul style="list-style-type: none"> ❑ Nährstoffelimination ❑ Hygiene ❑ Energieoptimierung ❑ sichere Schlammentsorgung 	<ul style="list-style-type: none"> ❑ Nährstoffrückgewinnung (Phosphor, Stickstoff) ❑ Spurenstoffelimination und Verringerung ökotox. Wirkung ❑ Energieproduktion (z. Bsp. Abwasserwärmenutzung) ❑ Nutzung des Schlammes und dessen Ressourcen (Energie u. Nährstoffe)



Hintergrund und Motivation

Kreisläufe möglichst schliessen!



➔ Wandel von einer reinen Nährstoffelimination mit Verlust hin zu einer weitestgehenden nachhaltigen Ressourcennutzung des Abwassers

Paradigmenwechsel

Abwasser-/Klärschlamm-
Entsorgungsbetrieb ARA



Ver- und Entsorgungsbetrieb

Energie- und Nährstofflieferant
ARA

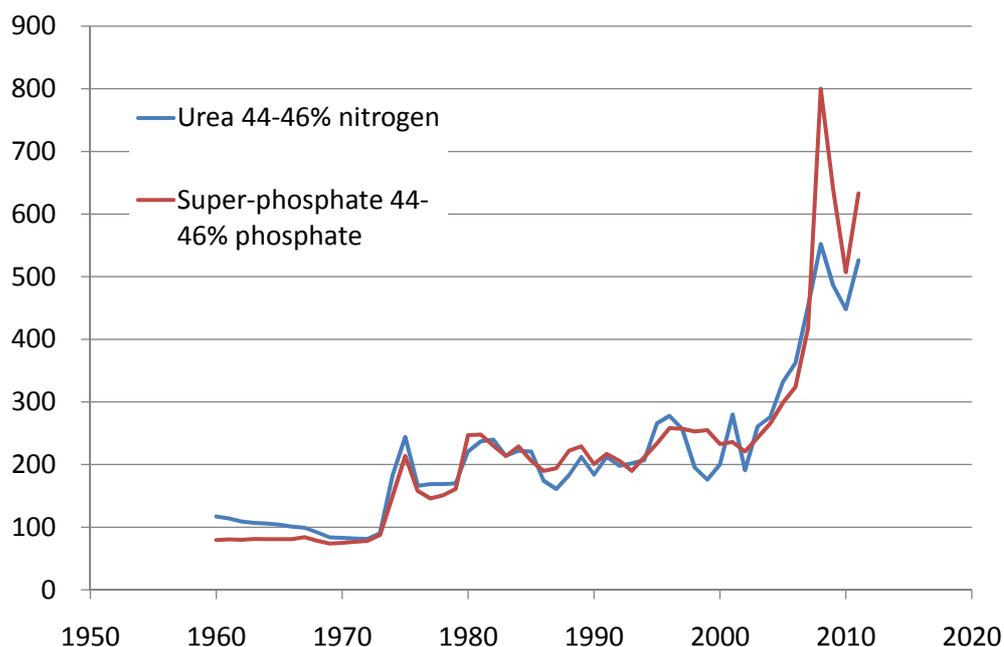
Hintergrund und Motivation

Beispiele / Aktivitäten aus Praxis/Forschung

- Klärschlamm-Mono- Verbrennung und Deponie
(Phosphorrückgewinnung, Strategie Kt. Zürich)
- Urinseparierung und Folgetechnologien (P; N, Ka, etc.)
- Abwasserwärmenutzung
- Abwasserwiederverwendung (Landwirtschaft, Brauchwasser, etc.)
- neue Verfahren zur weitergehenden energetischen und stofflichen Nutzung des Klärschlammes (Z. Bsp.: Desintegration, etc.)
- Rücklaufbehandlung mittels Luftstrippung (Produktion eines Düngers **auf Basis des Stickstoffes des Abwassers / Urin**)

Hintergrund und Motivation

Nährstoffe haben einen Preis!!



(Referenz: <http://www.ers.usda.gov/Data/FertilizerUse/>)

Hintergrund und Motivation

CULTAN Düngung (Controlled uptake and long term ammonium fertilization)

Depot Injektion einmal pro Kultur mit spezieller Ausrüstung (s. unten) einer konzentrierten 39% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ Lösung hergestellt aus Faulwasser (und Urine), enthält 8% N und 8.5% S.

Der Vorteil ist ein geringerer Nitratverlust ins Grundwasser und **weniger Lachgas und Ammoniakemissionen**, da die Nitrifikation des Ammoniums durch die hohe Depotkonzentration inhibiert wird.



Hintergrund und Motivation

CULTAN Düngung - Depotdüngerwirkung



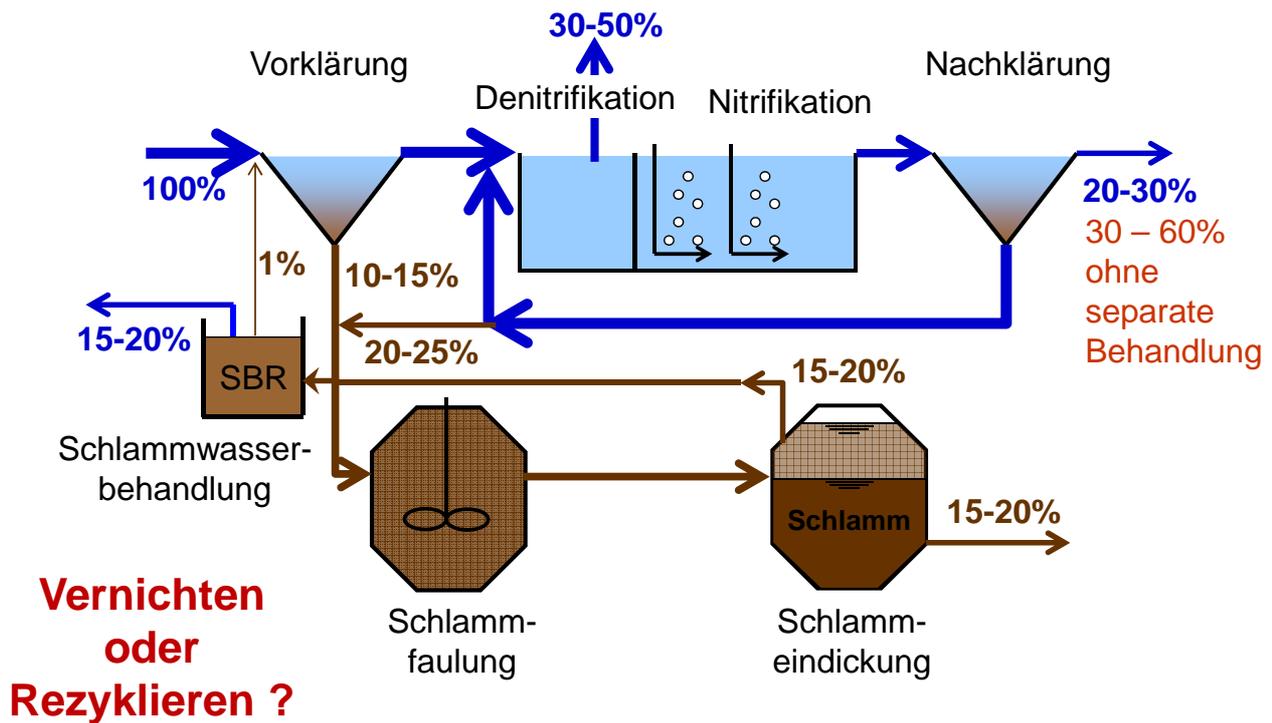
Nitrate
Oberflächendüngung



Ammonium
Depot Injektion
(Cultan Düngung)

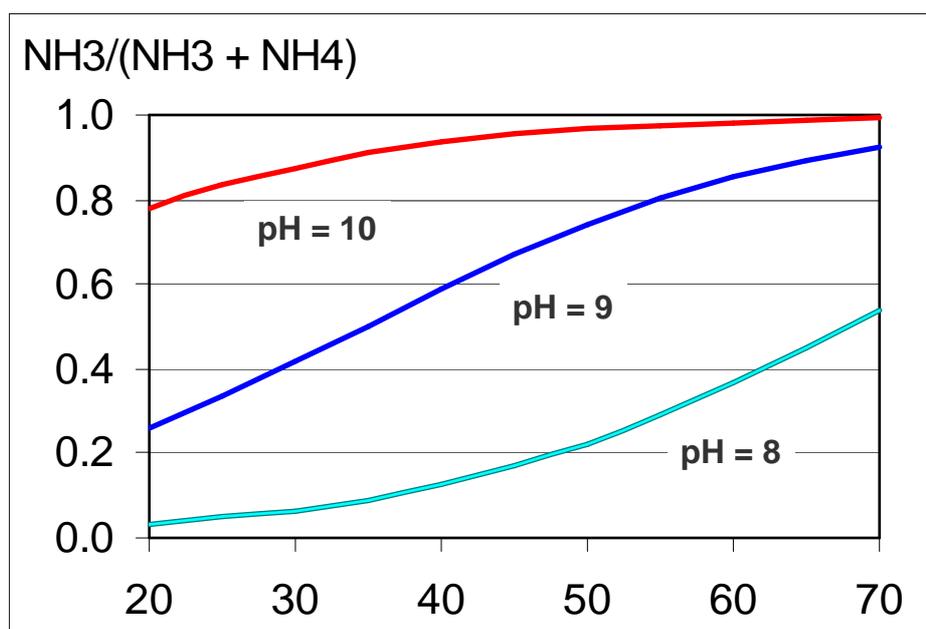
Hintergrund und Motivation

Stickstoffbilanz Kläranlage – separate Faulwasserbehandlung



Grundlagen der Strippung

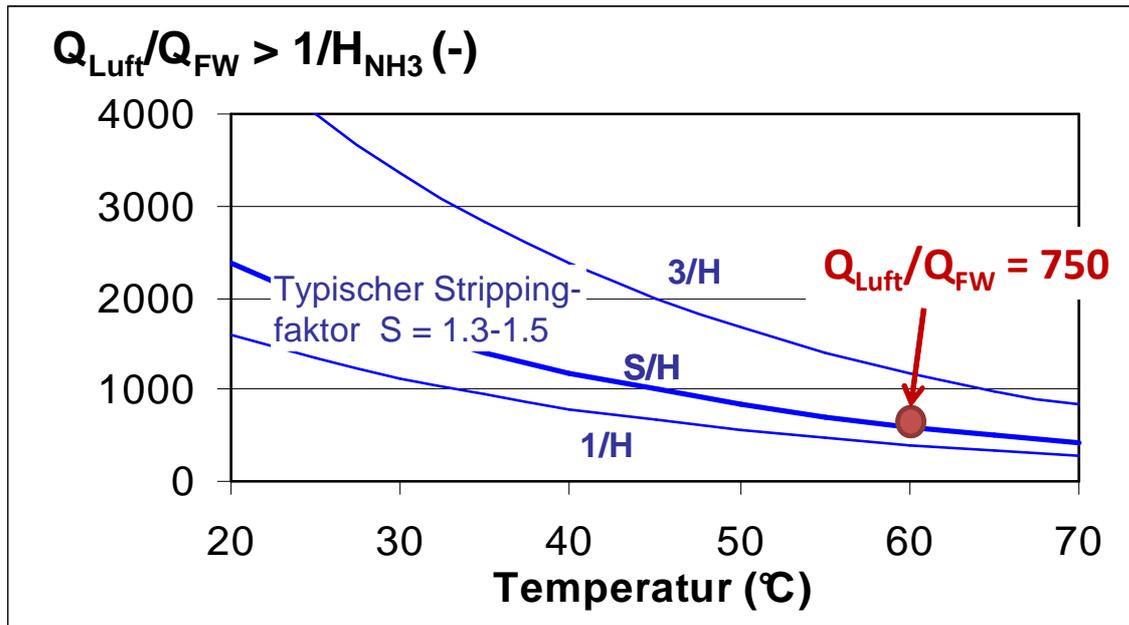
Dissoziationsgleichgewicht von Ammonium/Ammoniak



mit zunehmender Temperatur bzw. pH-Wert verschiebt sich das Gleichgewicht hin zum Ammoniak

Grundlagen der Strippung

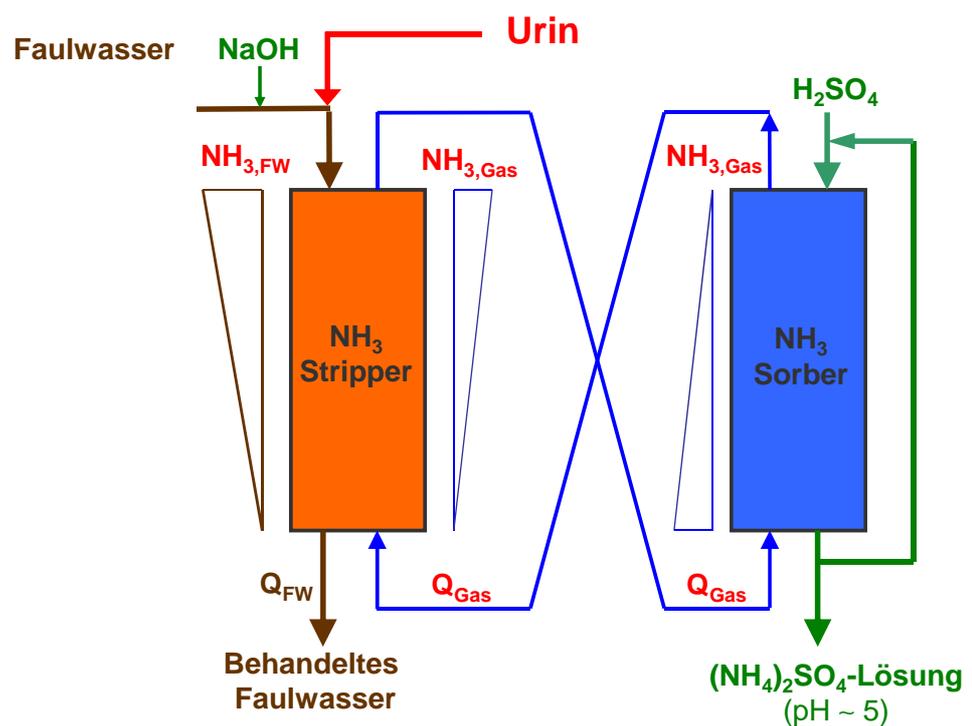
Erforderliches Luft / Wassergemisch



Je höher die Temperatur, desto kleiner ist das notwendige Luft/Wasser Verhältnis und damit der elektrische Energieaufwand für das Strippen

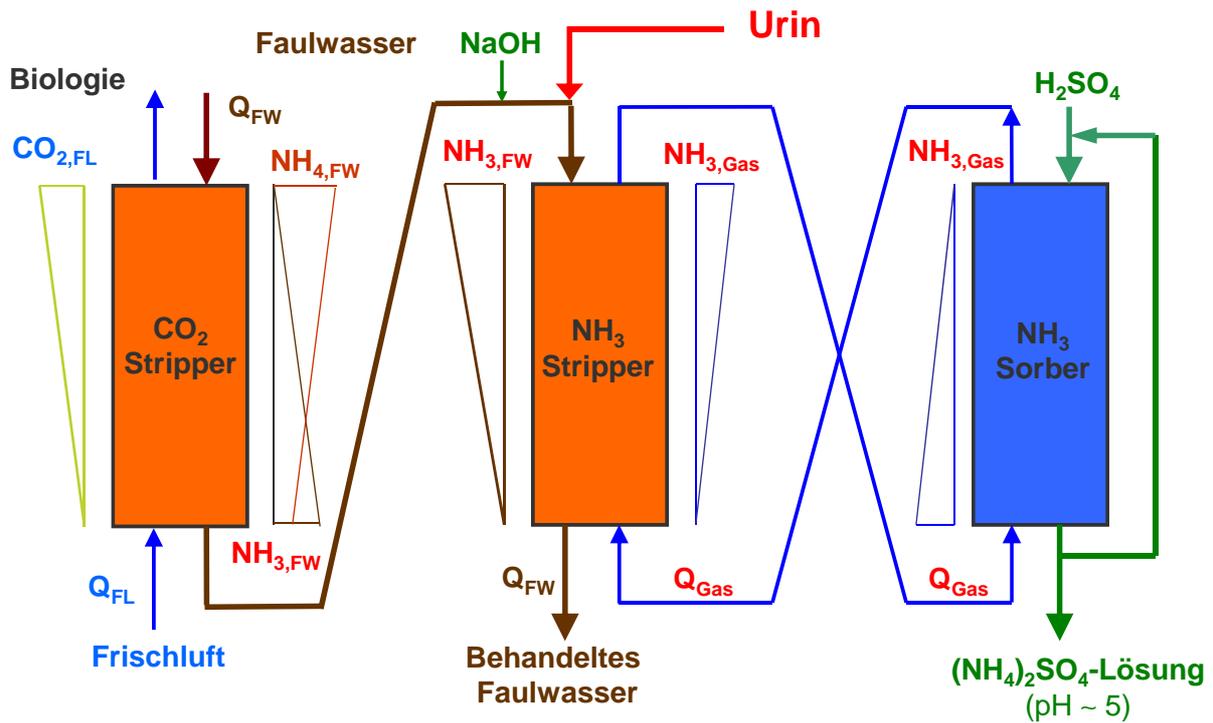
Prinzip der Anwendung

Erforderliches Luft / Wassergemisch



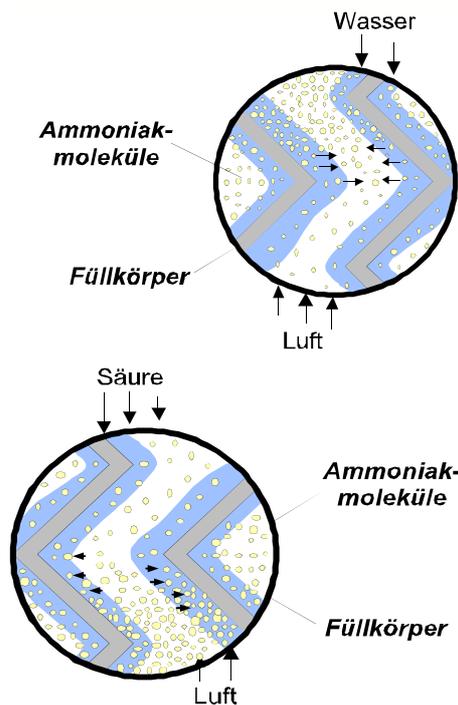
Prinzip der Anwendung

Erforderliches Luft / Wassergemisch



Prinzip der Anwendung

Oberflächenreaktionen der Füllkörper (Wabenpackung)



Strippenkolonne

Übergang des Ammoniaks aus der wässrigen Phase in die Gasphase

Sorberkolonne

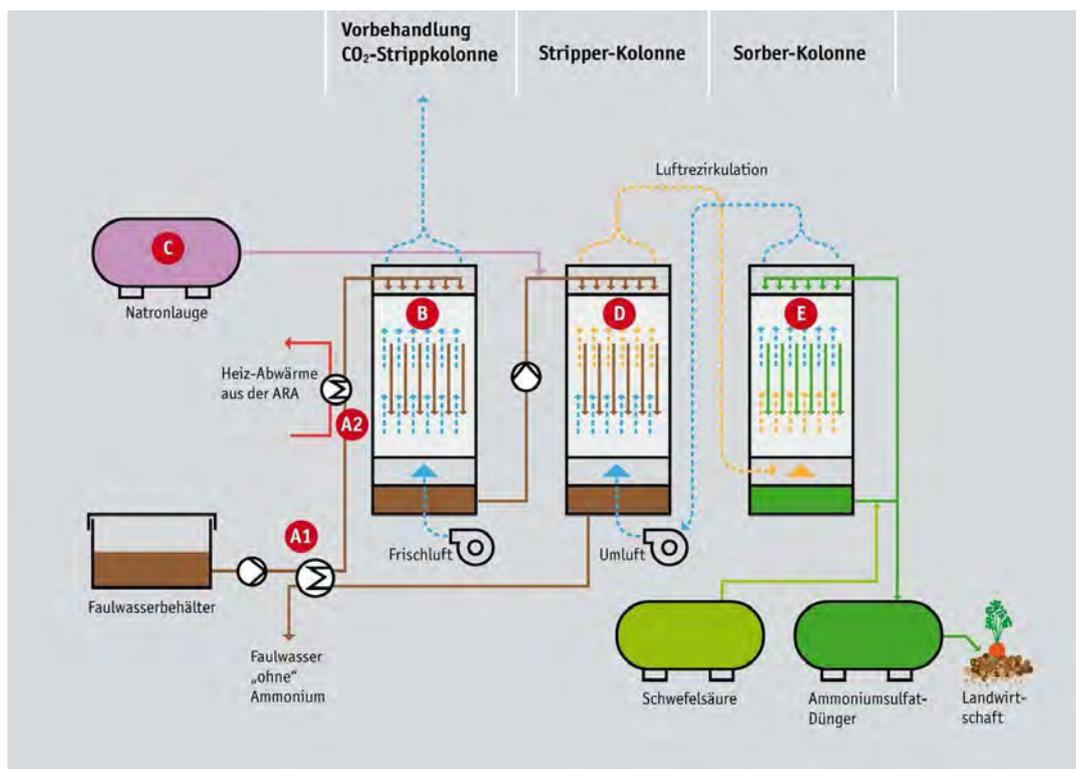
Übergang des Ammoniaks aus der Gasphase in die wässrige Phase unter Reaktion mit Schwefelsäure

Prinzip der Anwendung

Mögliche Füllkörper



Ammoniakstrippanlage Kloten/Opfikon



Ammoniakstrippanlage Kloten/Opfikon

Technische Daten

- Anlagezulauf: 5.6 m³/h
- NH₄-Konzentration Zulauf 800 mg/l
- NH₄-Konzentration Ablauf 80 mg/l

- Kolonnenhöhe 9.3 m
- Packungshöhe 6.0 m
- Kolonnendurchmesser 0.66 m
- Strippluftgebläse NH₃-Stripper 3,600 Nm³/h
- Strippluftgebläse CO₂-Stripper 50-100 Nm³/h
- Temperatur ca. 60°C

- Ammoniumsulfat-Dünger AMS 240 to/a bzw. 26.3 to N/a
- Schwefelsäure (76%) 2 m³ / to N
- Natronlauge (50%) 1.5 m³ / to N
- Strombedarf 1.1 MWh / to N

Ammoniakstrippanlage Kloten/Opfikon





Obergeschoss

Erdgeschoss

Kellergeschoss

notwendige Bauhöhe etwa 11 m

Luftkreislauf

NH₃-Sorber

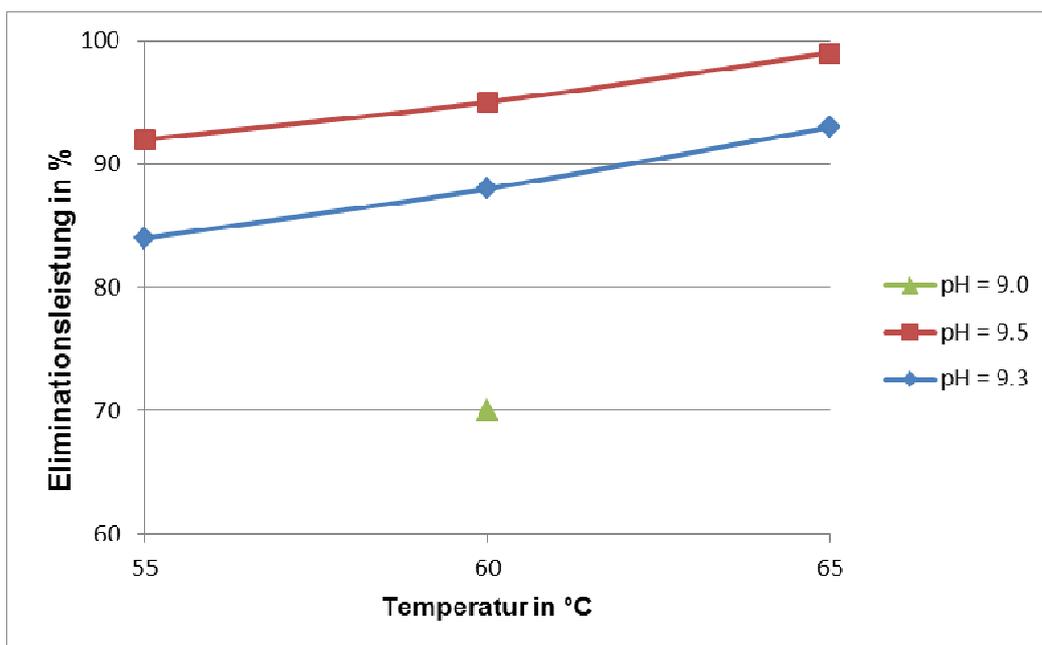
Luftkreislauf

NH₃-Stripper

CO₂-Stripper

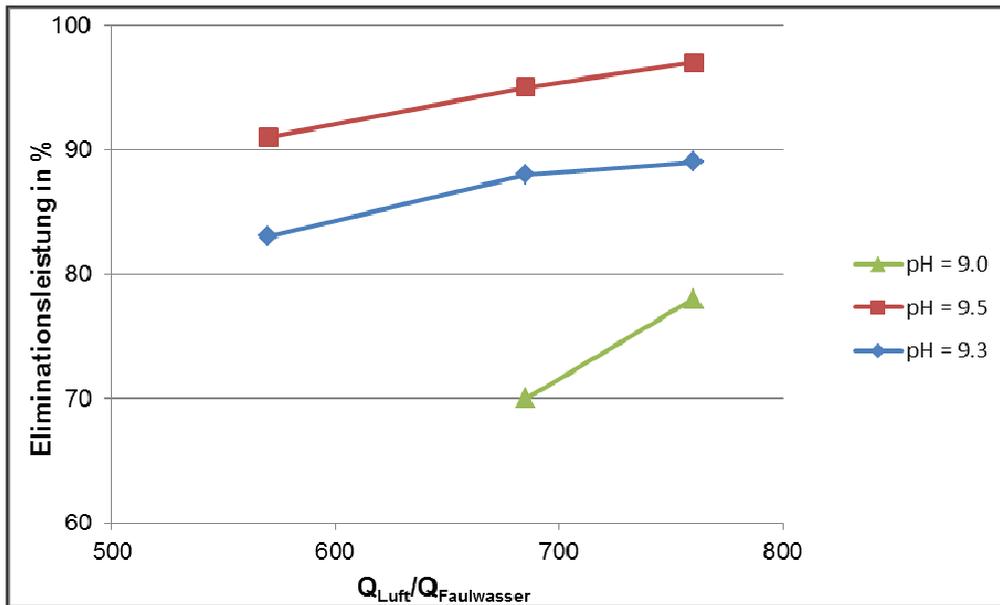
Schwefelsäuretank

Resultate aus dem ersten Betriebsjahr



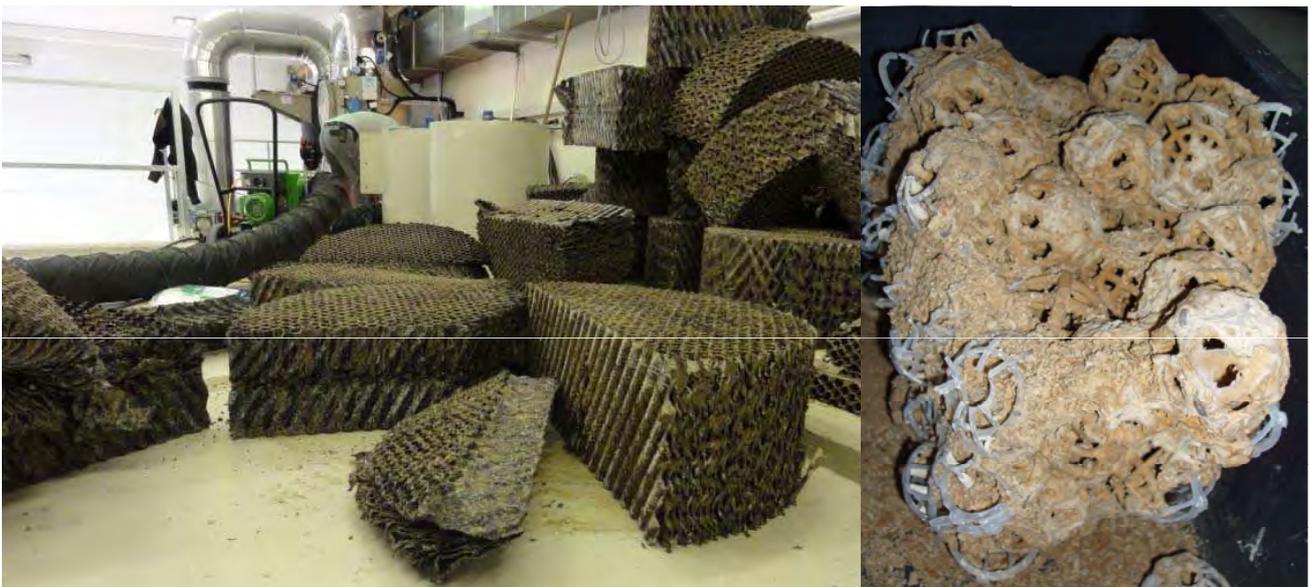
Eliminationsleistung in Funktion der Temperatur und des pH bei einem Luft/Wasser Verhältnis von $Q_{\text{Luft}}/Q_{\text{Fw}} = 685$ ($Q_{\text{Luft}} = 3600 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{\text{Fw}} = 5.25 \text{ m}^3/\text{h}$)

Resultate aus dem ersten Betriebsjahr



Eliminationsleistung in Funktion des pH und des Luft/Wasser Verhältnis bei einer Temperatur von 60°C ($Q_{\text{Faulwasser}} = 5.25 \text{ m}^3/\text{h}$)

Resultate aus dem ersten Betriebsjahr - Ausfällungen



Regelmässige Reinigung der Stripperkolonnen mit Salzsäure (rezyklierend damit gute Benetzung der Füllkörper erreicht wird) oder Ameisensäure (konzentrierte Salzsäure kann Korrosionsprobleme bei den Armaturen verursachen, daher Säure verdünnen)

Druckverlust im CO₂-Stripper zu gering als Kontrollsignal wegen tiefem Q_{Luft}

Resultate aus dem ersten Betriebsjahr - Filtration

Um Verblockungen von Wärmetauscher und der Strippkolonnen zu vermeiden ist ein gute Vorsiebung notwendig



Bollfilter G18 mit Spaltsiebkerzen (0.1 mm)

http://www.bollfilter.de/file/pdfs/6_18_dt.pdf

Resultate aus dem ersten Betriebsjahr - Energie

Verfahren	Elektrisch kWh/kg N _{elim}	Primärenergie kWh/kg N _{elim}
Ammoniak Luftstripping Ventilator, Pumpen, Überwachung	1.1	3
Temperaturdifferenz Zu-/Ablauf, Abstrahlung, und Verdampfungsverluste beim CO ₂ -Stripper ergeben einen Verlust von 8-9°C = 10 kWh/m ³	durch Abwärme ARA, im Fall AKO rd. 50%	5 (10)
Betriebsstoffe (Natronlauge, Schwefelsäure)	rd. 2	6
Stickstofffixierung Haber-Bosch		-8
Primärenergieverbrauch netto		rd. 6
Nitritations/Anammox SBR [4]	1.3	4

Resultate aus dem ersten Betriebsjahr - Kosten

Kostenart	Ammoniak-Stripping mit FW-Vorbehandlung ARA Kloten/Opfikon (60'000 EW; 26.3 t NH ₄ -N _{elimiert} /Jahr)
Betriebskosten (Chemikalien, Energie)	1.80
Unterhaltskosten (Ersatzteile)	1.10
Personalkosten (25-30% Stelle)	1.10
Verkaufserlös für Dünger	- 0.60
Kapitalkosten	3.40
Nettokosten	6.80 Sfr.

Schlussfolgerungen NH₃ - Stripping

- ✓ In den letzten 10 Jahren hat sich der Düngemittelpreis verdoppelt, Nährstoffrecycling kann interessant werden
- ✓ Je höher die Temperatur desto tiefer der erforderliche pH im Stripper (60°C: pH = 9.5, 20°C: pH = 11) und desto kleiner der Laugenverbrauch.
- ✓ Je höher die Temperatur desto geringer das Luft/Wasser Verhältnis und damit der elektrische Energieverbrauch, aber grössere Abstrahlung.
- ✓ CO₂ Stripper halbiert den teuren und energieintensiven Laugenverbrauch.
- ✓ Primärenergieverbrauch vergleichbar mit dem Nitritions/Anammox SBR
- ✓ Spezifische Kosten bei Anlagen mit gleicher Grösse leicht höher
- ✓ Interessant ist eine gleichzeitige Verarbeitung von Urin, 10-15% des Faulwassers, doppelte Düngerproduktion mit leicht höherer hydraulischer Belastung und höherem Luftdurchsatz, keine Schaumprobleme.
- ✓ Gute Vorbehandlung durch Filtration Fw und regelmässige Säuerung der Strippkolonnen wichtig für einwandfreien Betrieb

Danke für Ihre
Aufmerksamkeit

