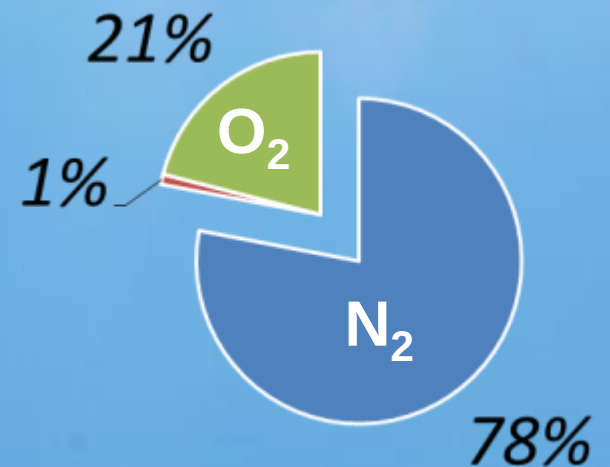


Rückgewinnung und Wiederverwendung von Stickstoff aus Abwasser

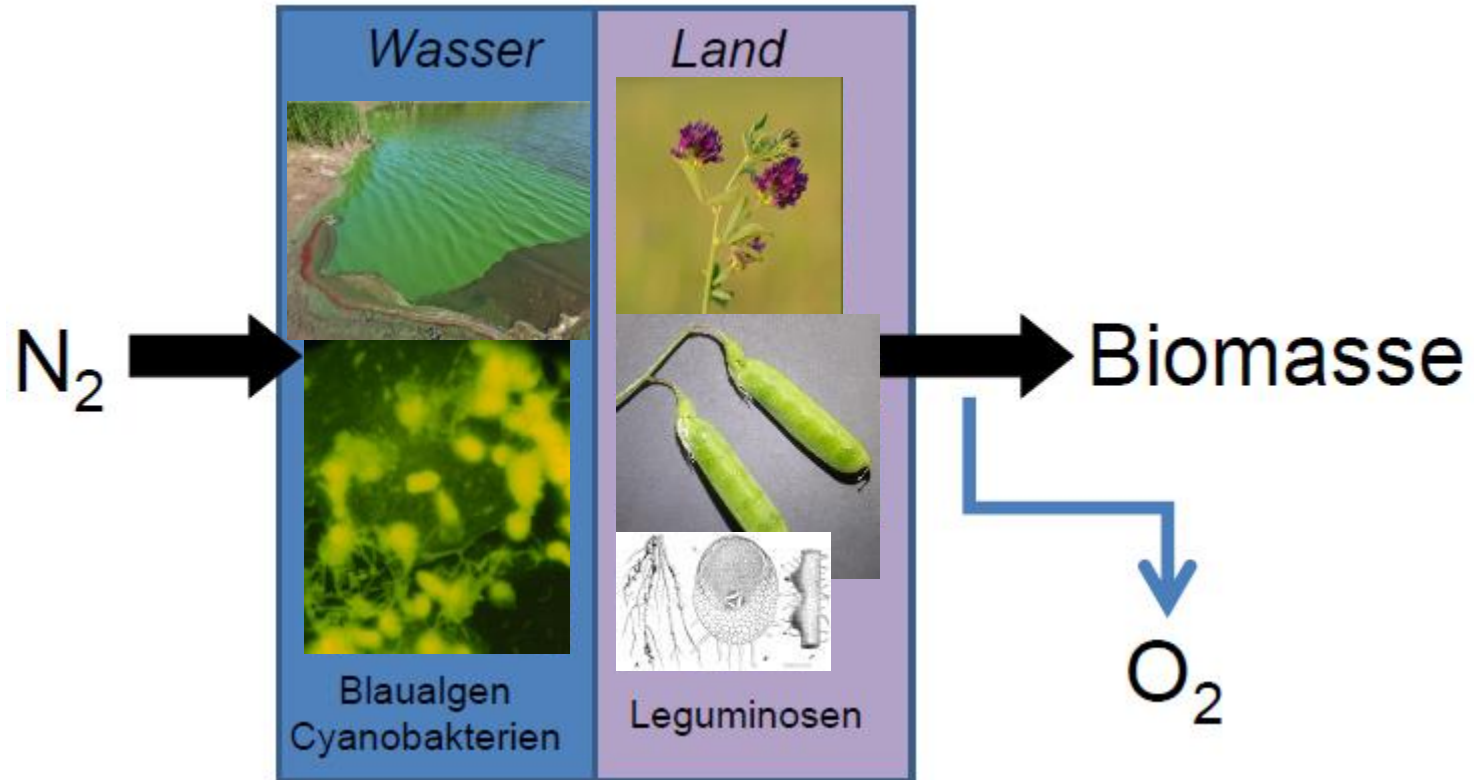
Marc A. Böhler
Verfahrenstechnik

Stickstoff (N)



Stickstoff lässt die Pflanzen wachsen und macht gute Ernteerträge erst möglich.



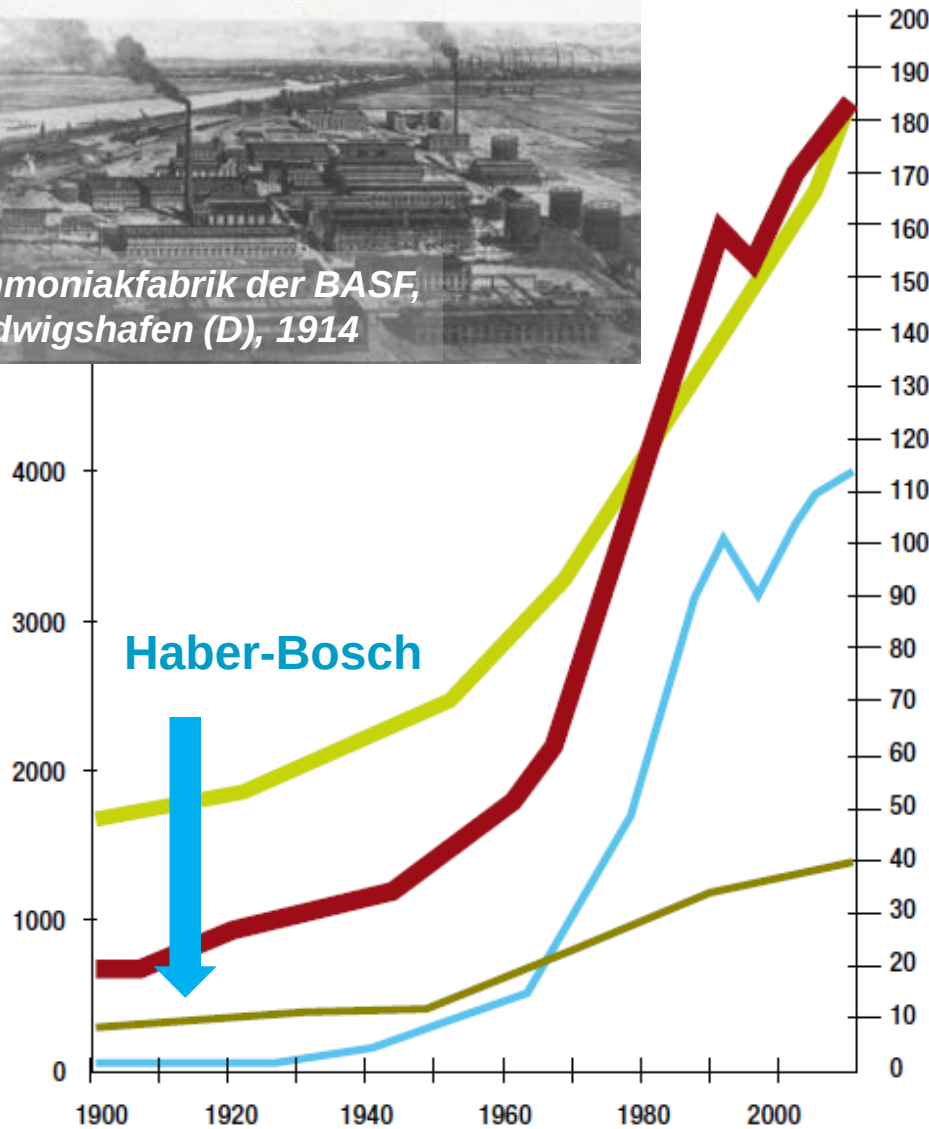


- Biologische Fixierung durch Bakterien
- Abiotische Fixierung (Verbrennung, Blitze)
- Technische Fixierung

Stickstoff – Segen und Fluch

Weltbevölkerung in Mio.

Stickstofffreisetzung in Mio. t



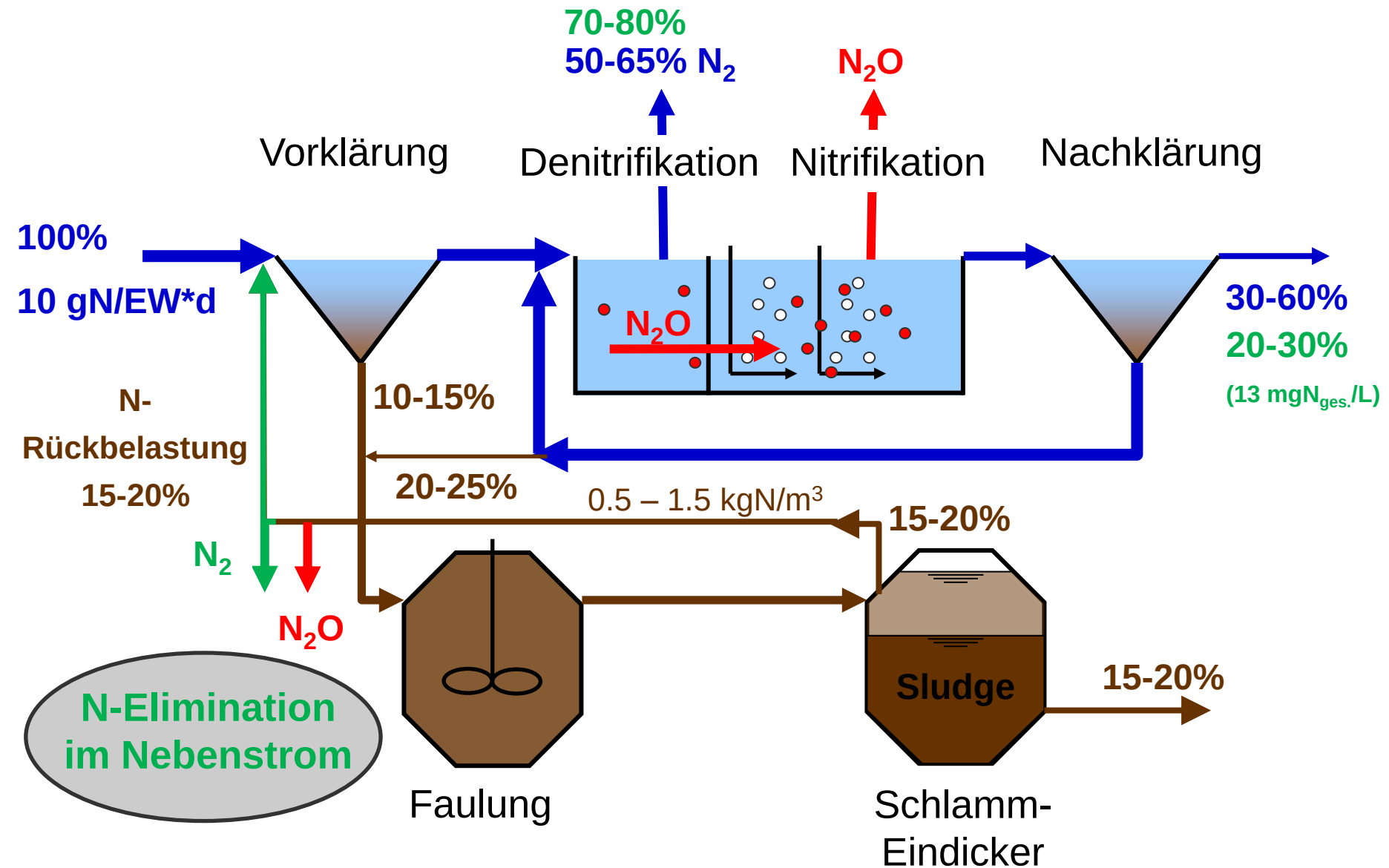
Reaktiver Stickstoff

Ca. 50% der Weltbevölkerung ernährt durch Haber-Bosch-Verfahren !

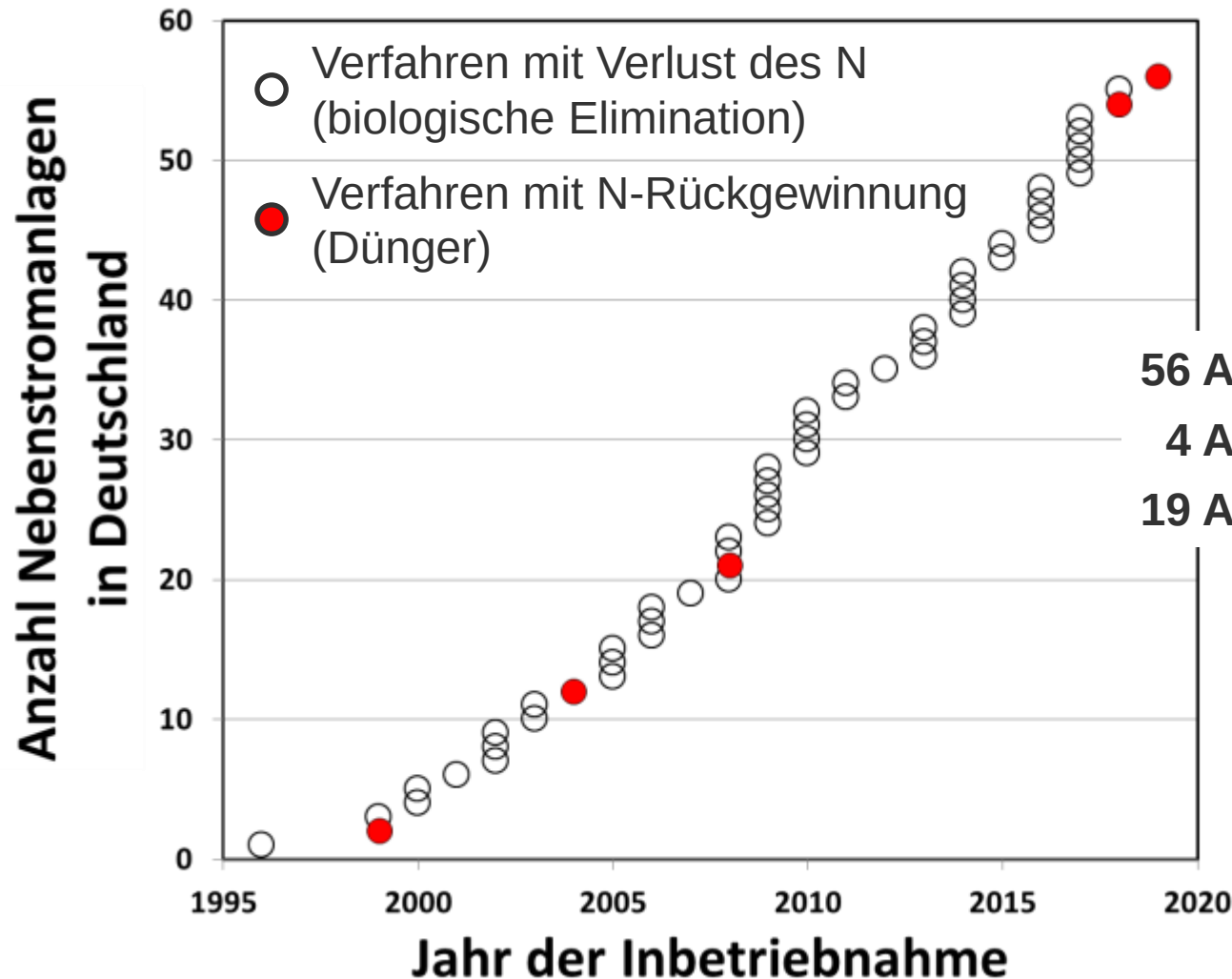
Quelle: Voss et al. (2011), Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

- Gesamtausstoss von biologisch aktivem Stickstoff durch menschliche Aktivitäten
- Weltbevölkerung
- Mineraldünger
- Stickoxide aus Verbrennungsprozessen

Quellen: Bundesamt für Umwelt (Bäfu) / American Institute of Biological Science



Stickstoff im Nebenstrom: vernichten oder zurückgewinnen?



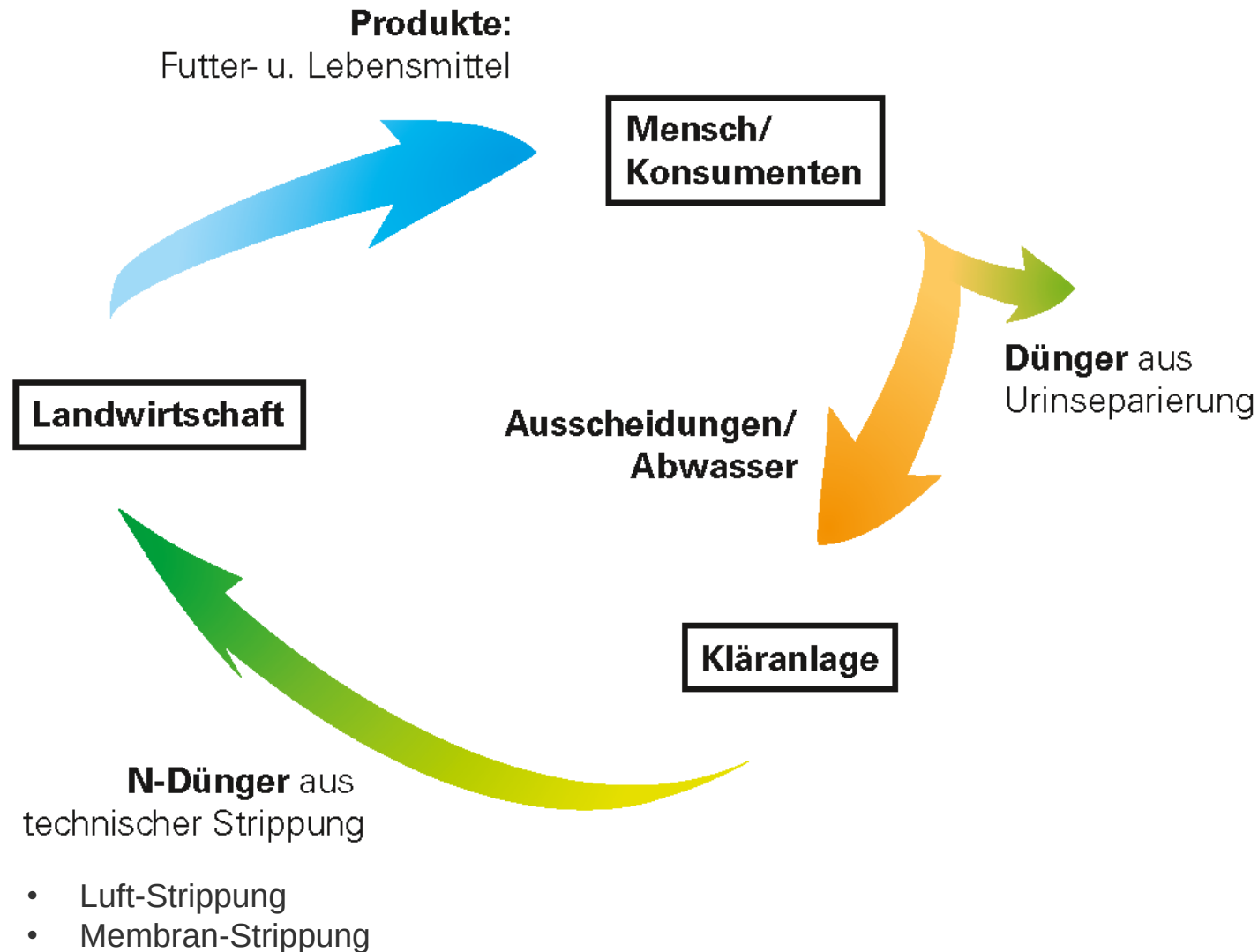
56 Anlagen D (5)

4 Anlagen A (2)

19 Anlagen CH (4)

Luft- und
Membranstrippung

Nährstoffkreisläufe schliessen!





CULTAN = Controlled uptake and long term Fertilization Prinzip des Strippens

- Produkt: **Ammoniumsulfat (AMS)** mit 37% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ Lösung (10% N) aus Faulwasser oder Urin
- Depot-Injektion von **AMS** mit speziellen Maschinen einmal pro Jahr oder Kultur

Vorteile: geringe NO_3 und N_2O -Verluste im Vergleich zur konv. Düngung

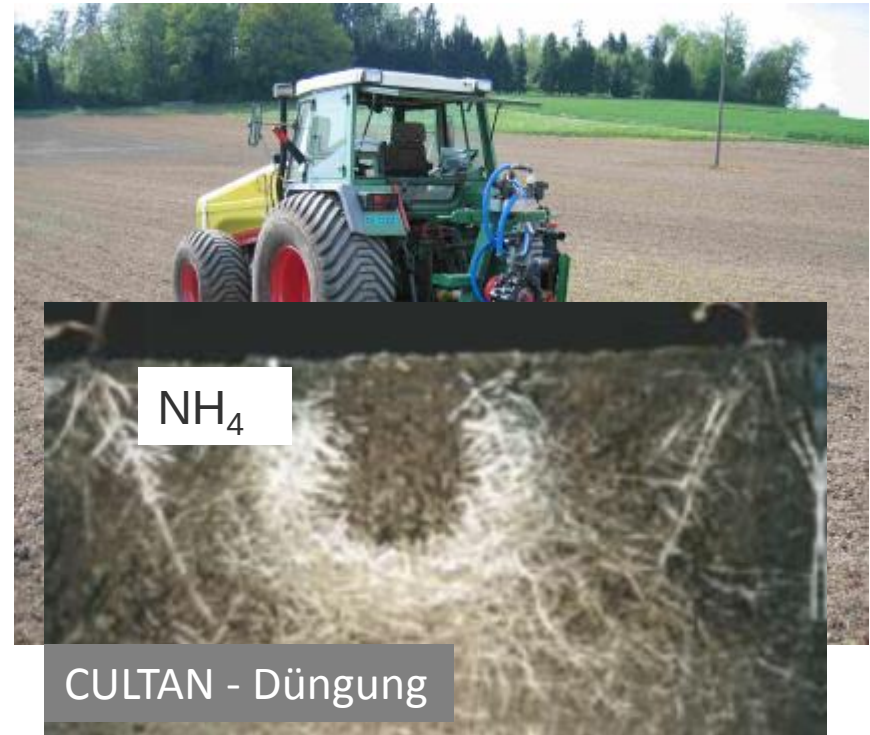


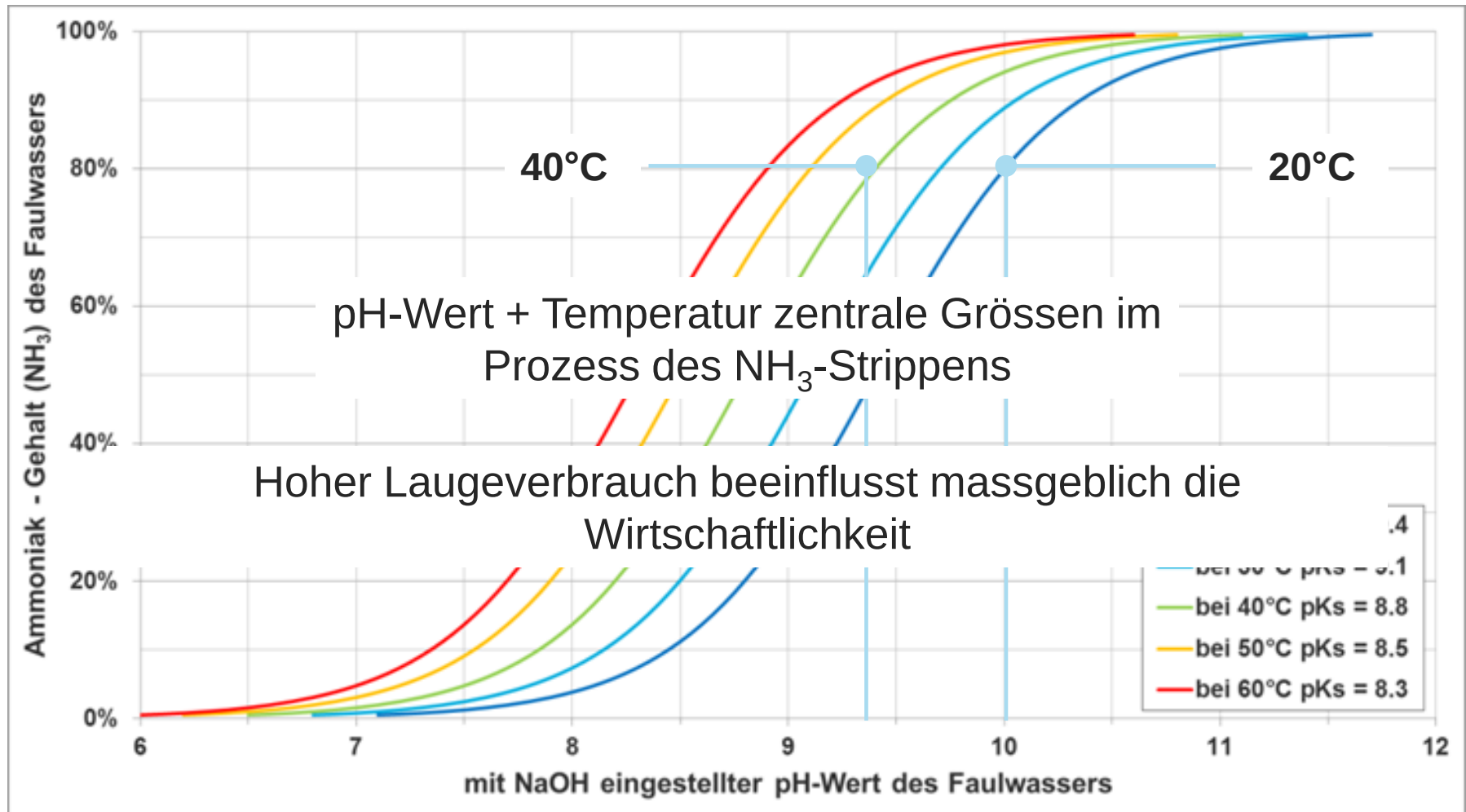
Stickstoff-Düngung mit CULTAN

CULTAN = Controlled uptake and long term Fertilization Prinzip des Strippens

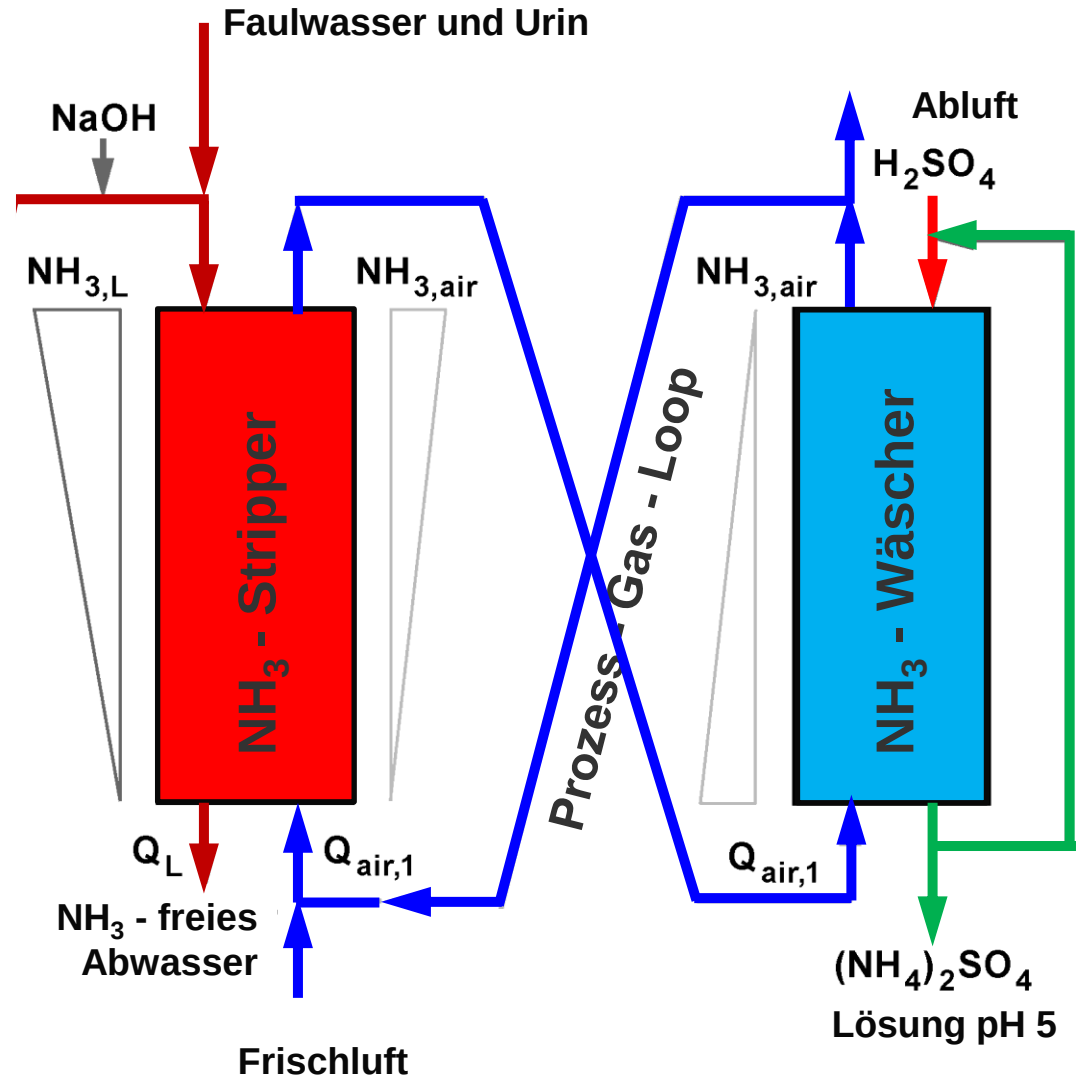
- Produkt: **Ammoniumsulfat (AMS)** mit 37% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ Lösung (10% N) aus Faulwasser oder Urin
- Depot-Injektion von **AMS** mit speziellen Maschinen einmal pro Jahr oder Kultur

Vorteile: geringe NO_3 und N_2O -Verluste im Vergleich zur konv. Düngung

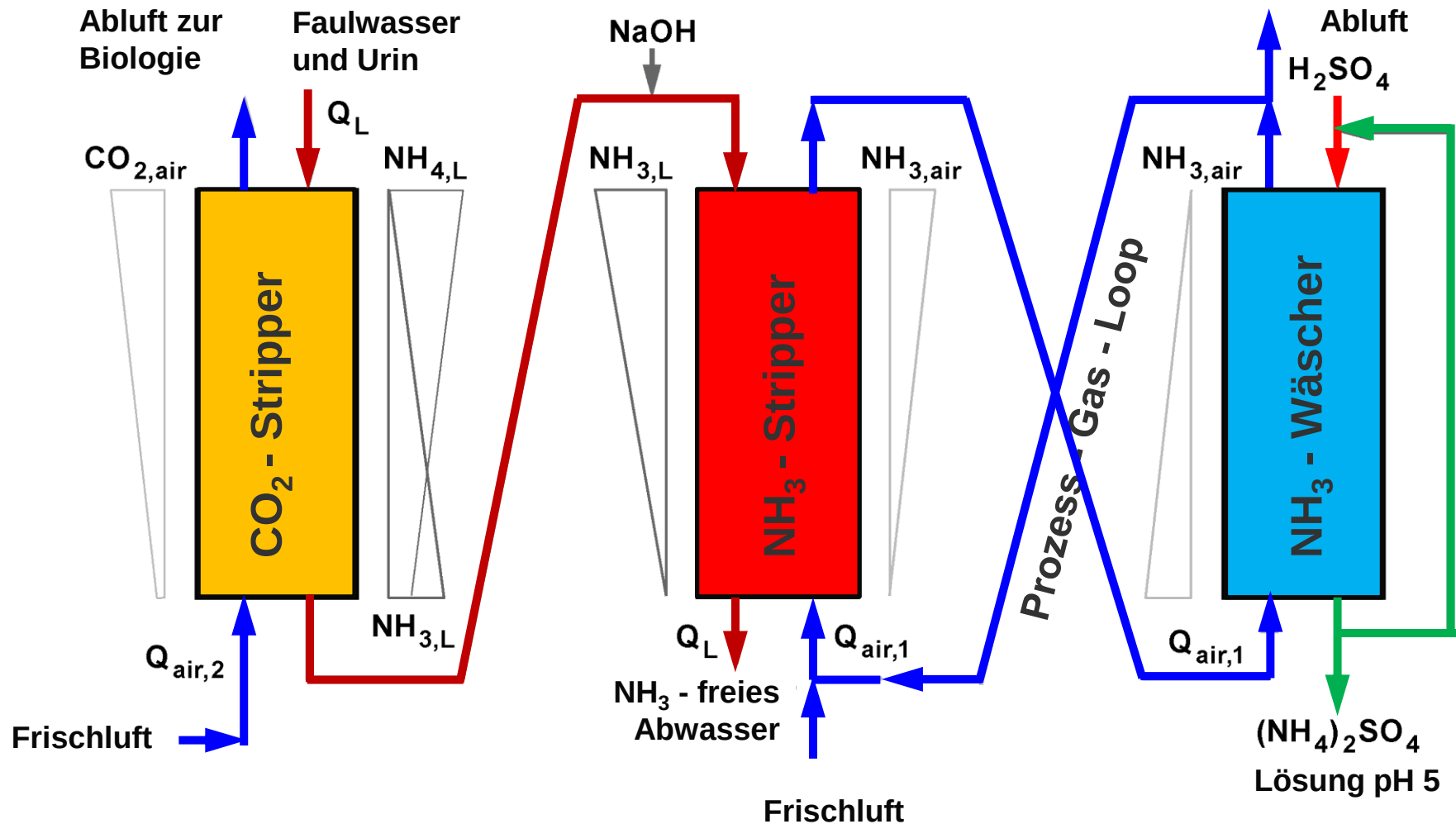




Prinzip der Luft-Strippung

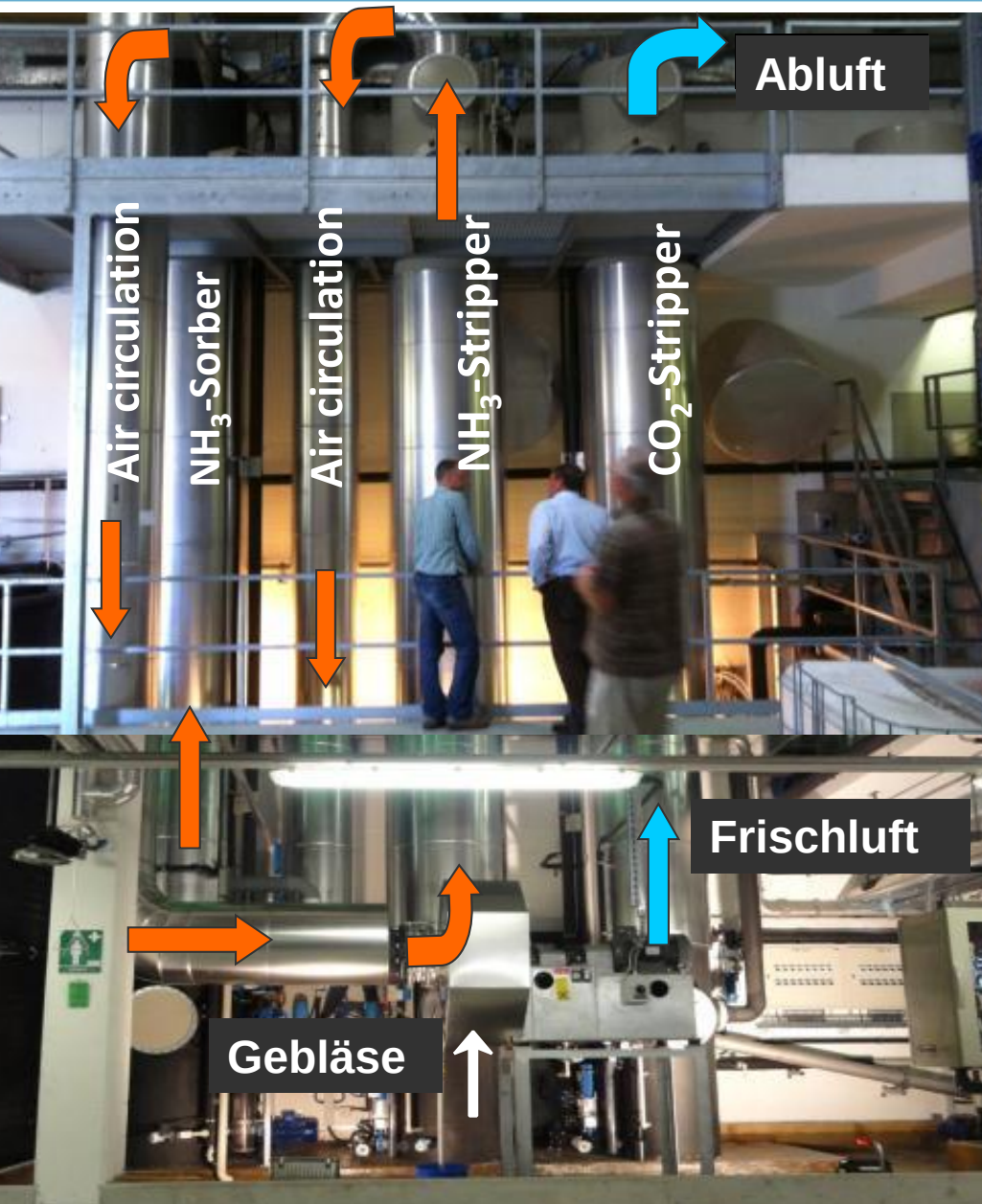


Kolonnen mit Füllkörpern oder Wabenpackung (grosse Oberfläche)



Kolonnen mit Füllkörpern oder Wabenpackung (grosse Oberfläche)

Düngerproduktion in Glattbrugg (ZH)



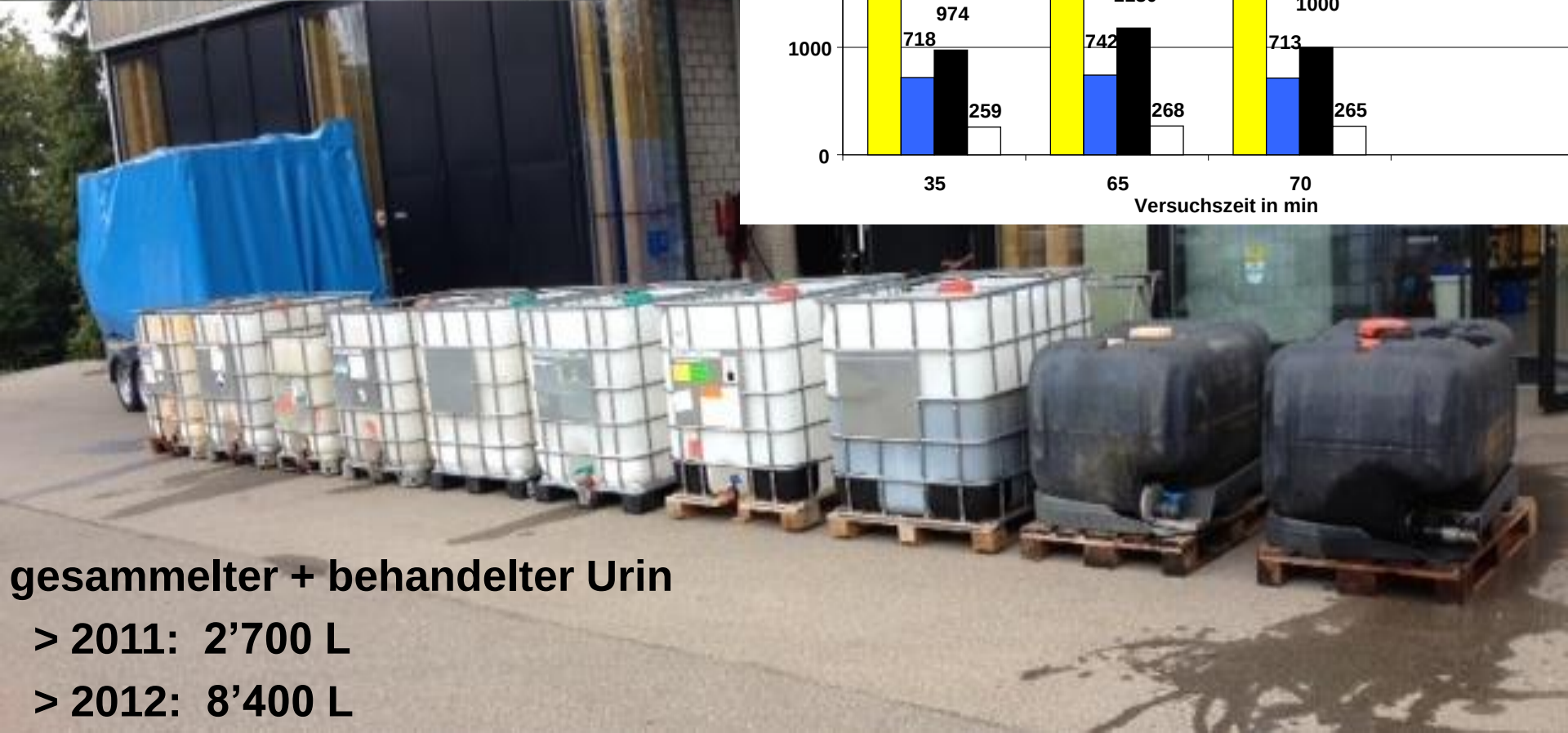
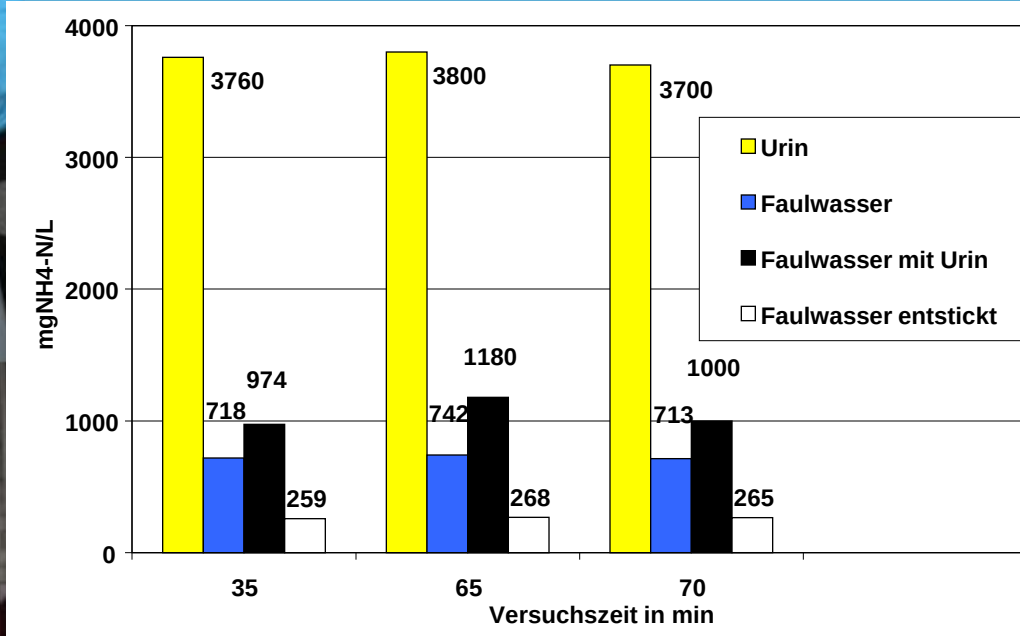
Luftstrippung

Abwasserreinigung Kloten/Opfikon (AKO)

- seit 2010 werden rund 240 t jährlich schwefelhaltiger Dünger recycelt
- Klimapreis 2011 Zürich Versicherung
- nominiert Schweizer Umweltpreis 2011



Mitbehandlung von Urin

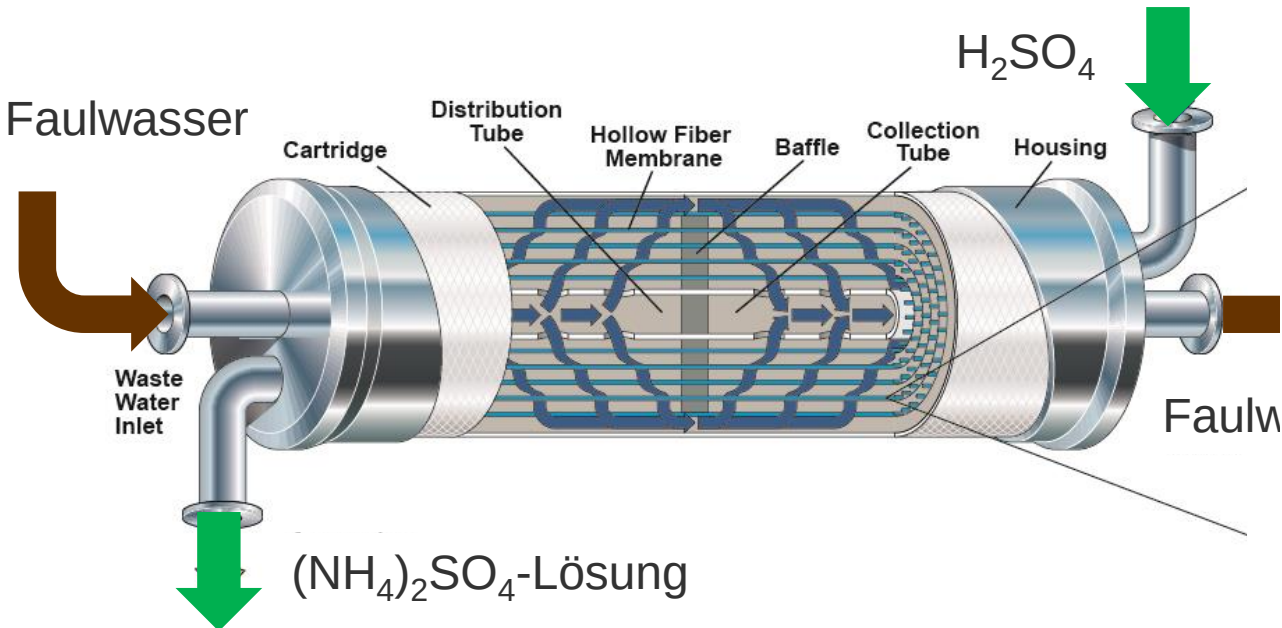


gesammelter + behandelter Urin

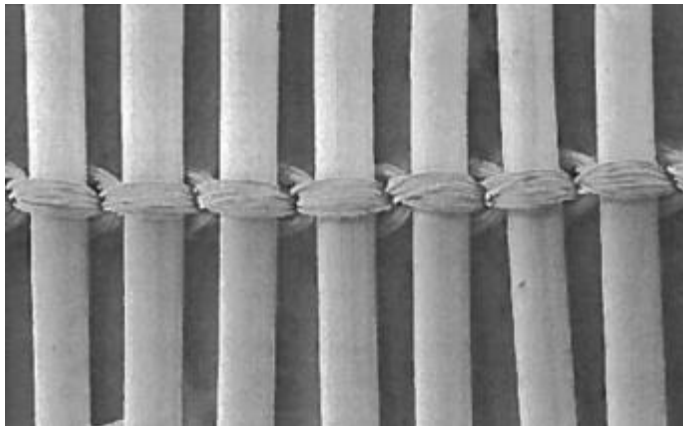
> 2011: 2'700 L

> 2012: 8'400 L

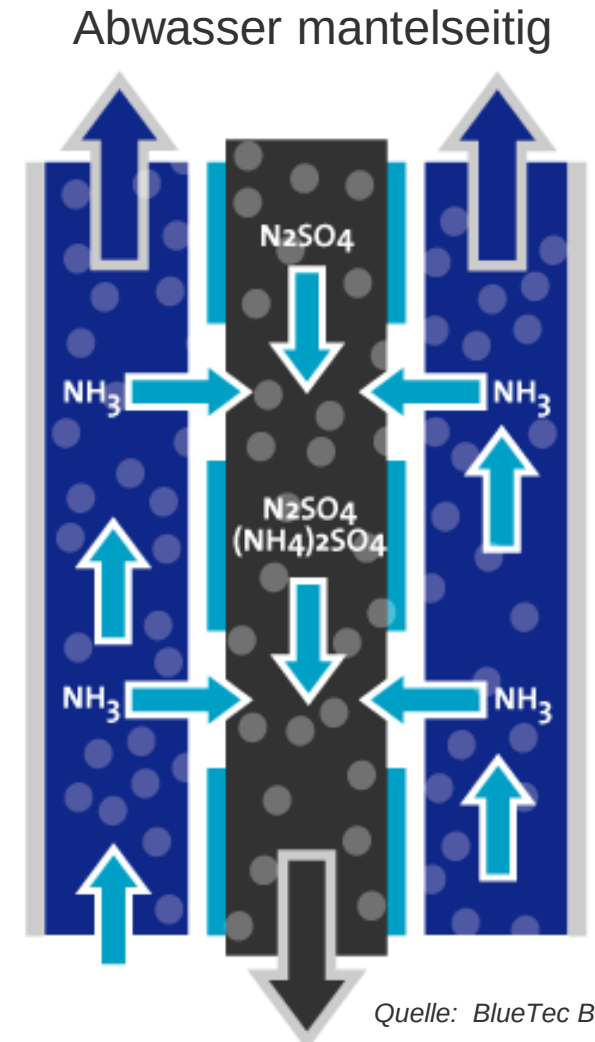
Strippen mit Membranen



Quelle: Membrana GmbH / 3M



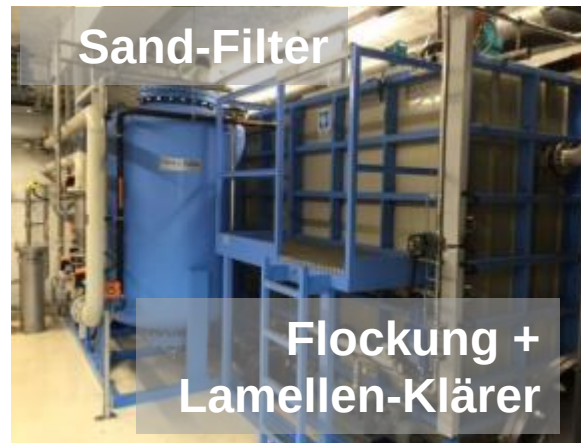
Quelle: Membrana GmbH / 3M



Quelle: BlueTec BV

Ammoniak dringt ins
Faserinnere

- seit Mitte 2016 werden rund 1/2 t Stickstoff je Monat zu einem nachgefragten Flüssigdünger umgewandelt und lokal in der Landwirtschaft verwertet



Stromverbrauch:

Anammox (Joss et al., 2009, Fimmel, 2010)	1.3 kWh _{elektrisch} /kgN	denitrifiziert, 85-90%
Luft-Strippung (DWA, 2003, Böhler et al., 2011)	1.5-1.8 kWh _{elektrisch} /kgN	rückgewonnen, 90%
Membran-Strippung (Böhler et al., 2018)	2.6** kWh _{elektrisch} /kgN	rückgewonnen, 75%
konv. Biologie (VKB+Nitri.+Den., VSA, 2008)	9 kWh _{elektrisch} /kgN	denitrifiziert, 50%

Primärenergie:

Anammox	4 kWh _{primär} /kgN	denitrifiziert, 85-90%
Luftstrippung (Liebi+Böhler, 2011)	8 – 10 kWh _{primär} /kgN	rückgewonnen, 90%
Membranstrippung (Böhler et al., 2018)	10*– 24** kWh _{primär} /kgN	rückgewonnen, 75%
konv. Biologie (VKB+Nitri.+Den., VSA, 2008)	27 kWh _{primär} /kgN	denitrifiziert, 50%

* Luft- und Membran-Strippung 60° C mit vorgängiger CO₂-Strippung 60°C

** erste Erfahrungswerte, nicht optimierter Betrieb, kalte CO₂-Strippung 20°C, NH₃-Strippung 40°C
Wärme als Überschusswärme aus Biogasnutzung, nicht berücksichtigt

Haber-Bosch mit 8 kWh_{primär}/kgN_{produziert}

Kapital- und Betriebskosten	NH ₃ -Strippung CHF/kgN	Nitritation/Anammox CHF/kgN
Betrieb	7-8	3-5
Produktwert	- 0.5 ÷ 1	-
Netto-Kosten	6-7¹⁾ 5²⁾	3-5³⁾ 5²⁾

1) Abwasserreinigung Kloten/Opfikon (AKO), 70'000 EW

2) ARA Altenrhein (AVG), 200'000 EW (Kosten für Luft- und Membran-Strippung sehr ähnlich)

3) ARA St.Gallen, 200'000 EW

- Rückgewinnung von Stickstoff auf Kläranlagen ist wenig etabliert, u.a. aufgrund der hohen Kosten im Vergleich zu biologischen Verfahren - es resultieren aber bedeutende Vorteilen wie **hohe Prozessstabilität, N₂O-Reduktion**, Schonung **Ausbaureserven** , Verringerung des Energieverbrauches – **Rückgewinn eines Wertstoffes/Produkt (Kreislaufwirtschaft)!**
- Die **membranbasierte Stickstoffrückgewinnung** ist eine junge, aber vielversprechende Technologie mit bisher wenig Praxiserfahrungen (Vorbehandlung, Membrandesign und Standzeiten, Produktpolishing, Vermarktung durch ARA, ...).
- Das Interesse aber an einer den Ressourcen des Abwassers orientierten Behandlung von Abwasser- und Klärschlamm wird zukünftig steigen – die Evaluation und Optimierung der Verfahren ist daher angezeigt
- Kläranlagen wie Kloten/Opfikon (AKO), Yverdon-les-Bains sowie Altenrhein demonstrieren den Mut zur Innovation und das wachsende Interesse an einer zukunftsorientierten Abwasserreinigung

Danke für Ihr Interesse!



ATEMIS GmbH, Aachen/Germany



Acknowledgement

POWERSTEP is an innovation action project supported by the European Union under the Horizon 2020 Framework Programme.

Contract no. 641661 Duration: 1/07/15 – 30/06/18