

Biologischer Abbau der organischen Lösungsmittel Dimethylacetamid (DMAc) und N-Methyl-2-pyrrolidon (NMP)

Thomas Schalk

Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft

Abschlusskonferenz, Dresden, 24. Oktober 2024

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung
Wave
Wassertechnologien: Wiederverwendung

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

B | BRAUN
SHARING EXPERTISE

CLP
LABORATORIEN
DR. FREITAG GMBH

DAS
Environmental Experts.

ILK
DRESDEN



Me Sep

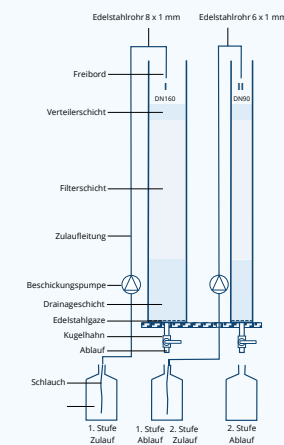
 TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

wasserWerkstatt
Ingenieurbüro für ökologische Wasserwirtschaft

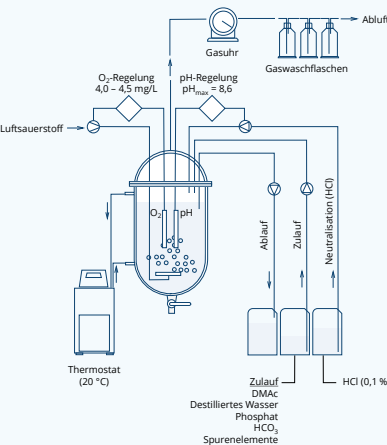
Fkz: 02WV1566

Untersuchte Verfahren

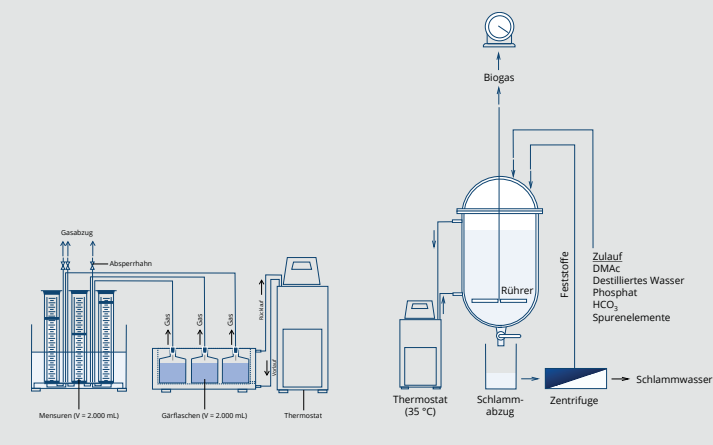
Zweistufiger Vertikalfilter



Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)



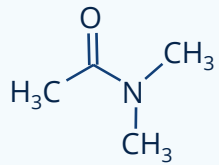
Faulung



Grundlagen

Relevante Bestandteile

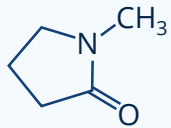
DMAc, C₄H₉NO



Organisch gebundener Kohlenstoff

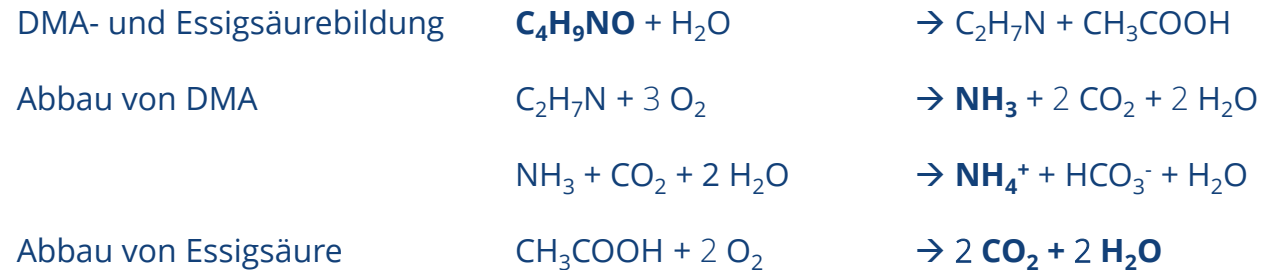
Organisch gebundener Stickstoff

NMP, C₅H₉NO

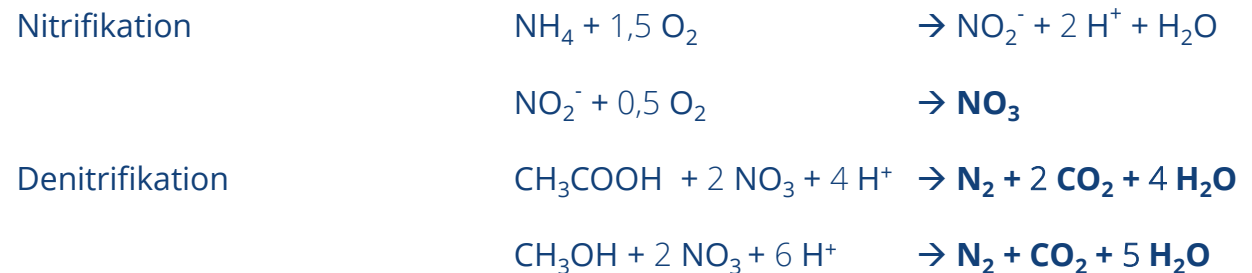


Bsp.: Abbau von Dimethylacetamid

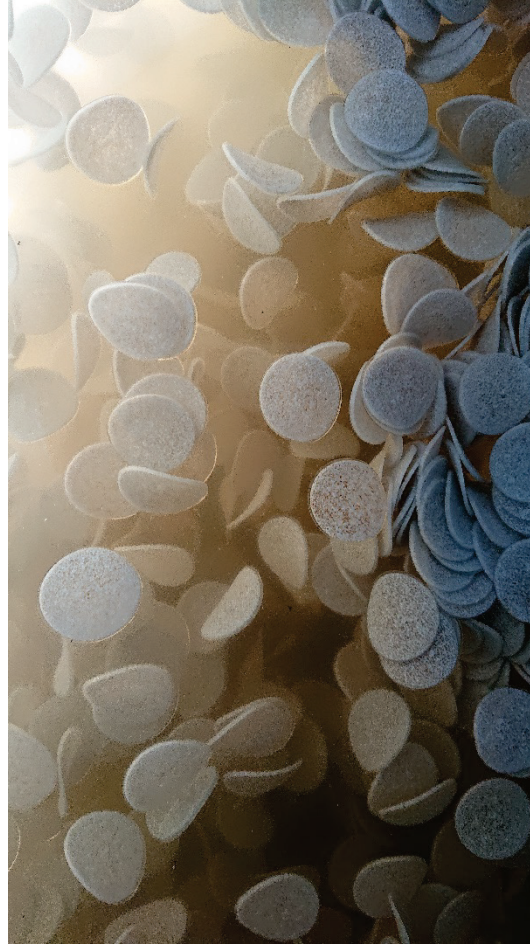
Abbau des organisch gebundenen Kohlenstoffs, Freisetzung des Stickstoffs



Stickstoffelimination



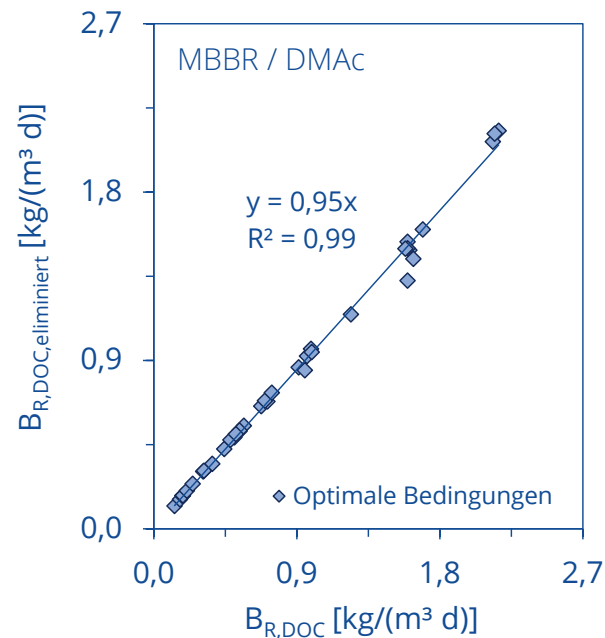
Aerober Abbau · MBBR



Aerober Abbau · MBBR

DMAc, NMP

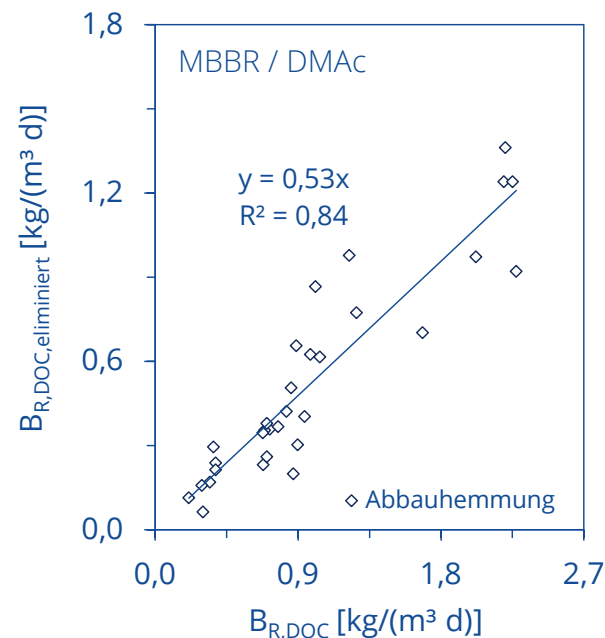
- Ablaufkonzentrationen < 0,1 mg/L
(unter günstigen Bedingungen)



DOC-Wirkungsgrad beim
DMAc-Abbau (Optimum)

DOC-Abbau

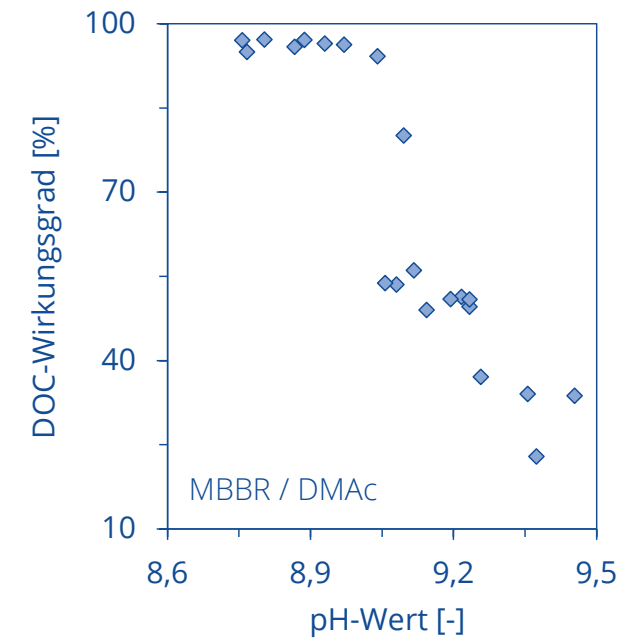
- DMAc-Abbau: i. M. 95 % bzw. 53 % DOC
- NMP-Abbau: i. M. bei 96 % DOC



DOC-Wirkungsgrad beim
DMAc-Abbau (Hemmung)

Hemmung des DMAc-Abbaus

- Ablösung des Biofilms bei hohen pH-Werten
- Auswaschung von Biomasse
- Hemmung der Biomasseneubildung



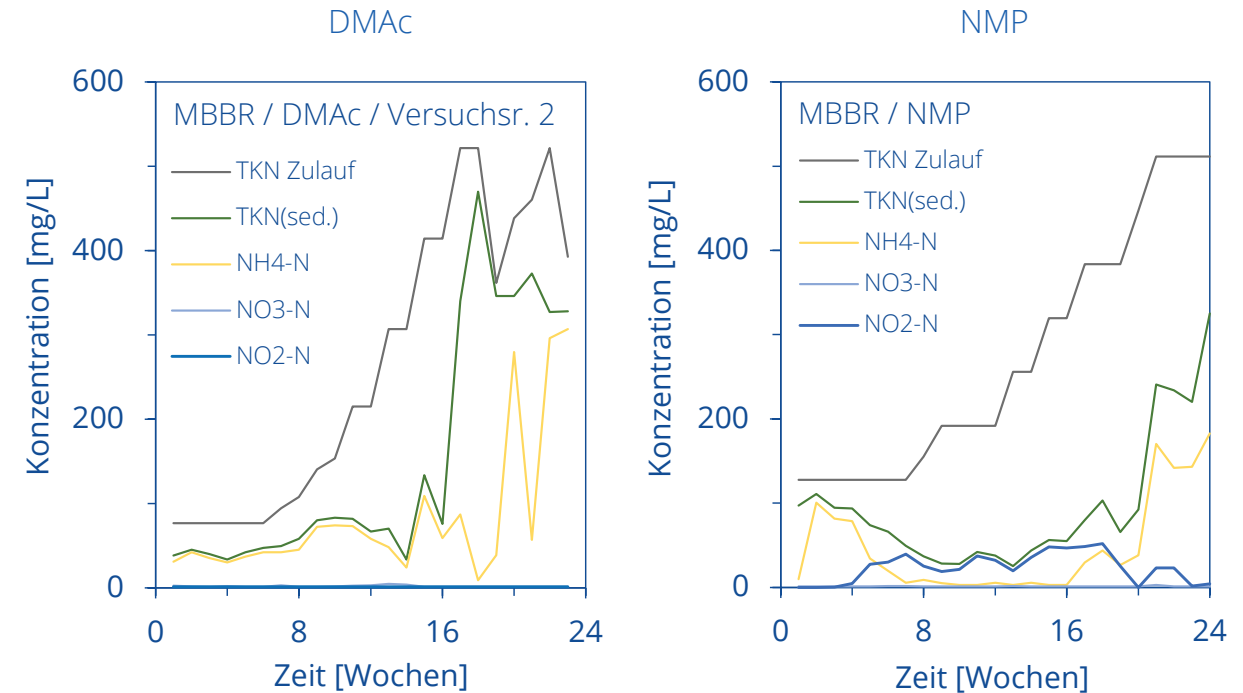
Einfluss des pH-Wertes auf den
DMAc-Abbau

Aerober Abbau • MBBR

Stickstoffelimination

- Geringe Konzentrationen an oxidierten Stickstoffverbindungen im Ablauf
- Bilanziell finden Nitrifikation und Denitrifikation statt
- Mit steigender Raumbelastung sinkt der Anteil des nitrifizierten Stickstoffs
- Bei NMP bis $B_{R,CSB} = 2,5 \text{ kg CSB}/(\text{m}^3/\text{d})$ Nitrifikation, aber nur bis zum Nitrit
- Halbtechnische Versuche mit einer zweistufigen Anlage haben gezeigt, dass Nitrifikation, Denitrifikation und Kohlenstoff-Elimination möglich sind, wenn die 1. Stufe sauerstofflimitiert betrieben wird

Stickstoffkonzentrationen



Aerober Abbau · Zweistufige Vertikalfilter



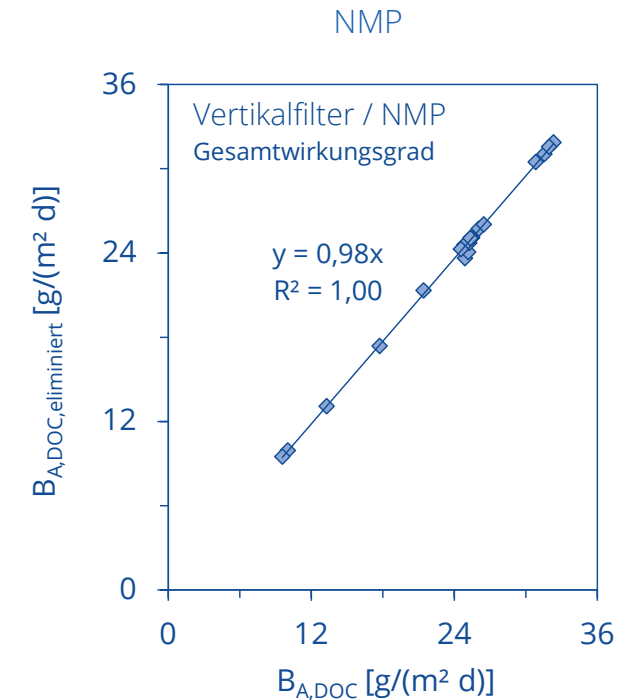
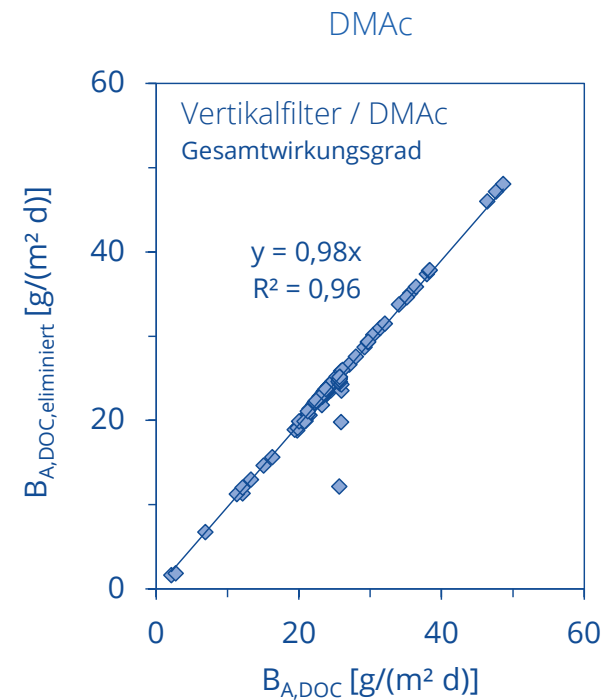
Foto: Christian Koch

Aerober Abbau · Zweistufige Vertikalfilter

DOC-Elimination

- DOC-Wirkungsgrad i. M. bei 98 %
- Lösungsmittelkonzentrationen (DMAc, NMP) im Ablauf der 2. Stufe < 0,1 mg/L
- Großer Einfluss der 1. Stufe auf Reinigungsleistung
- Die 2. Stufe ist für Einfahrbetrieb und Restelimination wichtig
- Je gröber das Material, desto länger der Einfahrbetrieb
- Feinanteil am Material ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit
- Bei mäßig gewaschenem Sand verringert sich die Leistungsfähigkeit der 1. Stufe stark (DMA-Anreicherung, Einbruch Nitrifikation)
- Zur Verhinderung der Überlastung der 1. Stufe ist eine Bemessung mit abgeminderter Belastung sinnvoll (~ 80 g CSB/(m² d))

DOC-Wirkungsgrad

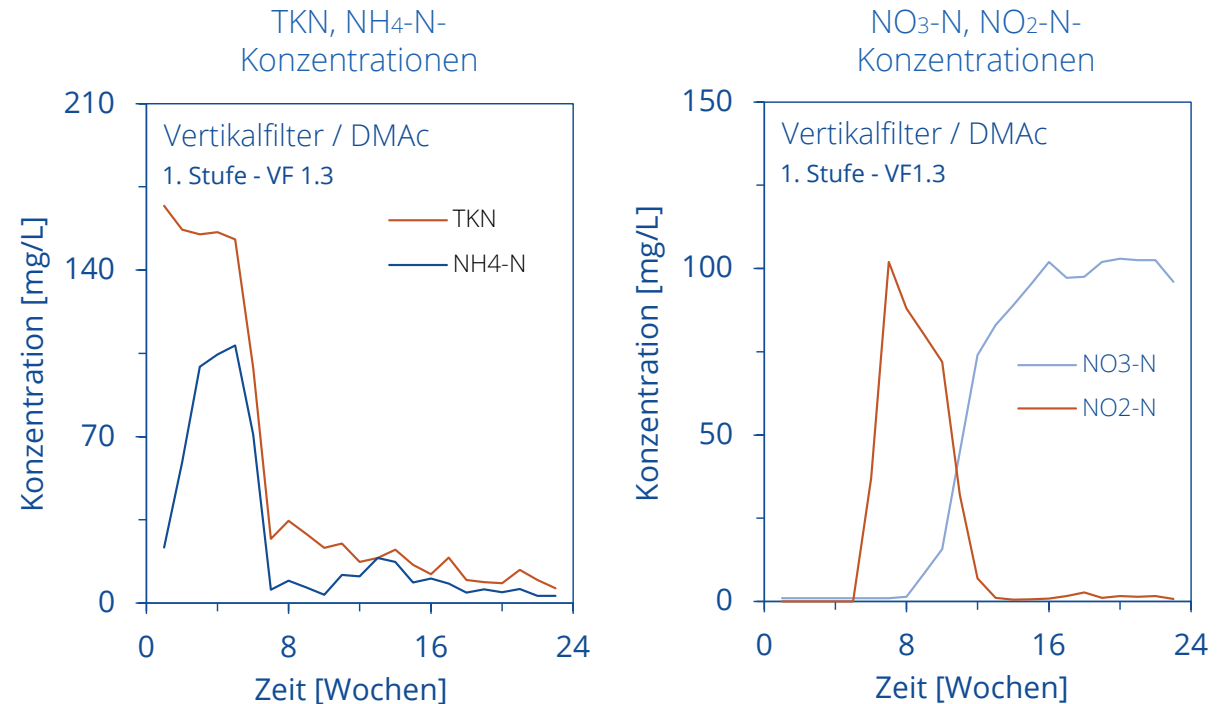


Aerober Abbau · Zweistufige Vertikalfilter

Stickstoffelimination

- Bei hoher Flächenbelastung (160 g CSB/(m² d), 15 g N/(m² d)) dauert es rd. 10 – 11 Wochen bis zur vollständigen Nitrifikation
- Der Einfahrbetrieb mit hoher Belastung führt zu starker NO₂-N-Anreicherung
- Bei geringerer Flächenbelastung sind der Einfahrbetrieb kürzer und die NO₂-N-Anreicherung geringer
- Nitrifikationsprozesse in der 1. Stufe verbessern den DOC-Abbau in der 1. Stufe
- Die Denitrifikationsleistung der 1. Stufe ist abhängig von der Zulaufbelastung (9 – 54 %)

Stickstoffkonzentrationen

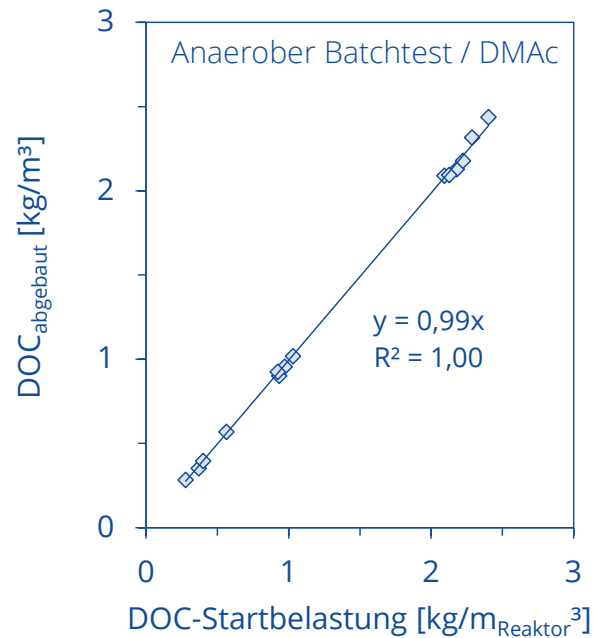


Anaerober Abbau



Anaerober Abbau

Anaerober Batchtest
DMAc

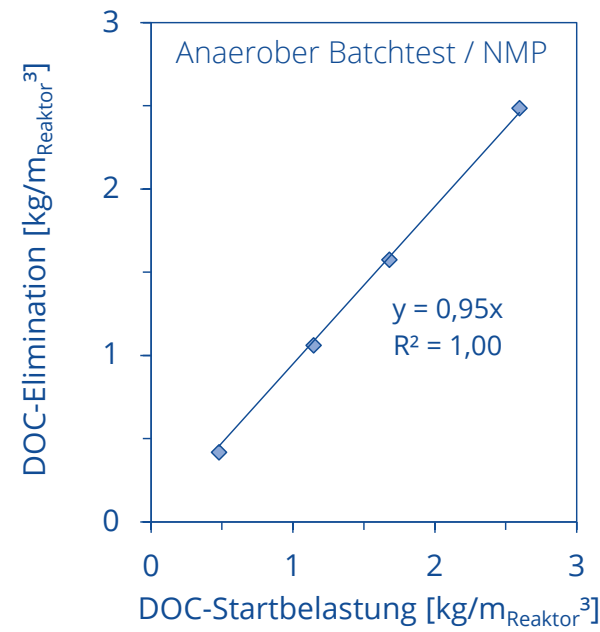


$$\eta_{\text{DOC}} = 99 \%$$

$$C_{\text{DOCZulauf}} = 0,7 - 2,7 \text{ g/L}$$

$$C_{\text{DMAcZulauf}} = 0,8 - 4,1 \text{ g/L}$$

Anaerober Batchtest
NMP

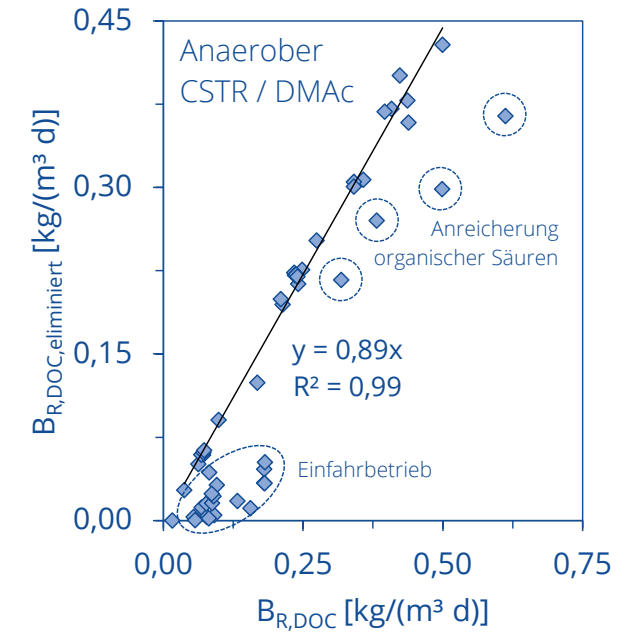


$$\eta_{\text{DOC}} = 95 \%$$

$$C_{\text{DOCZulauf}} = 0,7 - 2,8 \text{ g/L}$$

$$C_{\text{NMPZulauf}} = 0,8 - 4,3 \text{ g/L}$$

Kontinuierlicher Versuch
DMAc



$$\eta_{\text{DOC}} = 89 \%$$

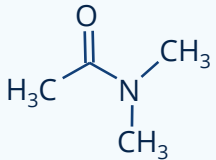
$$C_{\text{DOCZulauf}} = 0,4 - 11 \text{ g/L}$$

$$C_{\text{DMAcZulauf}} = 0,7 - 20 \text{ g/L}$$

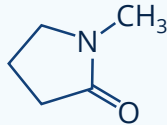
Anaerober Abbau

- DMAc ist vglw. leicht anaerob abbaubar
- NMP ist schwer anaerob abbaubar
- Ursache für die Unterschiede liegen in der Struktur der beiden Substanzen

DMAc, C_4H_9NO

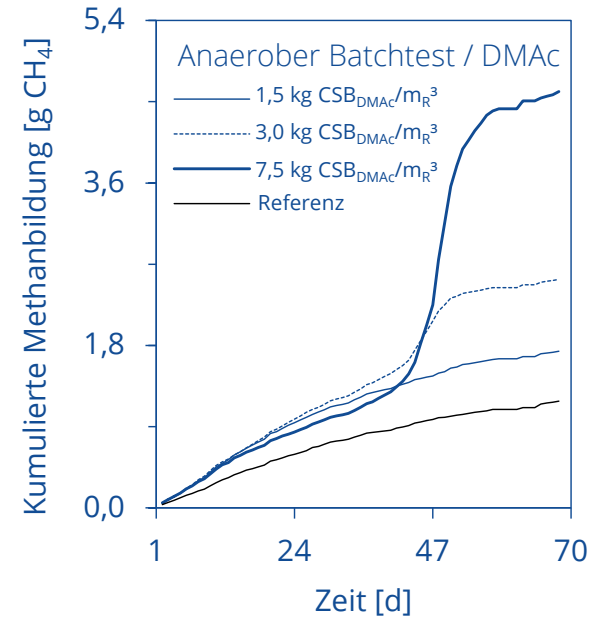


NMP, C_5H_9NO

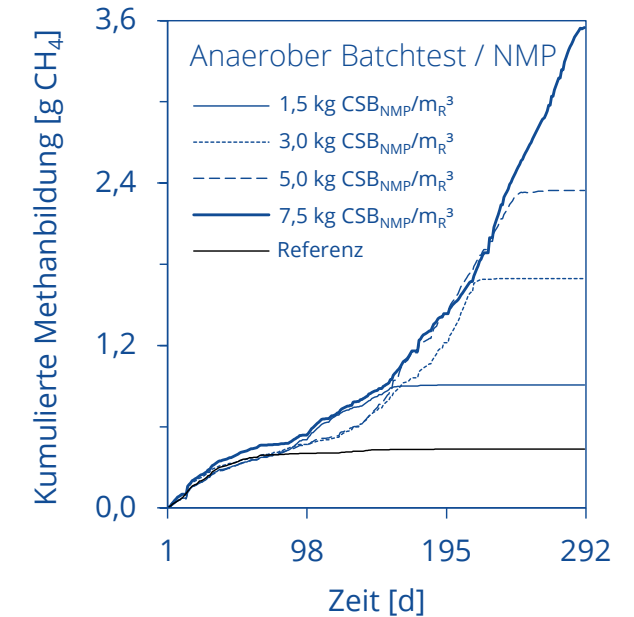


- Sinnvoll ist eine Co-Vergärung von DMAc mit anderen Substraten

Anaerober Batchtest
Methanbildung DMAc



Anaerober Batchtest
Methanbildung NMP



Fazit

Aerober Abbau

- DMAc und NMP sind mit technischen und naturnahen Verfahren aerob abbaubar
- Wirkungsgrade bis > 99 % DOC
- Lösungsmittelkonzentrationen im gereinigten Abwasser < 0,1 mg/L
- Vollständige Nitrifikation erreicht bzw. nach Verfahrensänderung erreichbar
- **Technische Lösung:** Zweistufige VF-Anlage oder zweistufige MBBR-Anlage zur Behandlung von Abwässern mit < 1 % Lösungsmittel

Anaerober Abbau

- DMAc ist anaerob abbaubar. Eine Monovergärung von DMAc ist möglich, aber aufgrund des Aufwands nicht sinnvoll.
- NMP ist anaerob schwer abbaubar
- **Technische Lösung:** Co-Vergärung von DMAc-Konzentraten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!