

Herstellung biologisch abbaubarer Kunststoffe (PHA) aus Abwasser und Klärschlamm – Ergebnisse aus dem EU-Forschungsprojekt WOW



Prof. Dr.-Ing. Heidrun Steinmetz, Thomas Uhrig, M.Sc., Cora Laumeyer, M.Sc.
Wuppertal, 11.05.2023

Inhalt

- **Ausgangssituation**
- **Projekt WOW**
- **Biopolymere: Polyhydroxyalkanoate (PHA)**
- **PHA aus Primärschlamm: die Pilotanlage in Wuppertal-Buchenhofen**
- **PHA aus Industrieabwasser der Lebensmittelherstellung**
- **Potenzial für NWE**
- **Fazit und Ausblick**

Ausgangssituation

➤ Konventionelles System der Abwasserreinigung

- Prämisse: Abwasserinhaltsstoffe müssen entfernt werden
- Abbau über biologische Prozesse zu CO_2 , N_2 , ...
- Inkorporation in den Klärschlamm und Entsorgung
- Verwertung des org. Kohlenstoffs in Teilen energetisch, stofflich nur in der LWS

➤ Neue Ansätze

- Abwasser als Wertstoff, z.B.
 - P-Rückgewinnung
 - Wasserwiederverwendung
 - stoffliche Verwertung von org C?

Ausgangssituation

CSB- und BSB-Frachten im Zulauf von KA in ausgewählten europäischen Ländern

Parameter	Einheit	DE	BE	FR	LU	NL	UK
CSB	g/E/d	120	123	110	120	106	120
BSB	g/E/d	60	43	50			60

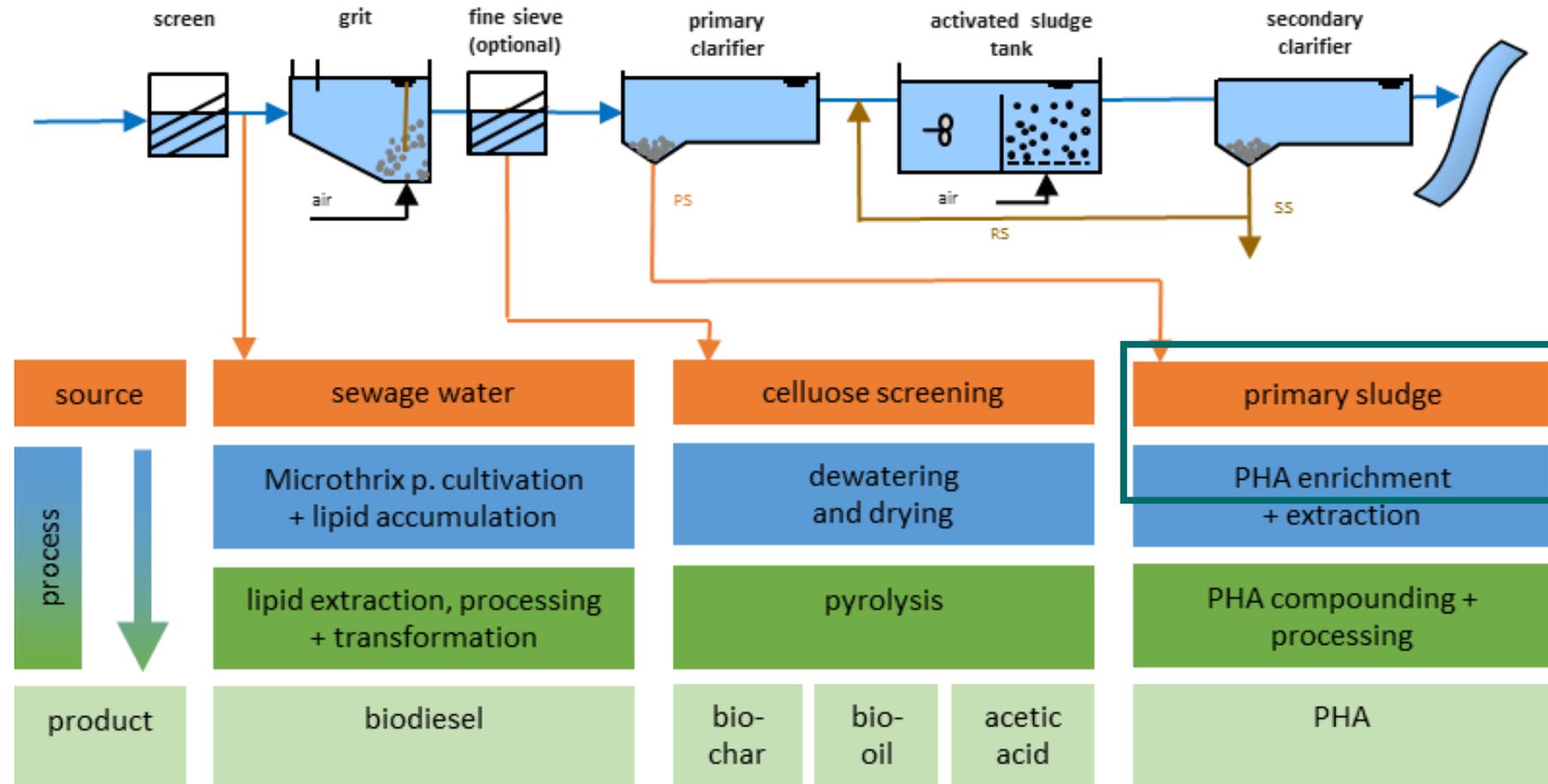
- Pro Einwohner werden in NWE-Ländern ca. 44 kg CSB/a produziert (Mittelwerte, teilweise 85-Percentile)
- Bei 250 Millionen angeschlossenen NWE-Einwohnern (Europa 450 Mio.)
 - CSB-Fracht NWE: 11 Mio. t pro Jahr
 - CSB-Fracht Europa: 19,8 Mio. t pro Jahr

➔ **Großes Potenzial für kohlenstoffbasierte Stoffe**

Projekt WOW: Wider business Opportunities for raw materials from Wastewater

Idee

- Aufzeigen und Erforschen unterschiedlicher Nutzungen org. C
- Verfahrenstechnische Entwicklungen
- Marktpotenziale aufzeigen



Projekt WOW – PHA Produktion

Kommunale Kläranlage

- Produktion ausschließlich mit Stoffströmen der kommunalen KA
 - Primärschlamm als Substrat
 - Belebtschlamm als Inokulum (Bakterienpool)
- Verzicht auf Chemikalien
 - Keine pH Anpassungen
 - Keine FHM
 - Keine externen Nährstoffzugaben
- Entwicklung von Strategien zur Biomasseanreicherung
- Einfluss von Schwankungen der Primärschlammzusammensetzung und der Jahreszeit auf die PHA Zusammensetzung

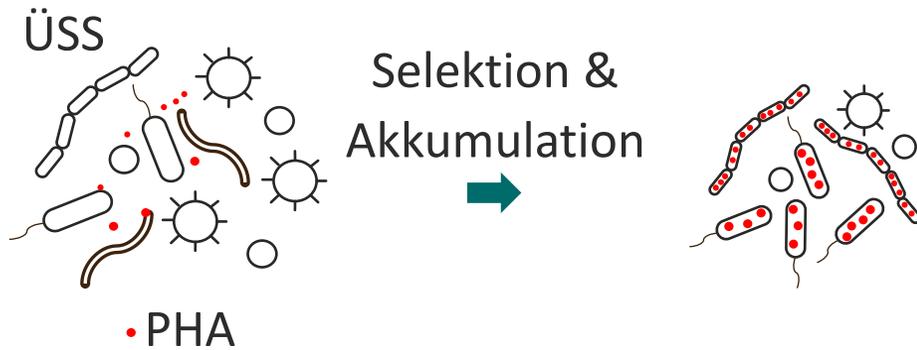
Projekt WOW – PHA Produktion

Industrieabwasser

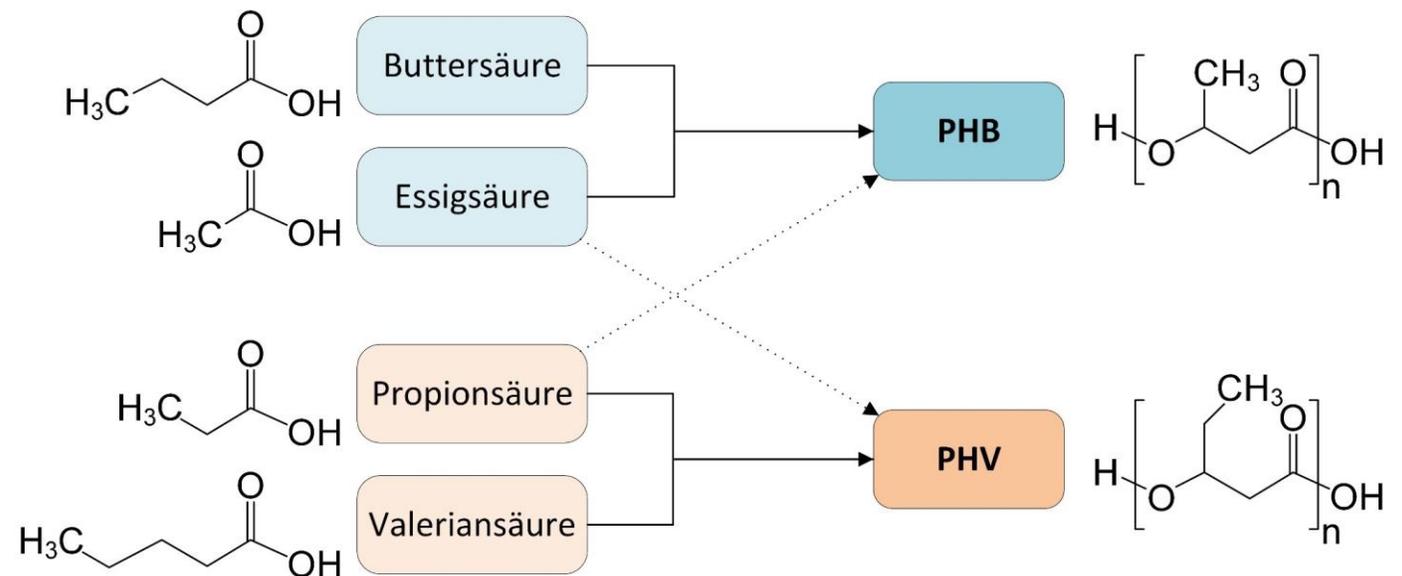
- Eignung industrieller Abwasserströme (Brauerei und Fruchtsaftherstellung)
- Untersuchungen zur Zusammensetzung der PHA
- Stabilität der Zusammensetzung
- Produktion größerer Mengen PHA im Piloten (bis zu 2 kg)

PHA

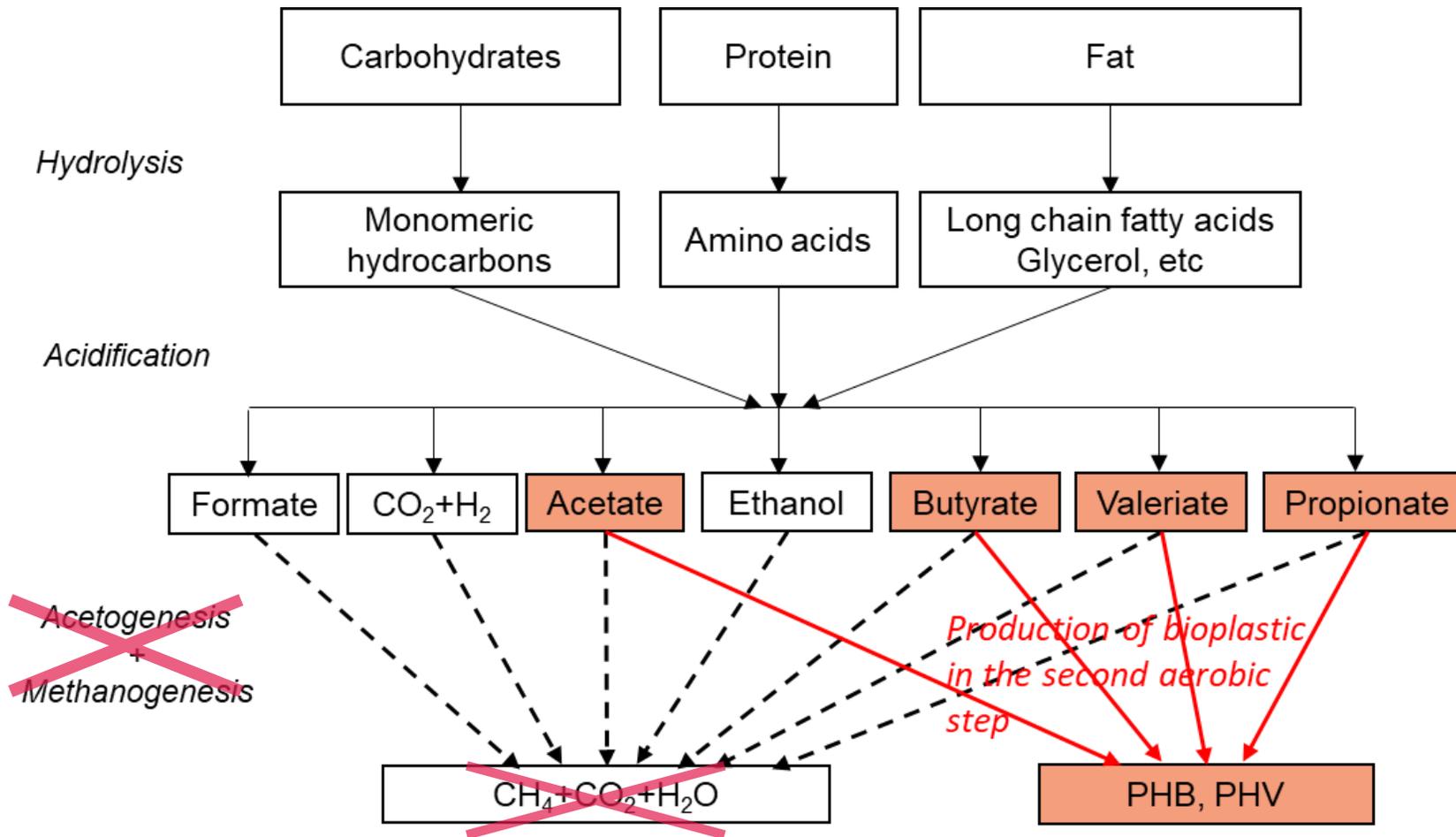
- Gruppe biologisch abbaubarer Polymere
 - Mikrobiologisches Speichermolekül
- PHA-Produzenten in Überschussschlamm (ÜSS) vorhanden



- Kurzkettige org. Säuren (VFA) aus Vergärung von org. Abfallstoffen als Substrat zur Selektion und zur PHA-Akkumulation

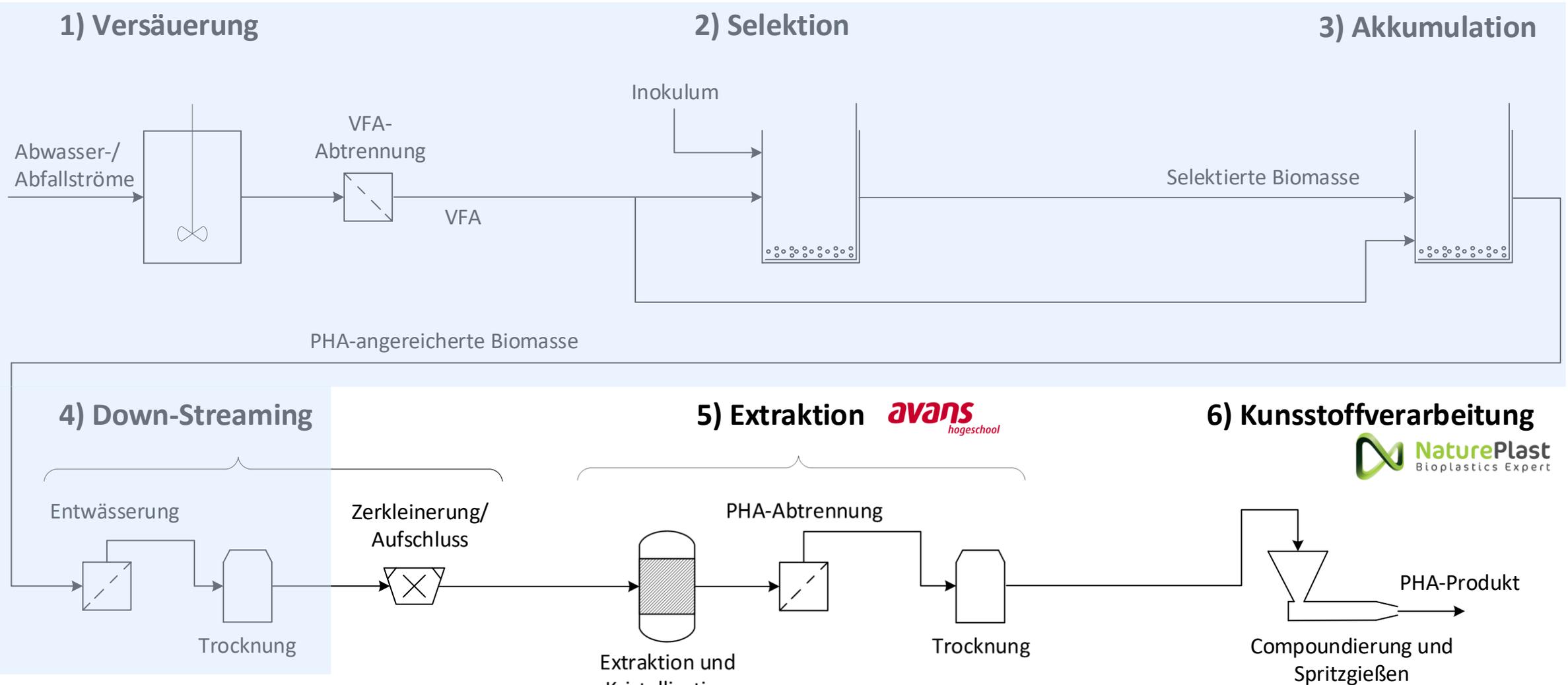


Wo kommt das Substrat für die PHA Produktion her?



- Anaerober Abbau bis zu VFA
- Unterdrückung der Methanbildung
- pH < 6
- Schlammalter < 8d

PHA-Produktion - Prozesskette



Pilotanlage zur Produktion von PHA aus Primärschlamm

Die Pilotanlage in Wuppertal-Buchenhofen - Aufbau

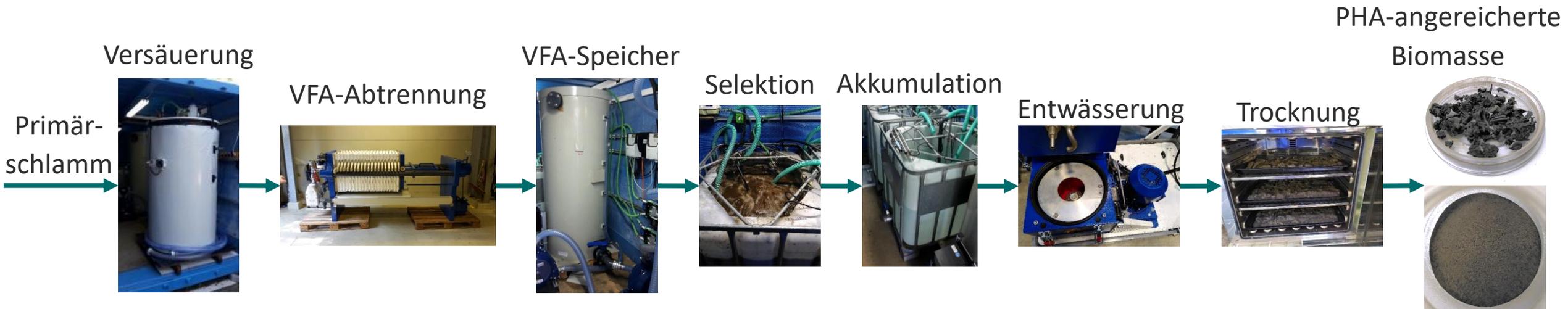
- Betriebszeitraum 08/2020-09/2021 mit Primärschlamm
- 31 wöchentliche Versäuerungsbatches ohne pH-Regelung bei 35°C -37°C
- 4 Selektionsläufe je 2-4 Wochen mit wöchentlicher Akkumulationen ohne pH-Regelung und Temperierung



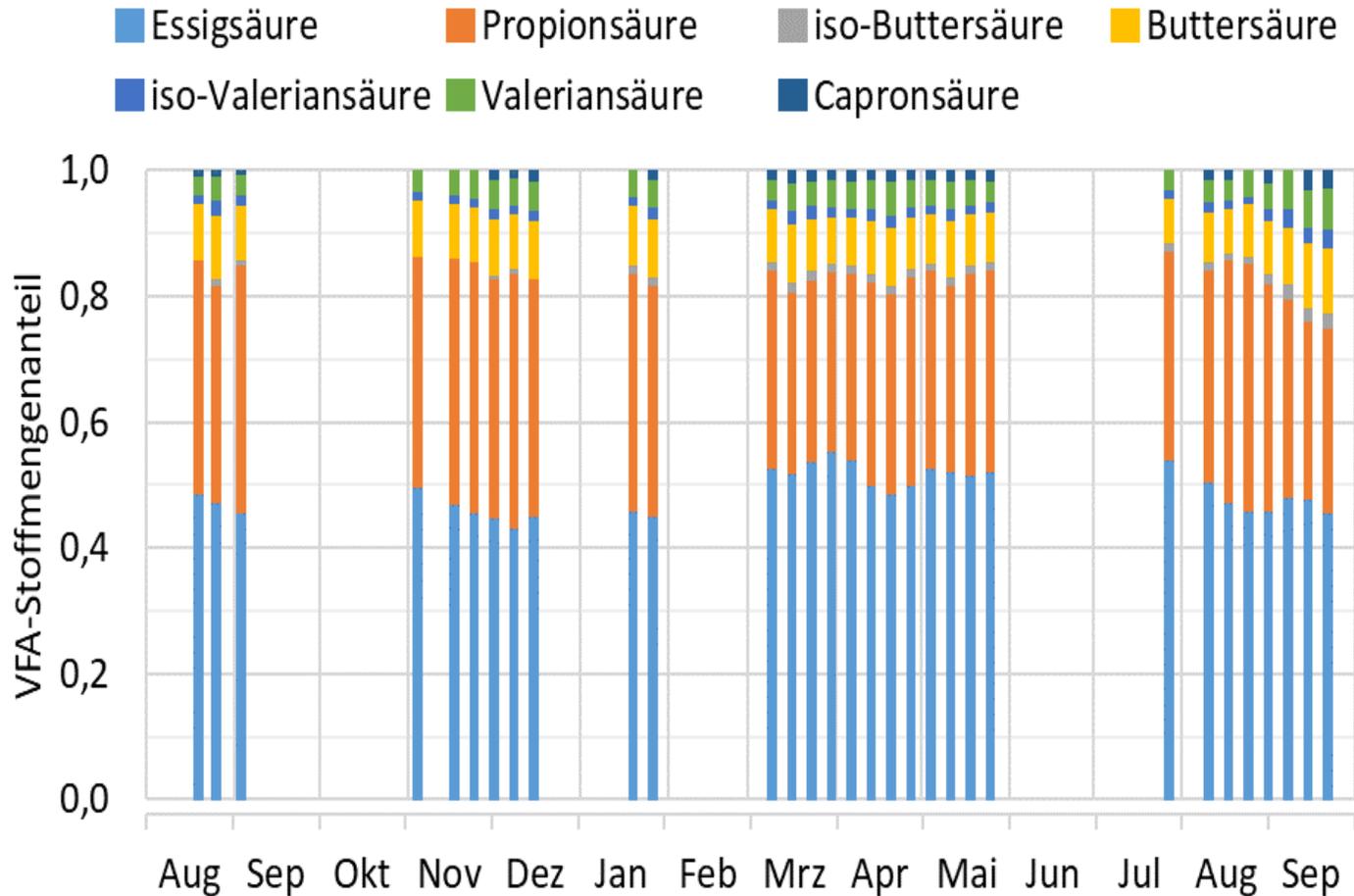
WUPPERVERBAND
für Wasser, Mensch und Umwelt



Quelle: Wuppertal Wasser, Sondermann, Peter, 2022
<https://www.wuppertal.de/unsere-anlagen/klaeranlagen/klaeranlage-buchenhofen>

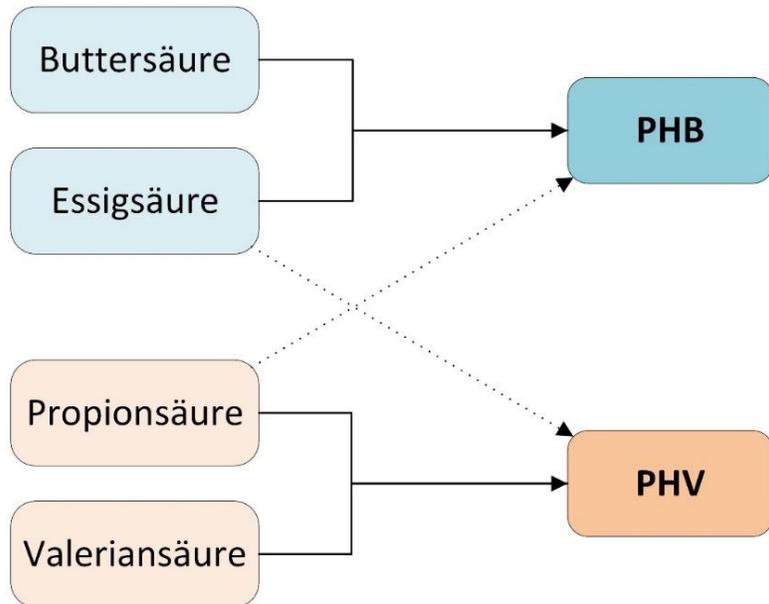


VFA-Zusammensetzung



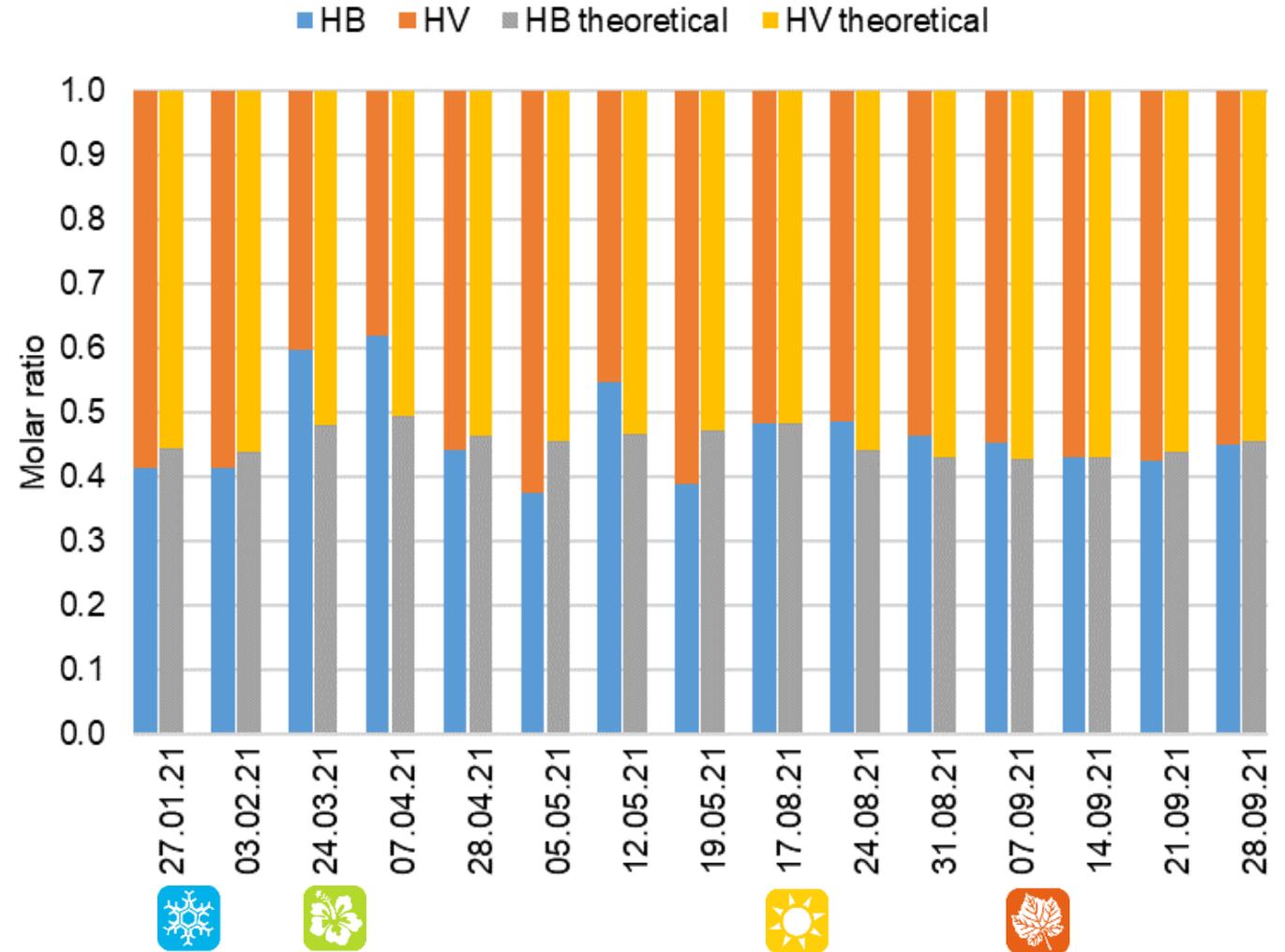
VFA	Molare Anteile	Min-Max
Essigsäure	$0,49 \pm 0,03$	0,44-0,56
Propionsäure	$0,34 \pm 0,04$	0,28-0,40
Iso-Buttersäure	$0,01 \pm 0,01$	0-0,02
Buttersäure	$0,09 \pm 0,01$	0,07-0,11
Iso-Valeriansäure	$0,02 \pm 0,00$	0,01-0,03
Valeriansäure	$0,04 \pm 0,01$	0,02-0,07
Capronsäure	$0,01 \pm 0,01$	0-0,02

PHB/PHV



Berechnet:
51 % ± 3 %
gemessen:
45 % ± 3 %

Berechnet:
49 % ± 3 %
gemessen:
55 % ± 3 %



Herausforderungen im Pilotbetrieb

Primärschlammversäuerung

- Schlechte Entwässerbarkeit: Lsg: Schlammkonditionierungsmittel oder Membranen?

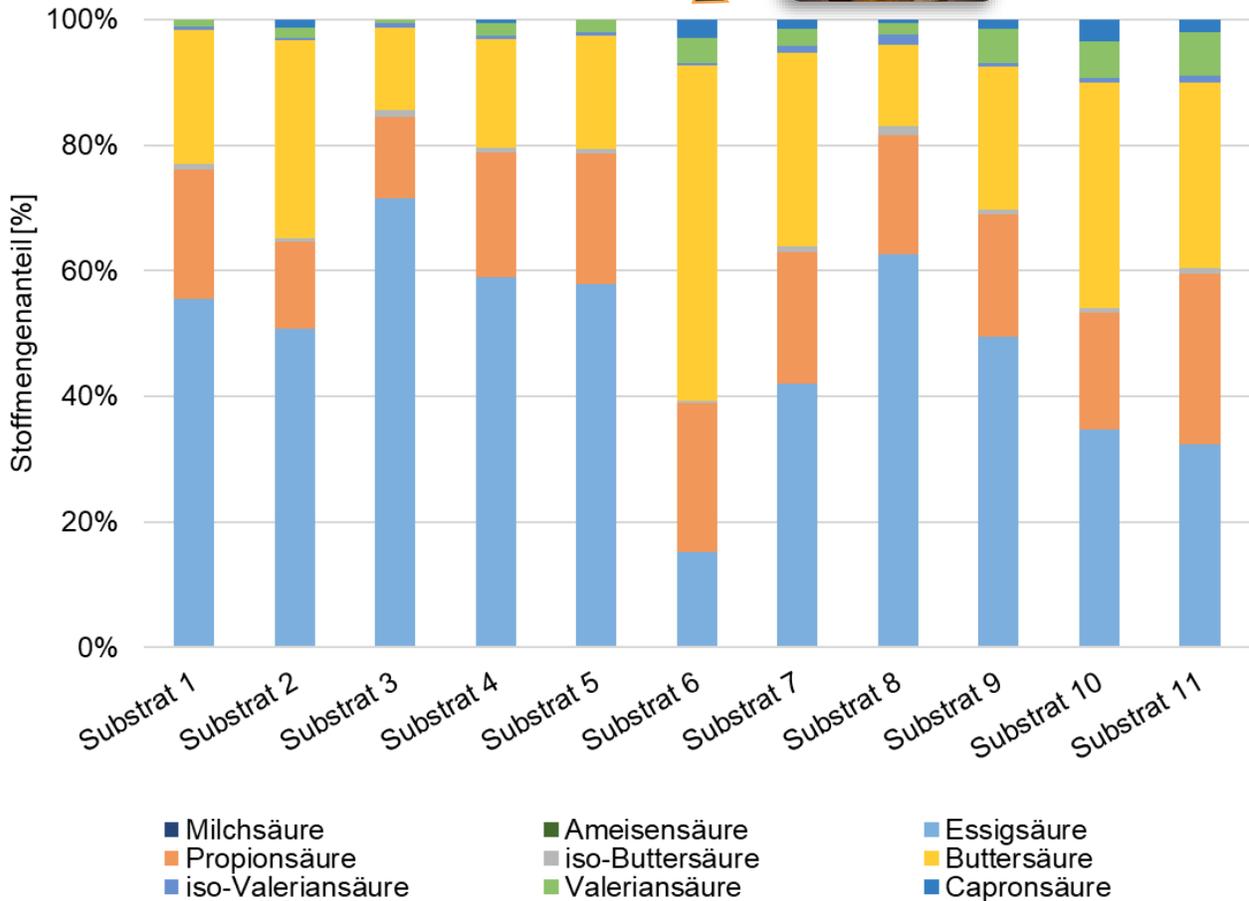
PHA-Produktion

- Feststoffverlust während der Selektion
 - Anpassung der Anlagentechnik, um Verluste zu vermeiden
 - pH-Regelung nötig?
- Eingeschränkte Extrahierbarkeit nach der Trocknung
 - Erzeugung größerer Oberfläche -> Wirbelschichttrockner
- Schlechte Entwässerbarkeit nach der Akkumulation
 - ggf. Einsatz von Schlammkonditionierungsmittel

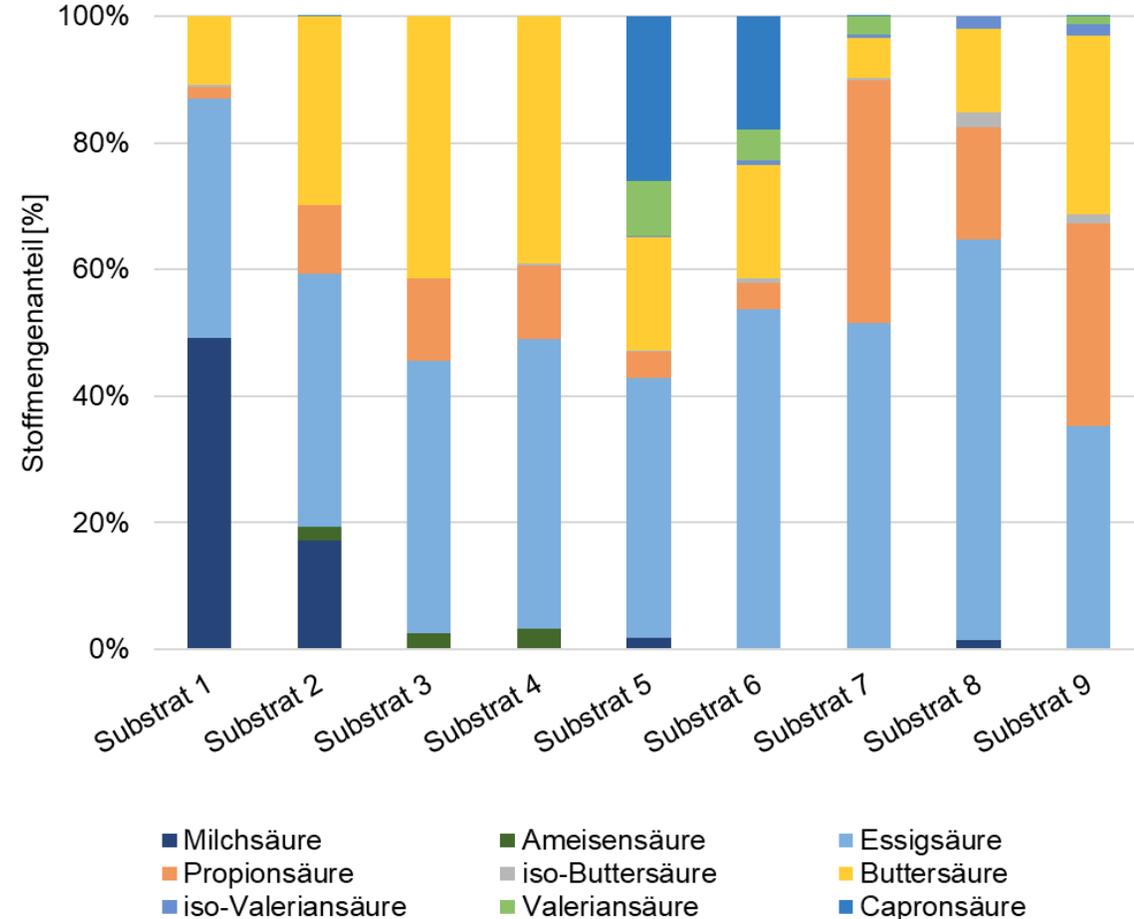
**Pilotanlage zur Produktion von PHA
aus Industrieabwasser
Ergebnisse**

VFA-Zusammensetzung

Brauereiabwasser

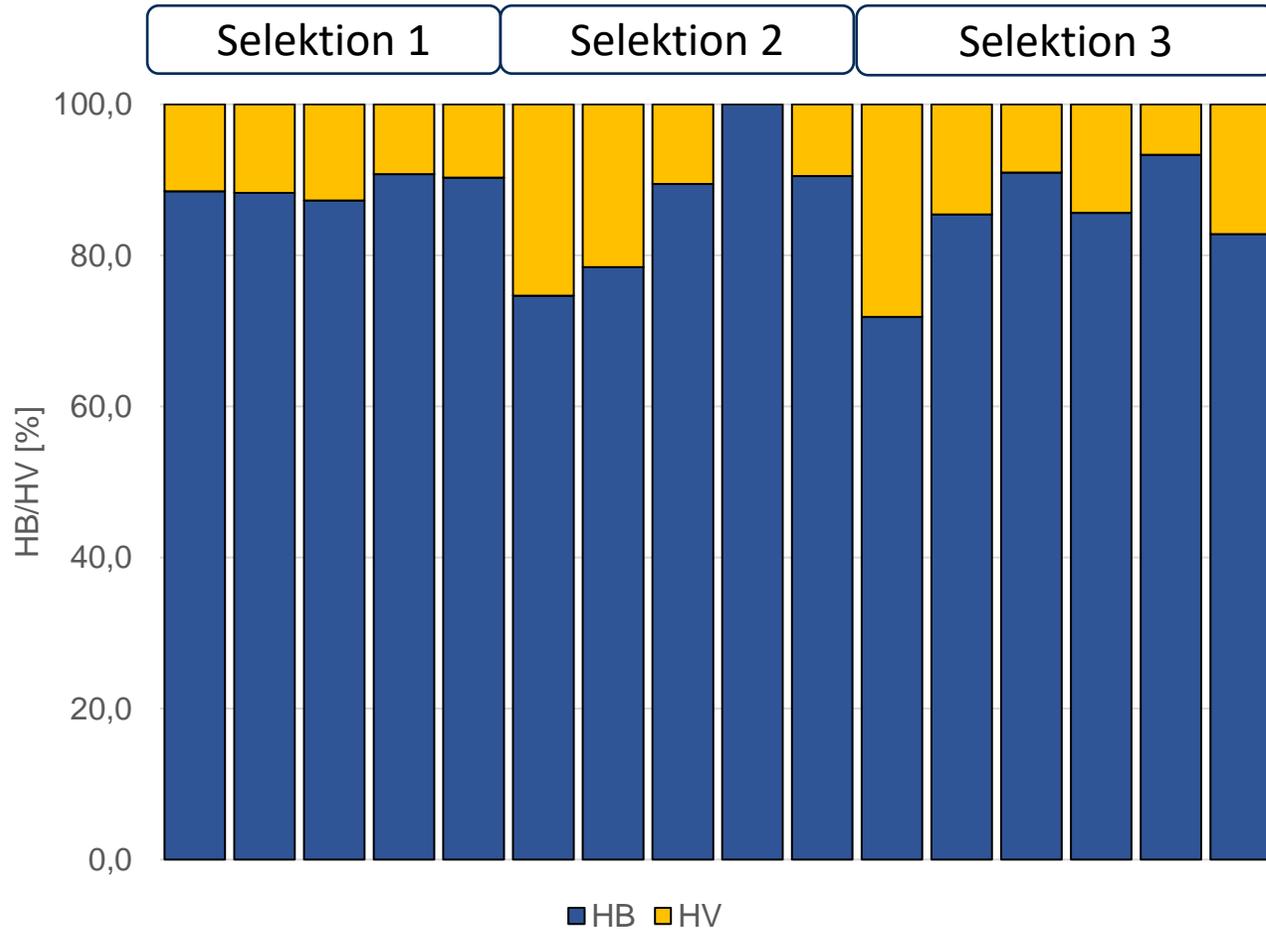


Fruchtsaftabwasser

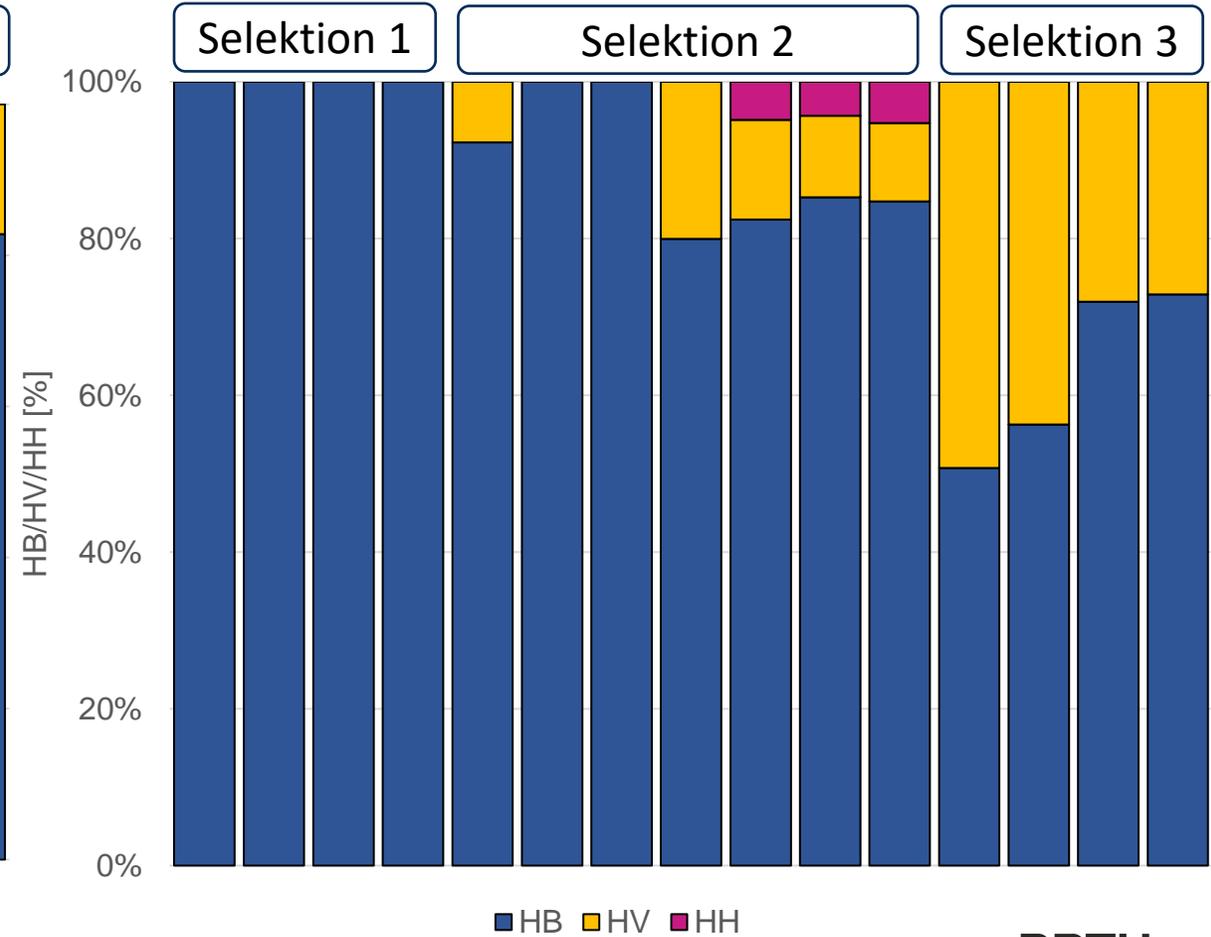


PHA-Akkumulation

Brauereiabwasser



Fruchtsaftabwasser



Industrie vs. kommunale Ströme (PS) als Ausgangsmaterial

Industrielle Ausgangsstoffströme	Kommunale Ausgangsstoffströme
<ul style="list-style-type: none">✓ Niedrigerer Feststoffanteil → erleichterte Fest-Flüssig-Trennung nach Versäuerung✓ Produktion längerer PHAs → PHH✓ PHA-Zusammensetzung lässt sich von Substrat beeinflussen✓ Höhere Akzeptanz des Kunden bei Polymeren aus Stoffströmen der Lebensmittelindustrie	<ul style="list-style-type: none">✓ Regelmäßiger Anfall✓ VFA-Zusammensetzung relativ konstant✓ Ausreichender PO₄-P-Gehalt✓ Betrieb ohne Zuschlagsstoffe möglich✓ Versäuerung ohne Inokulum möglich
<ul style="list-style-type: none">– VFA-Konzentration und -Zusammensetzung variiert je nach Produktionsbetrieb– Nährstoffzusammensetzung ist variabel– Je nach Ausgangssubstrat Nährstoffzugabe notwendig– Je nach Ausgangssubstrat pH-Wert-Anpassung vor Versäuerung notwendig	<ul style="list-style-type: none">– Nicht genügend N– Hoher Feststoffanteil → Problematik Fest-Flüssig-Trennung nach Versäuerung– Geringere Akzeptanz bei Polymeren aus Stoffströmen der kommunalen Abwasserreinigung?

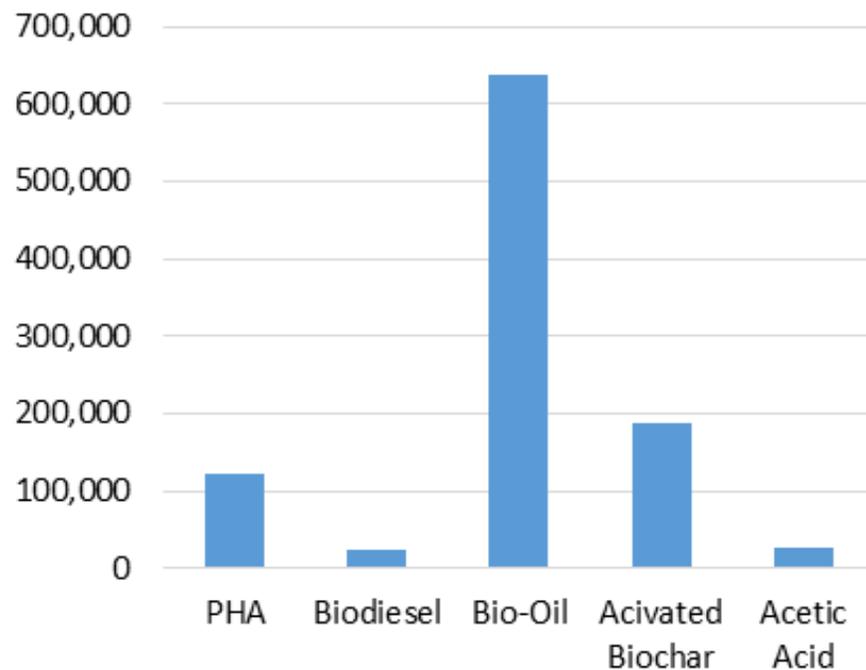
Potenziale

Hochrechnung der Produktmengen aus WOW für NWE und Anteil an der weltweiten Produktion

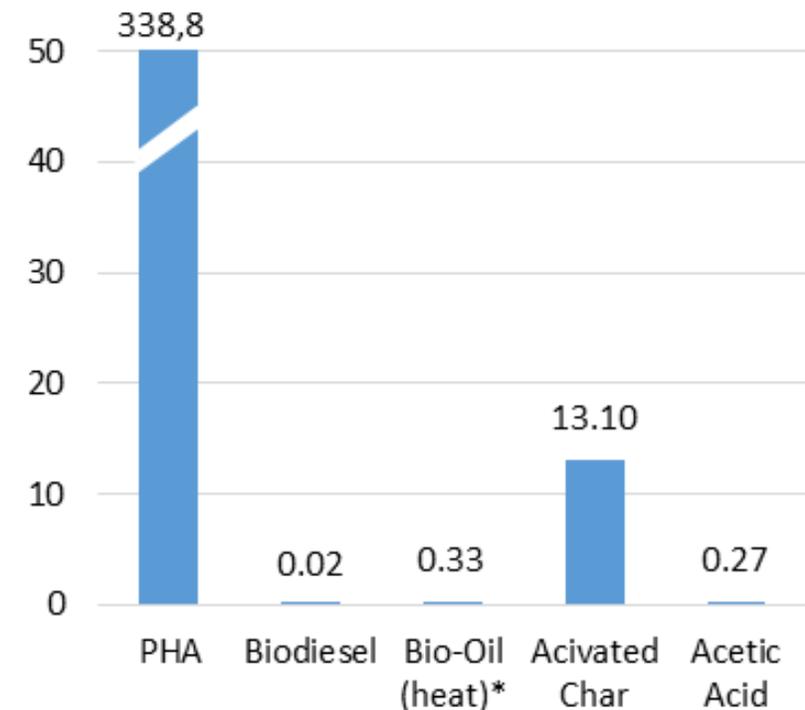
(WIW; WOW market potential study, 2020)



Kommunale KA – Potenziale aus Klärschlamm in NWE (Mg/a)



Anteil am Weltmarkt (Stand 2018) in %



Fazit und Ausblick

Kommunale Kläranlage

- Stabile VFA und PHA Zusammensetzung über das Jahr, auch im Winter
- Im Vergleich zu marktüblichen PHB neue Eigenschaften durch Copolymer
- Hilfsstoffe sind für den Prozess nicht erforderlich
- Einige Fragen sind dennoch zu klären:
 - Einfluss von Nicht-VFA-CSB auf die Selektion und Akkumulation
 - Strategien für eine Stabilisation des TS-Gehaltes
- Substitutionspotenziale für z.B. PE erheblich

Industrieabwasser

- Substratzusammensetzung schwankt je nach Stoffstrom und Prozess
- Fruchtsaftabwasser erreicht PHA-Gehalte bis zu > 60% der org. Trockenmasse
- Einfluss der PHA-Zusammensetzung auf Produkteigenschaften offen

C-Rückgewinnung als Biopolymere aus Abwasser ist möglich!

Vielen Dank!

Auch an:

Thomas Uhrig, Cora Laumeyer und technische MA der RPTU

Catrin Bornemann und Team der KA Wuppertal-Buchenhofen, Wupperverband

Inka Hobus, Gerd Kolisch, WIW

Gesamte WOW-Team

Heidrun.Steinmetz@rptu.de

WOW! is supported by the Interreg North-West Europe program.

WWW.NWEUROPE.EU/WOW

