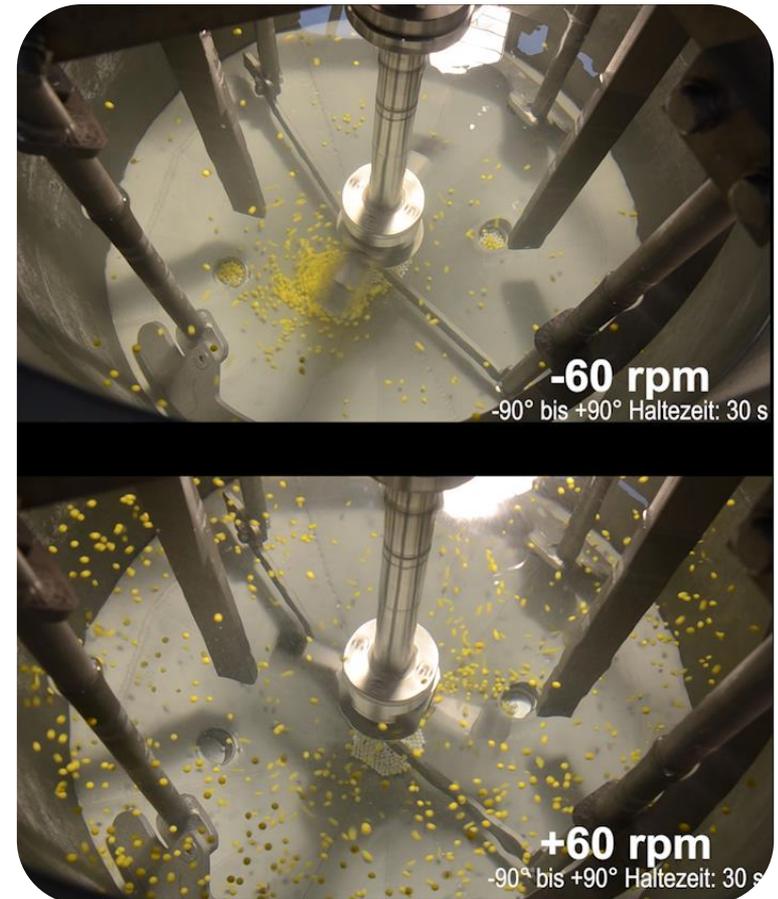


Automatisierte Prozessoptimierung durch einen adaptiven, dynamischen Mischer

Benedikt Schwarz
Matthias Ortler
Johannes Lindner



Ziel

- Verbesserung von Prozessen durch dynamische Fahrweise
 - Wechsel der Drehrichtung erzeugt hohe Geschwindigkeitsgradienten
 - Änderung des Strömungsregimes durch Variation des Mischwerkzeugs
- Mögliche Prozesse
 - Änderung der Viskosität während Polymerisation
 - Änderung der Rühraufgabe
- Selbstoptimierung durch automatisierte Steuerung

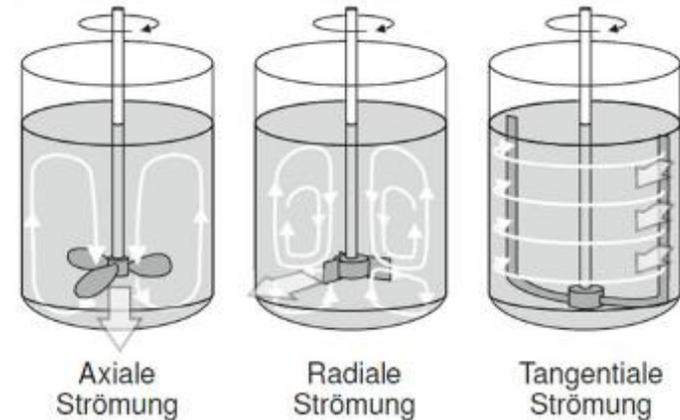


Abb. 3-8: Primäre erzeugte Strömungsrichtungen von Rühranlagen [15](S.243)

[Schwister, Leben: Verfahrenstechnik für Ingenieure]

Übersicht

Stand der dynamischen Mischtechnik

Methodik zur dynamischen Mischtechnik

- Laborrührer
- Laborrührer mit variablem Rührorgan
- Selbstoptimierende Steuerung

Ergebnisse

- Reversierend: Vermeidung von Stromstörern
- Anstellwinkel Schrägblattrührer
- Automatisierte Findung Optimum

Schlussfolgerung und Ausblick

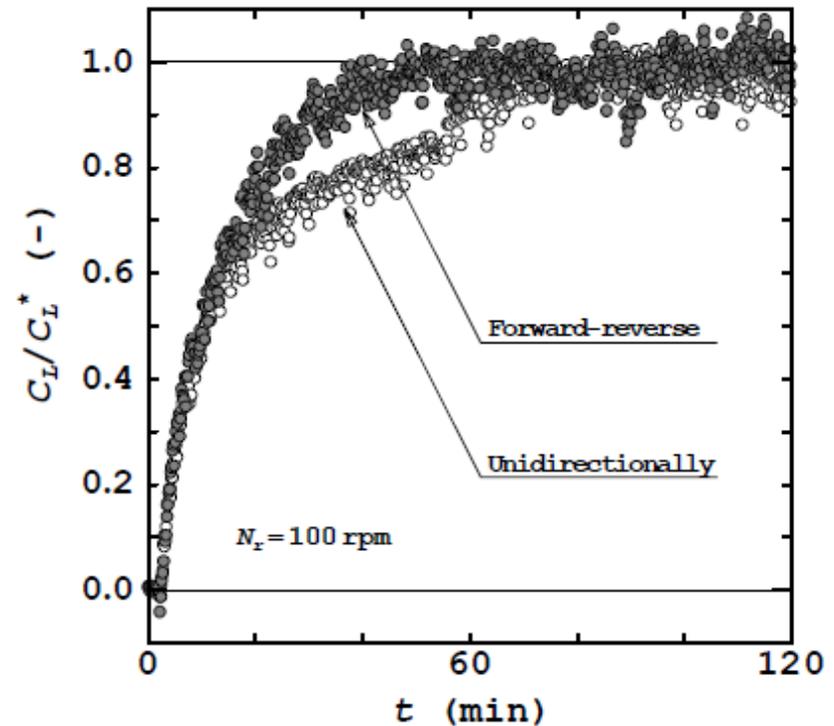
Übersprungene Ergebnisse

- » Simulationen liegen vor
- » Kameratracking wurde umgesetzt



Stand der Technik: Reversierenden Mischtechnik

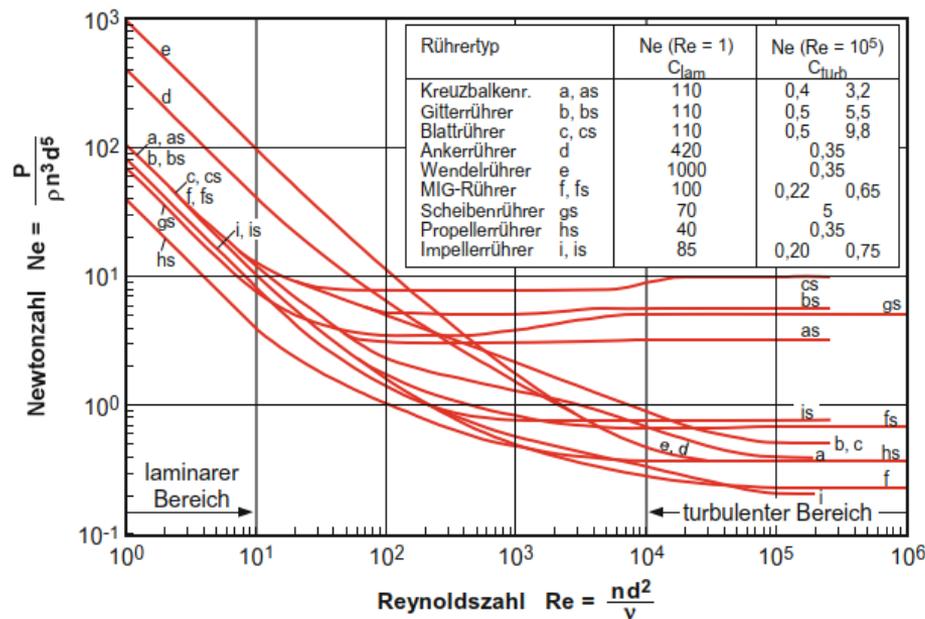
- Yoshida et al.:
 - Reversierende Mischtechnik kann Löseprozesse beschleunigen
 - leichte Beschleunigung eines Löseprozesses konnte gezeigt werden
 - PIV-Untersuchung zur Bestimmung der Strömung
- Nach Woziwodski
 - keine Verbesserung des Prozesses
- Keine Publikationen zu variablem Winkel eines Schrägblattrührers bekannt



Yoshida et al: Movement of Solid Particles on and off Bottom of an Unbaffled Vessel Agitated by Unsteadily Forward-Reverse Rotating Impeller (2008)]

Stand der Technik: Energieeintrag in der Mischtechnik

- Ersatz von Stromstörern durch reversierende Mischtechnik
- Umsetzung unterschiedlicher Mischaufgaben mit Optimierungsmöglichkeit in einem Mischer



Position	wandfern			wandnah		
	Propeller	Scheibenrührer	Zahnscheibe	Schräglattrührer	Ankerührer	Wendelrührer
Typische Rührorgane						
Förderrichtung	axial	radial		axial/radial	radial	axial
Fördermenge	hoch	hoch	niedrig	hoch	niedrig	mittel
Rühaufgaben:						
Homogenisieren	+	(+)		+		+
Suspendieren	+			+		
Begasen		+				
Emulgieren		+	+			
Desagglomerieren			+			
Wärmeübergang	+	+		+	+	+

Geometrie- und Betriebsdaten verschiedener Rührertypen.
Aus Kraume : Transportvorgänge in der Verfahrenstechnik (2020)
Ekato 2012; Fotos:
<http://www.ekato.de/de/produkte/ruehrwerkskomponenten/ruehrorgane>

Leistungscharakteristiken verschiedener Rührertypen.
Kraume : Transportvorgänge in der Verfahrenstechnik (2020)

Methodik: Labormischer 1



- Volumen: 100 l
- Schrägblattrührer mit manuell frei anstellbarem Winkel
 - Durchmesser 270 mm
- Drehmomentsensor
 - HBM DR2427 (+/- 20 Nm)
- Plexiglasbehälter für Partikelverfolgung
- Flügelradanemometer



Methodik: Labormischer 2

- 200 l Laborrührer

- $\varnothing_{\text{Reaktor}} = 0,7 \text{ m}$
- $\varnothing_{\text{Rührer}} = 0,3 \text{ m}$

- Gebaut in Kooperation mit Fa. Kniele

- Im Betrieb frei anstellbare Flügelblätter

- Wendelrührer

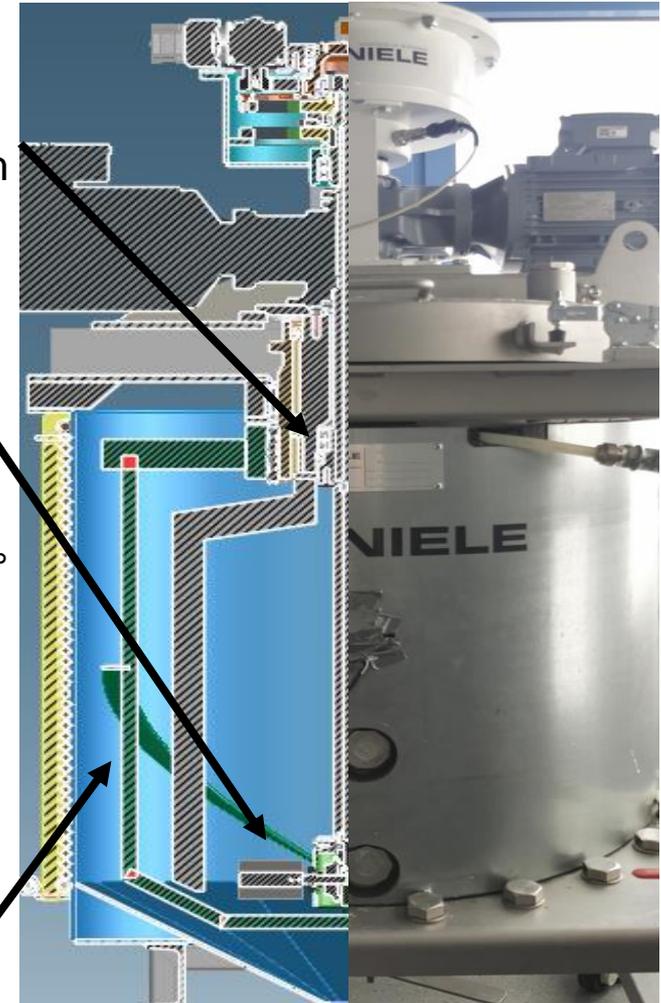
Hauptrührwerk:
Drehzahl: var. $\pm 271 \text{ rpm}$



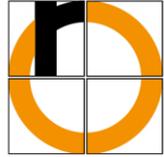
2 Flügelblätter:
Anstellwinkel: var. $\pm 180^\circ$



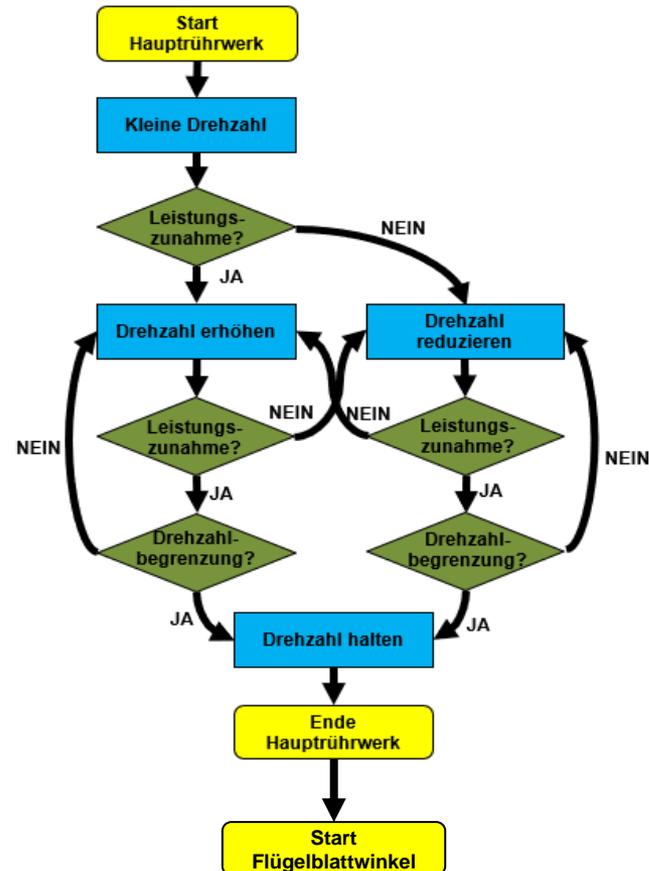
Wendelrührer für
hochviskose Medien
Drehzahl: var. $\pm 46 \text{ rpm}$



Automatisierte Findung Betriebspunkt



- Programmierung und GUI in Python
- CANopen-Protokoll
- Zielgröße: Maximaler Leistungseintrag
- Sequenzielles Abfahren von Stufen
- Bildung Datensätze bzgl. Betrachtungszeitraum

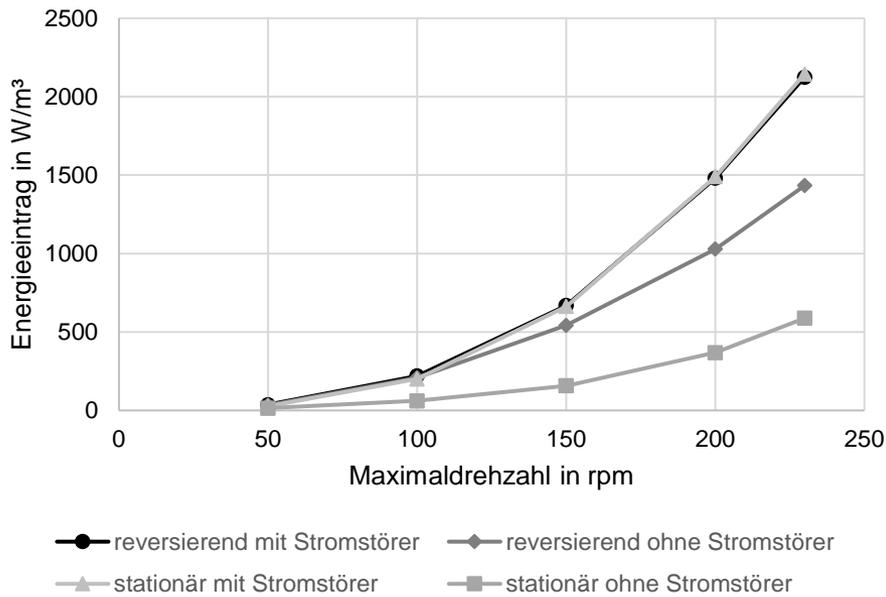


Programflussdiagramm für Variation des Hauptrührwerkes mit Stufenmodell

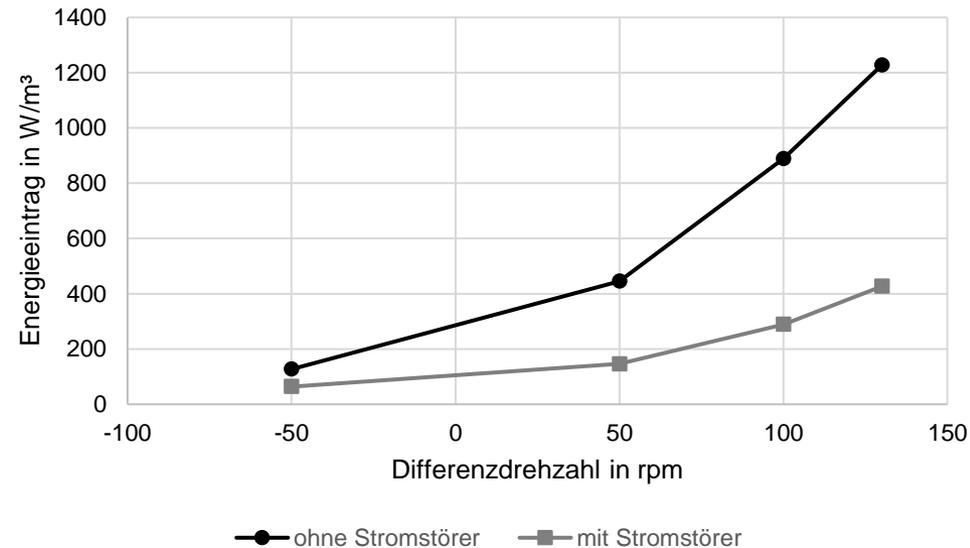
Ergebnisse - Reversierend: Einfluss der Wechseldynamik

- Einfluss der maximalen Drehzahl quadratisch
- Reversierende Betriebsweise kann Stromstörer ersetzen
- Bei asymmetrischem Wechsel näherungsweise quadratisch

Reversierend; Wechselfrequenz $0,1 \text{ s}^{-1}$

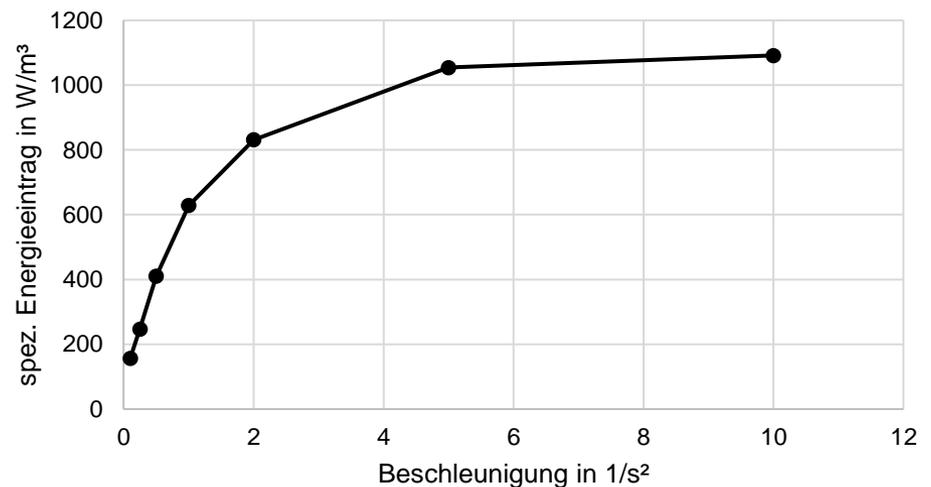
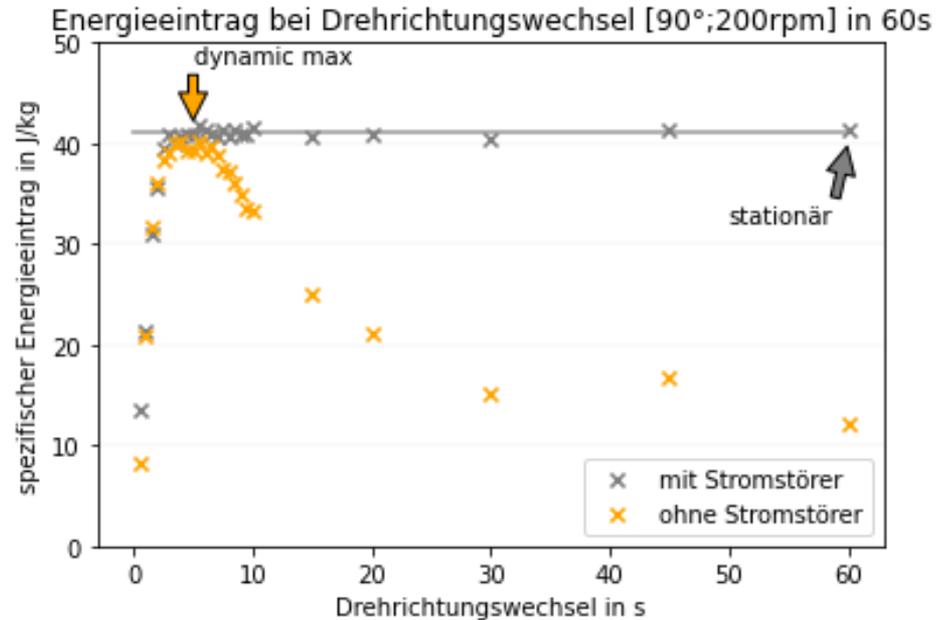


Startdrehzahl -100 rpm



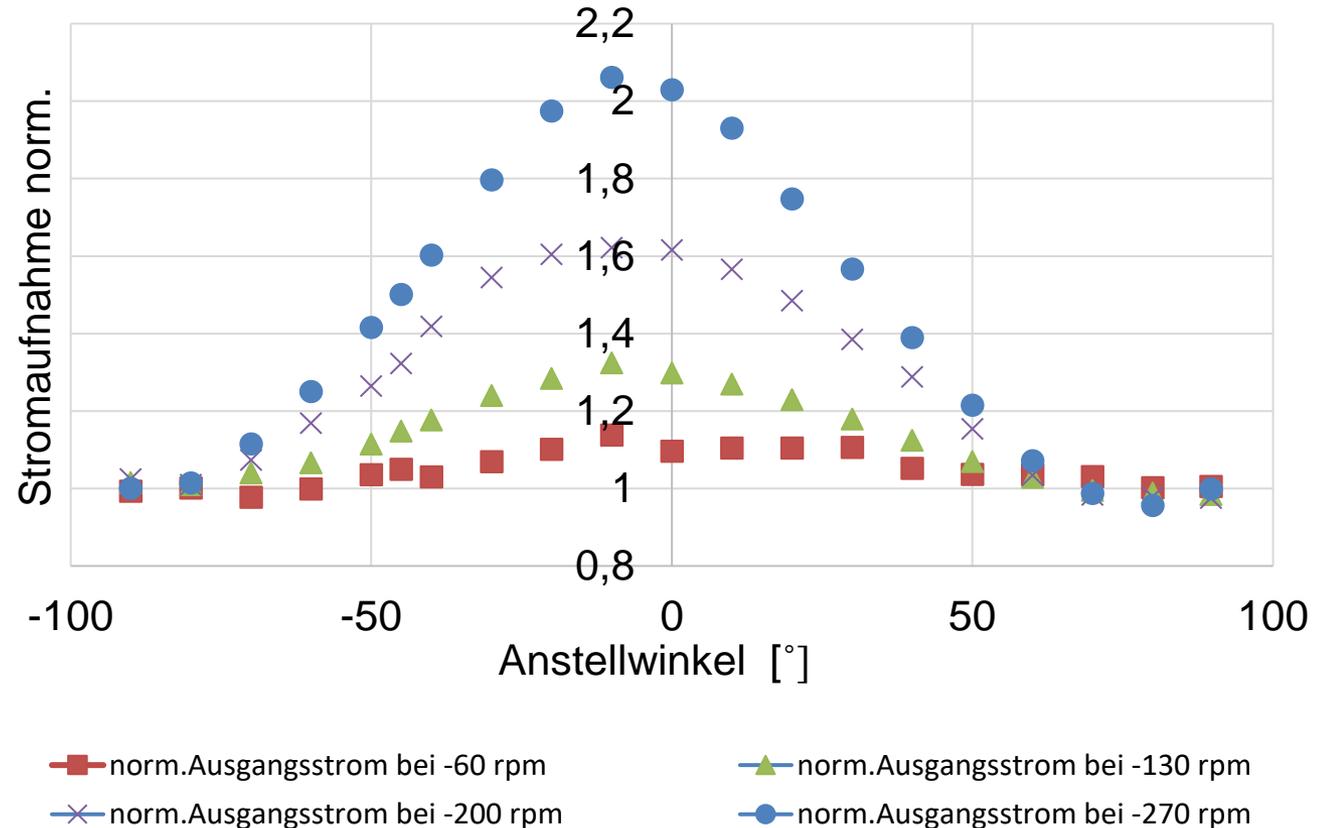
Ergebnisse - Reversierend: Einfluss der Wechseldynamik

- Leistungseintrag stark von Wechselfrequenz abhängig
- Reversierend keine Stromstörer notwendig
- Kein Einfluss der Beschleunigung auf die zugeführte Leistung oberhalb von 5 s^{-2}



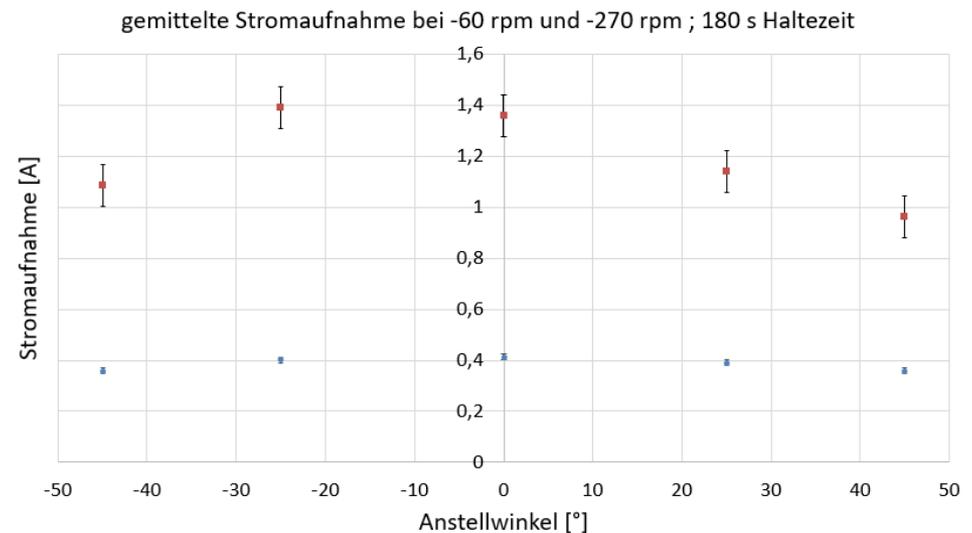
Ergebnisse - Anstellwinkel: Einfluss auf Leistungscharakteristik

- Einflussbereich Winkelstellung von Drehzahl abhängig
- max. Leistungsaufnahme bei max. Projektionsfläche
 - Scheibenrührer: 0°
 - Schrägblatt: $\pm 45^\circ$



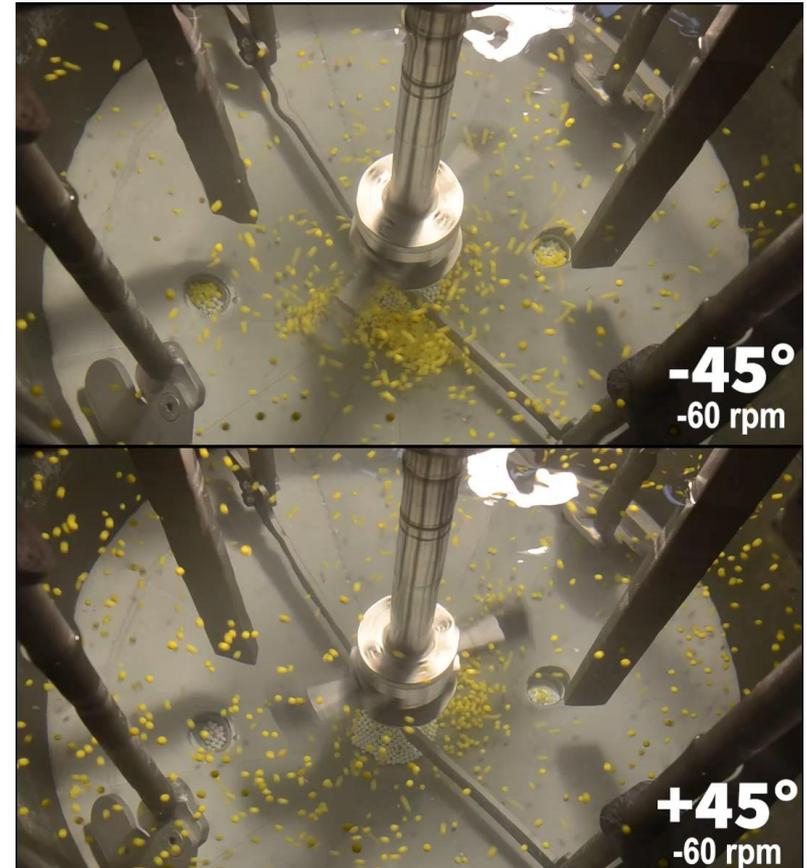
Ergebnisse - Anstellwinkel: Einfluss auf Leistungscharakteristik

- Nutzung dynamischer Anstellwinkel für automatische Findung Betriebspunkt
- 60 rpm: Korrelation zwischen Winkel und Leistungsdaten kaum erkennbar
 - Weitere visuelle Untersuchungen notwendig
- 270 rpm: Korrelation zwischen Winkel und Leistungsdaten messbar



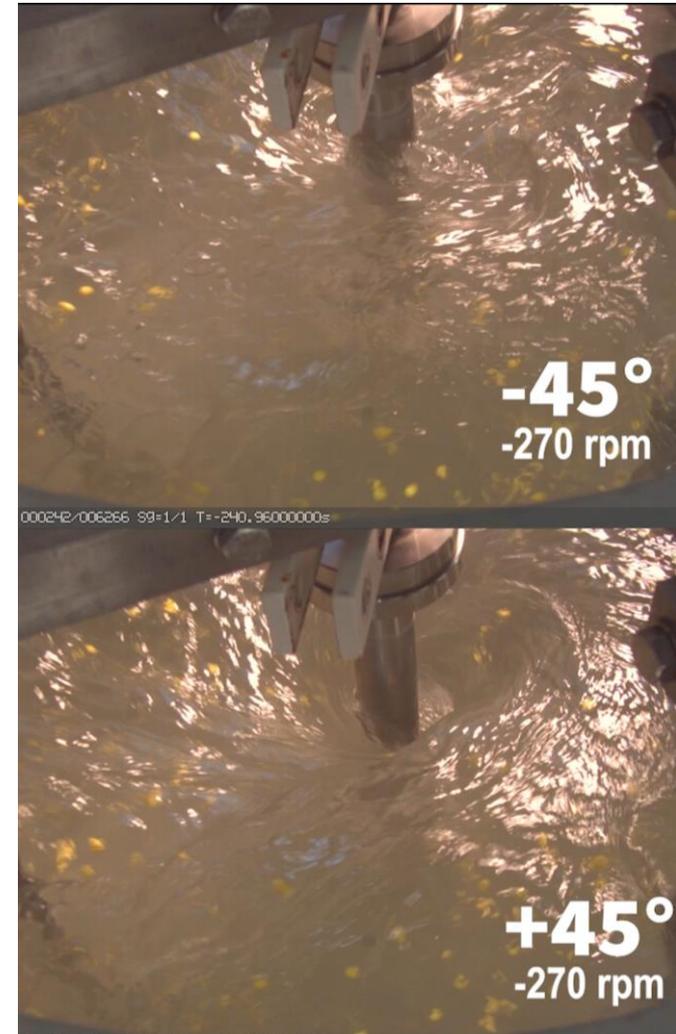
Ergebnisse - Anstellwinkel: Einfluss auf Strömungscharakteristik

- Einfluss unterschiedlicher Anstellwinkel auf Strömungsregime
- Sekundärströmung beeinflussbar
 - -45° radial nach außen gerichtet
 - Partikelansammlung in Bodenbereich
 - $+45^\circ$ radial nach innen gerichtet
 - Suspendierung im Bodenbereich



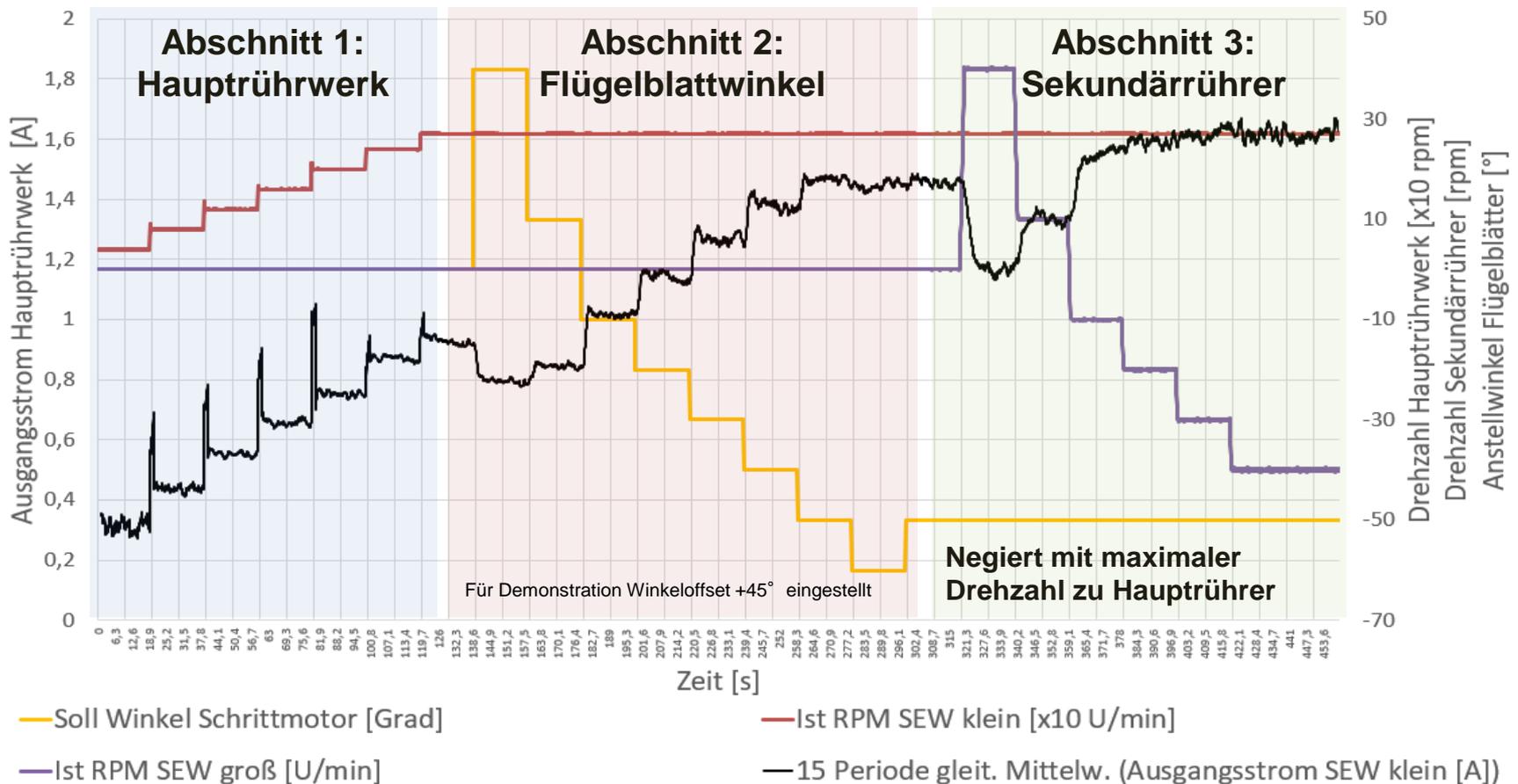
Ergebnisse - Anstellwinkel: Einfluss auf Strömungscharakteristik

- Demonstration des Einflusses unterschiedlicher Anstellwinkel
- Verhalten der Sekundärströmung beeinflussbar
 - -45° klares Strömungsprofil
 - $+45^\circ$ ausgeprägte Trombenbildung



Ergebnisse - Steuerung: Automatisierte Findung Betriebspunkt

- Variation der Freiheitsgrade bis Optimum erreicht ist



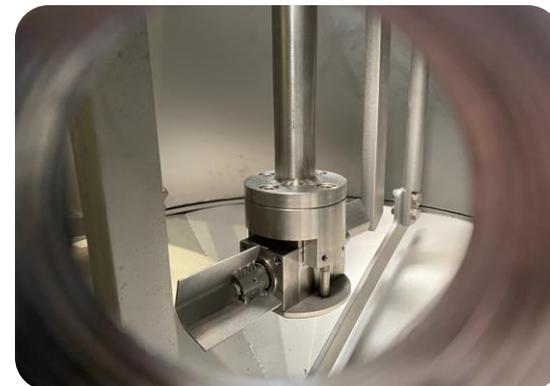
- Automatisierte Findung Optimum möglich

Schlussfolgerung

- Reversierende Mischtechnik
 - Erlaubt Vermeidung des Stromstörers

- Geometrische Variation des Rührorgans
 - Gezielte, dynamische Änderung von Strömungsregimen möglich

- Selbstoptimierende Findung des Betriebspunktes vielversprechend



Ausblick

- Untersuchung dynamischer Regime
 - Analyse unterschiedlicher Strömungsprofile
 - Suspendierung

- Suche nach Anwendungsfall für dynamische Mischtechnik, z.B.
 - starke Änderung der Viskosität
 - Änderung der Rühraufgabe, z.B. Suspendieren zu Dispergieren o.ä.

- Verbesserung der Steuerung
 - Mehrere Verfeinerungsdurchläufe
 - Nicht alle lokalen Maxima werden gefunden



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Fragen?

Oder Vorschläge für Prozesse, bei denen die dynamische Mischtechnik vorteilhaft sein könnte?

Wir danken dem BmWi für die Förderung im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand im Rahmen des Projekts: **Intelligente Mischtechnik** und der BTHA in Rahmes des Projektes: **Process optimization during production in chemical industry by artificial intelligence** (BTHA-JC-2022-8).