



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR DYNAMIK KOMPLEXER
TECHNISCHER SYSTEME
MAGDEBURG



PHYSIKALISCH-CHEMISCHE
GRUNDLAGEN
DER PROZESSTECHNIK

BIORAFFINERIETAG

Schlüsseltechnologien
für biobasierte Produkte und Kraftstoffe



LigniFrac: Ein neues Verfahren zur gezielten Molekulargewichtsfractionierung von gelösten Ligninen

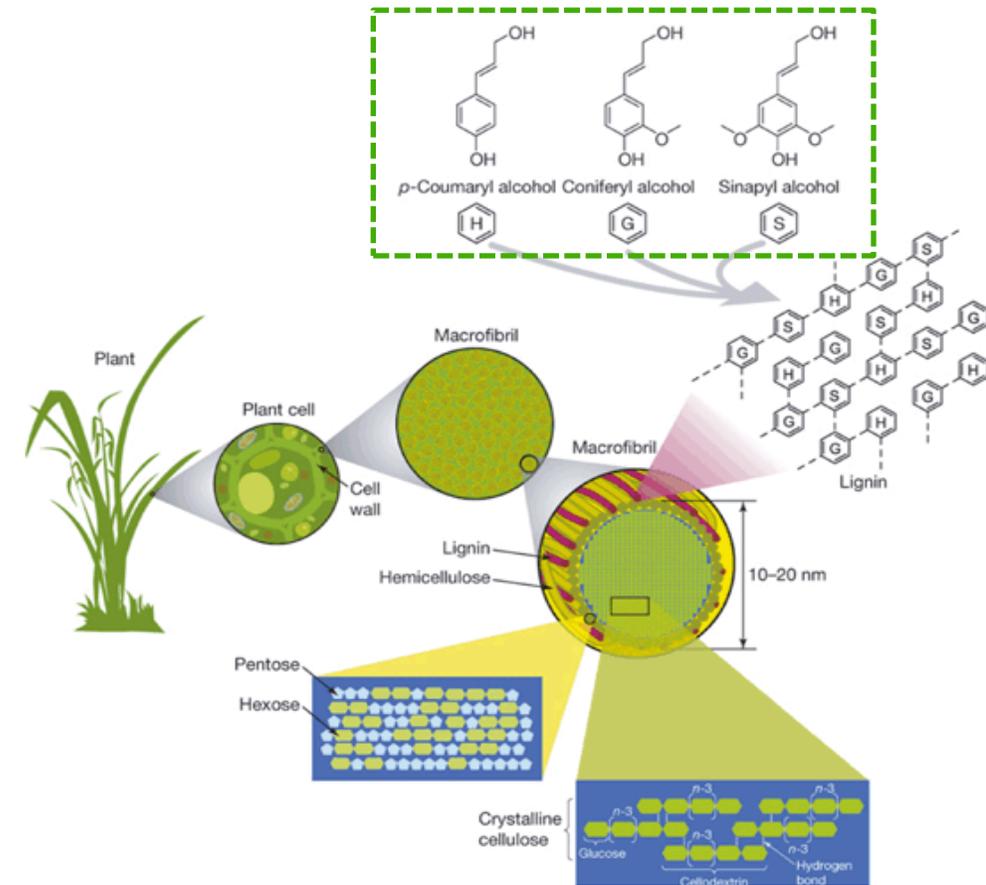
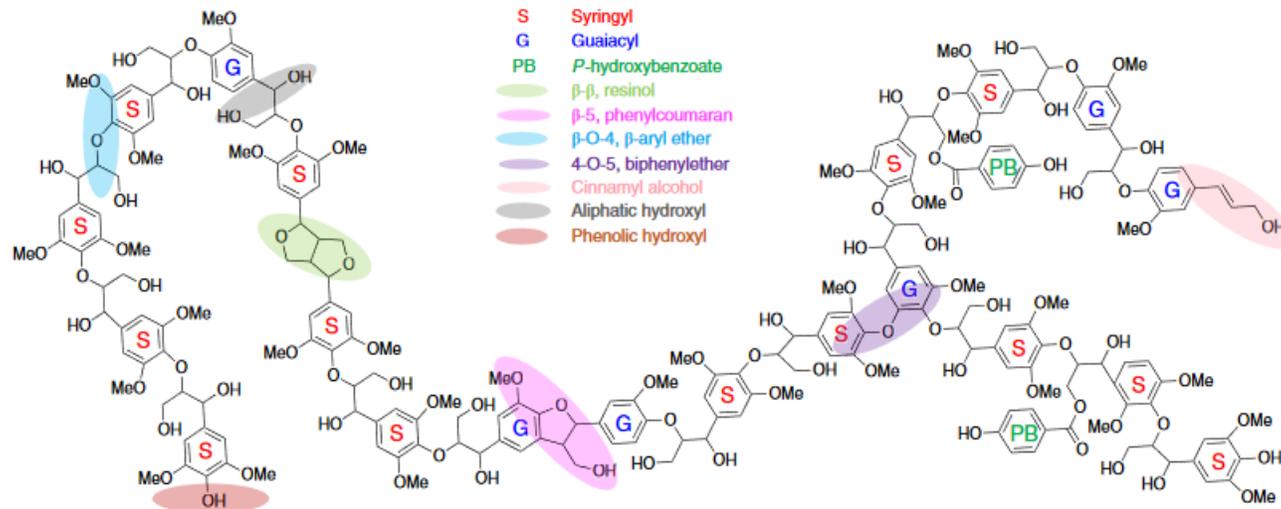
Arul Ponnudurai und Heike Lorenz

Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg



Lignine – eine Vielzahl von Molekülen

- Pflanzen bestehen hauptsächlich aus Zellulose, Hemizellulose und Lignin (bis zu 30 wt.%)
- Biopolymer aus **drei verschiedenen Monomereinheiten**
- Wichtigste natürliche Quelle aromatischer Moleküle
- Zellstoff-, Papierindustrie & Bioraffinerien
- Verschiedene Isolationsverfahren → technische Lignine (z.B. Kraft, Organosolv (OS), ...)
- Keine periodisch strukturierte Konfiguration → amorph & heterogen



[Wu et al., J. Clean. Prod., 283 (2021)]

[Meng et al., Nat. Protoc., 14 (2019)]



Hintergrund und Motivation

Motivation: breite Molekulargewichts- und Funktionsverteilung
Entwicklung eines einfachen, skalierbaren, kontinuierlichen Fraktionierungsverfahren zur Bereitstellung spezifischer Ligninklassen

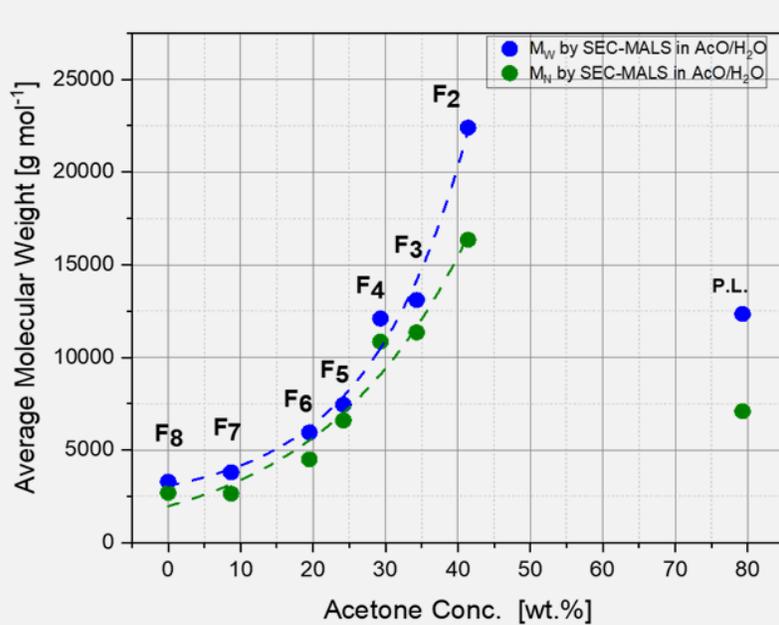
\$

Gezielte Ligninfraktionierung kann den Wert steigern:

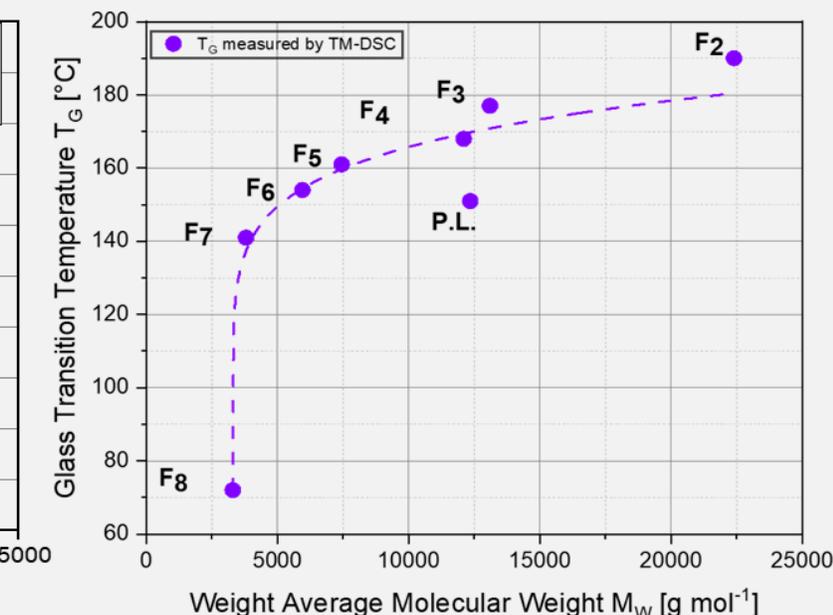
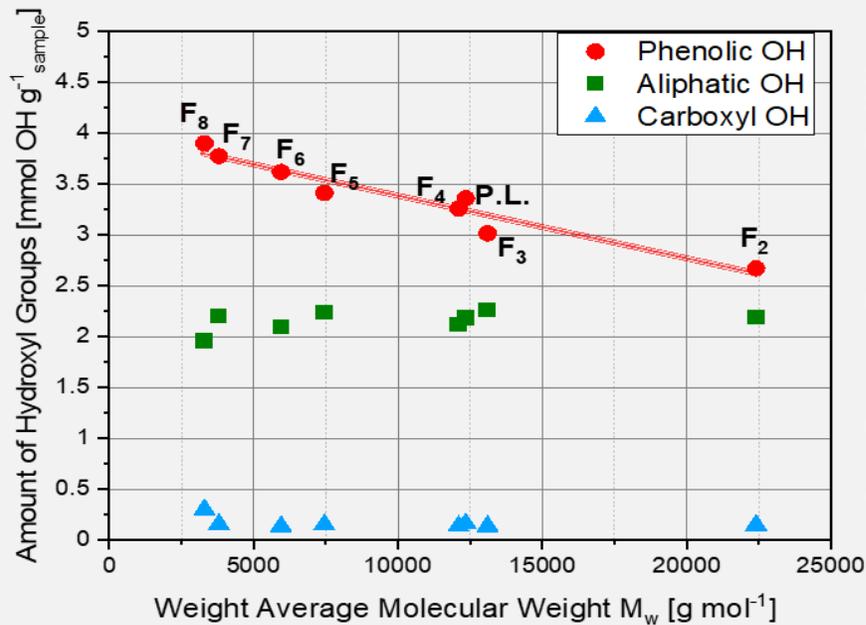
\$\$\$

- Hohes Molekulargewicht: ausgezeichnete Stabilität und hohe Faserstärke^[1]

In Aceton-Wasser-Systemen können Lignine durch Fällungsfractionierung mit Wasser als Antisolvent effektiv fraktioniert werden. Dadurch lassen sich die Eigenschaften für hochwertige Anwendungen optimieren.



[Ponnudurai et al., ACS Sustainable Chem. Eng., 11 (2023)]

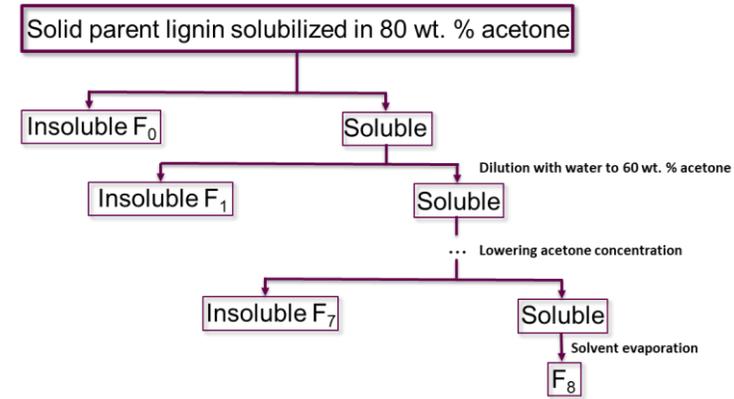
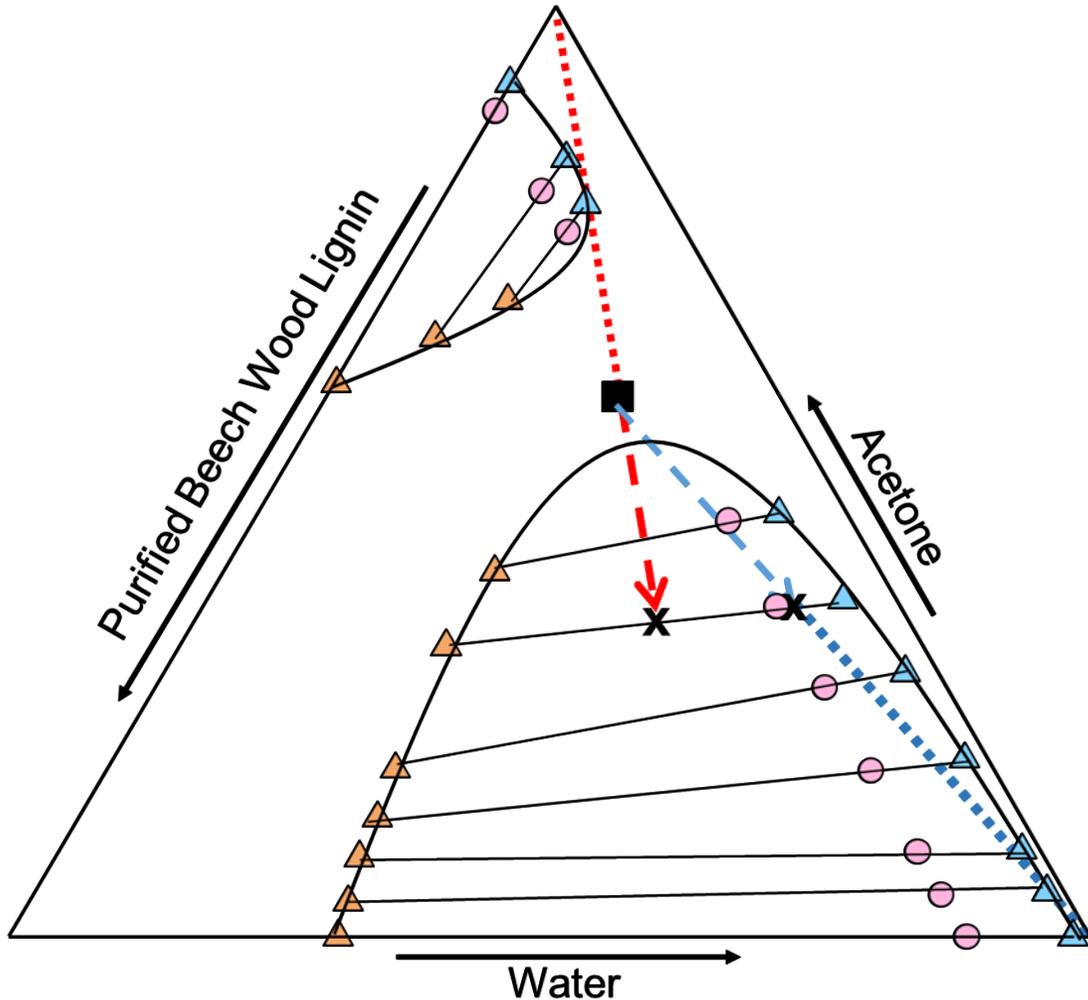


[Ponnudurai et al., Sep. Purif. Technol., 337 (2024)]



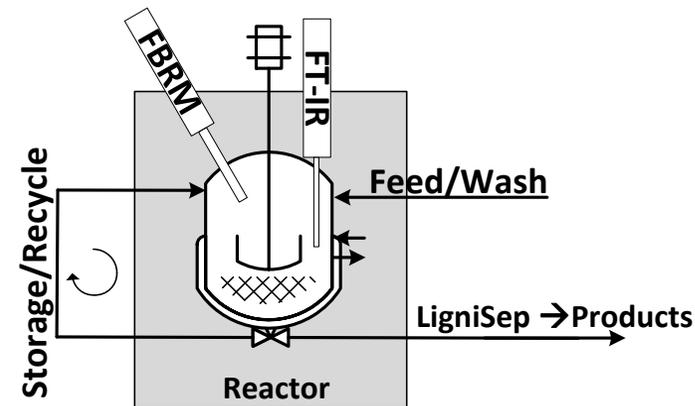
Trennstrategien für die Fraktionierung von Ligninen

(Schrittweise) Antisolvent Verdünnungsfractionierung



- Ligninkonzentration ↓
- Skalierbarkeit ?

(Schrittweise) Verdampfungsfractionierung



- Ligninkonzentration ↑
- Skalierbarkeit

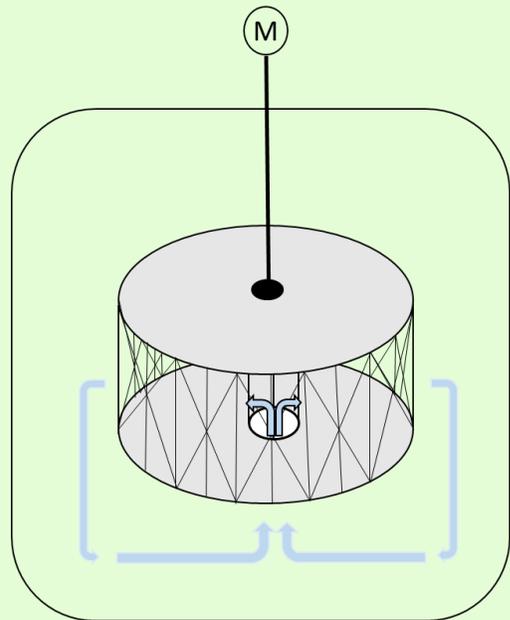
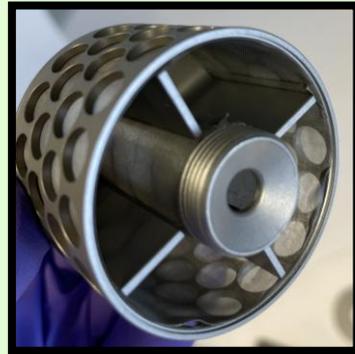


LigniFrac: Von der Prozessidee...

Zwei wichtige Kriterien, die bei einem skalierbaren Lignin-Fraktionierungsprozess zu berücksichtigen sind:

Variabilität der Präzipitatsphase (fest/flüssig)

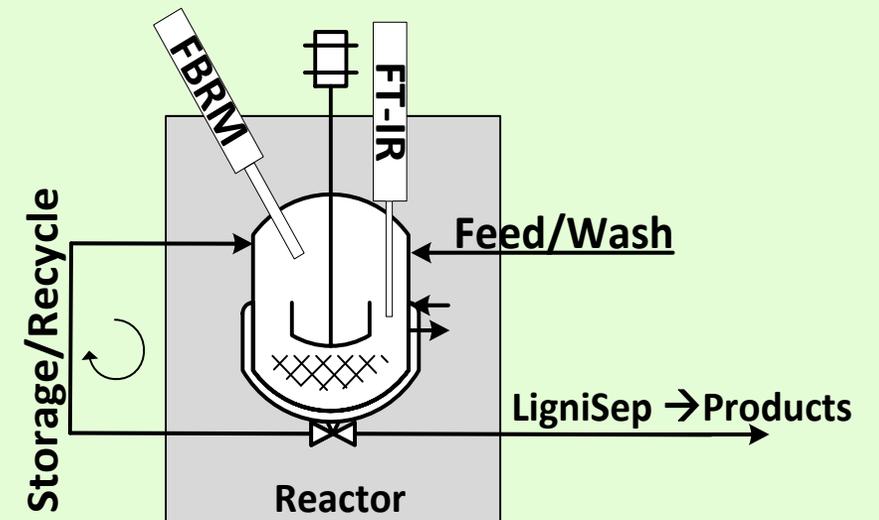
Reaktorkonfiguration, die einen hohen Zirkulationsfluss erzeugt, gekoppelt mit einer *In-situ*-Filtration zum Auffangen von Ligninausfällungen



[Ponnudurai et.al., J. Chem. Eng., 161113 (2025)]

Diskontinuierliche Prozessierung

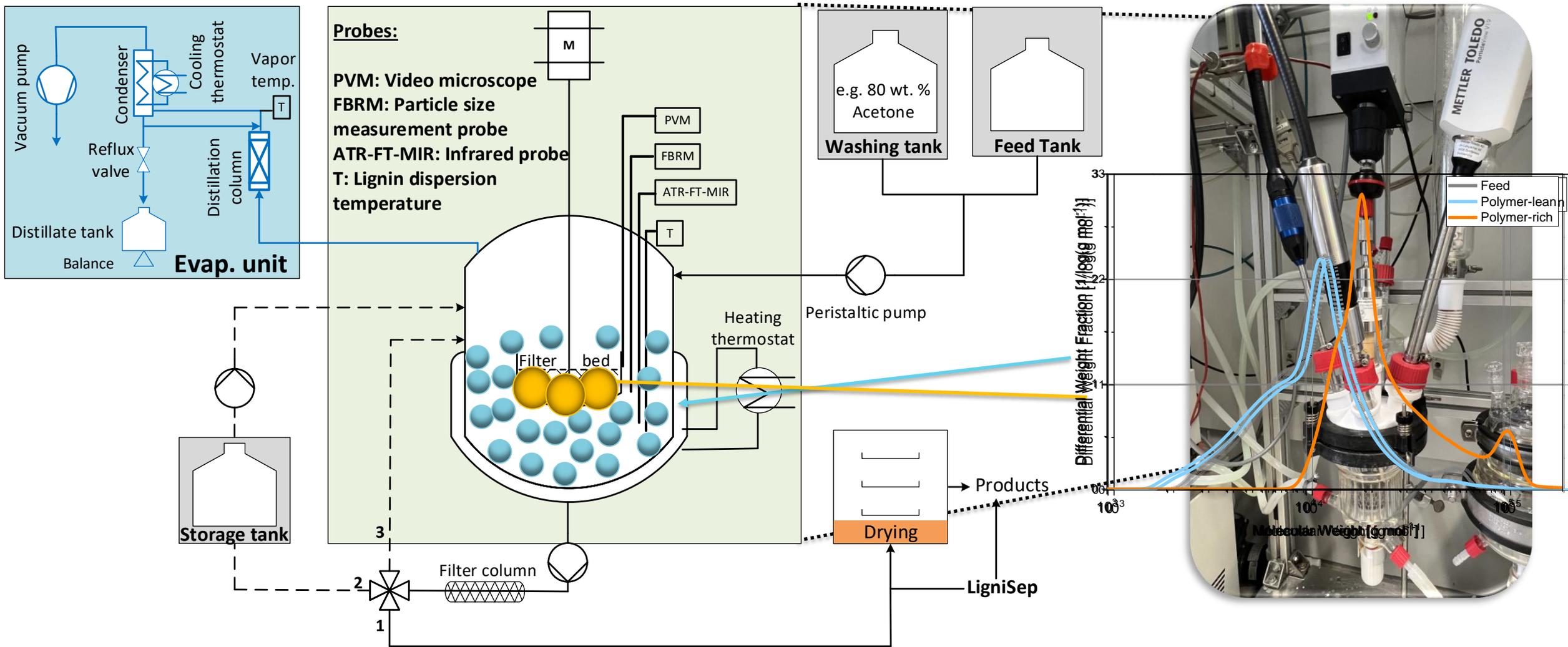
Durch den parallelen Einsatz von zwei Reaktoren wird eine kontinuierliche Prozessierung ermöglicht



1. Reaktor → Verdampfungsfraktionierung
2. Reaktor → Waschen/Trennen der Phasen



LigniFrac: ...zum Prozessdesign



[Ponnudurai et al., patent appl. filed EPO Nr. 24 207 411.0 from 18.10.24]



Fraktionierung mittels LigniFrac

1. Fraktionierungsschritt:

- „Blind“ (Phasentrennung mit bloßem Auge nicht erkennbar)
- Prozessüberwachung durch Inline-Sonden (FT-IR, FBRM & PVM)



2. Waschschritt:

- Zunächst folgt die Entnahme der polymerarmen Phase
- Einbringen des Waschsolvents und Auflösen der polymerreichen Phase





LigniFrac: Machbarkeitsstudie

Operation Modus

Batch

Acetonkonzentration im Feed

61,8 wt.%

Ligninkonzentration im Feed

3,1 wt.%

M_w des Feedlignins

13 350 g mol⁻¹

Acetonkonzentration in der polymerarmen Phase

44,3 wt.%

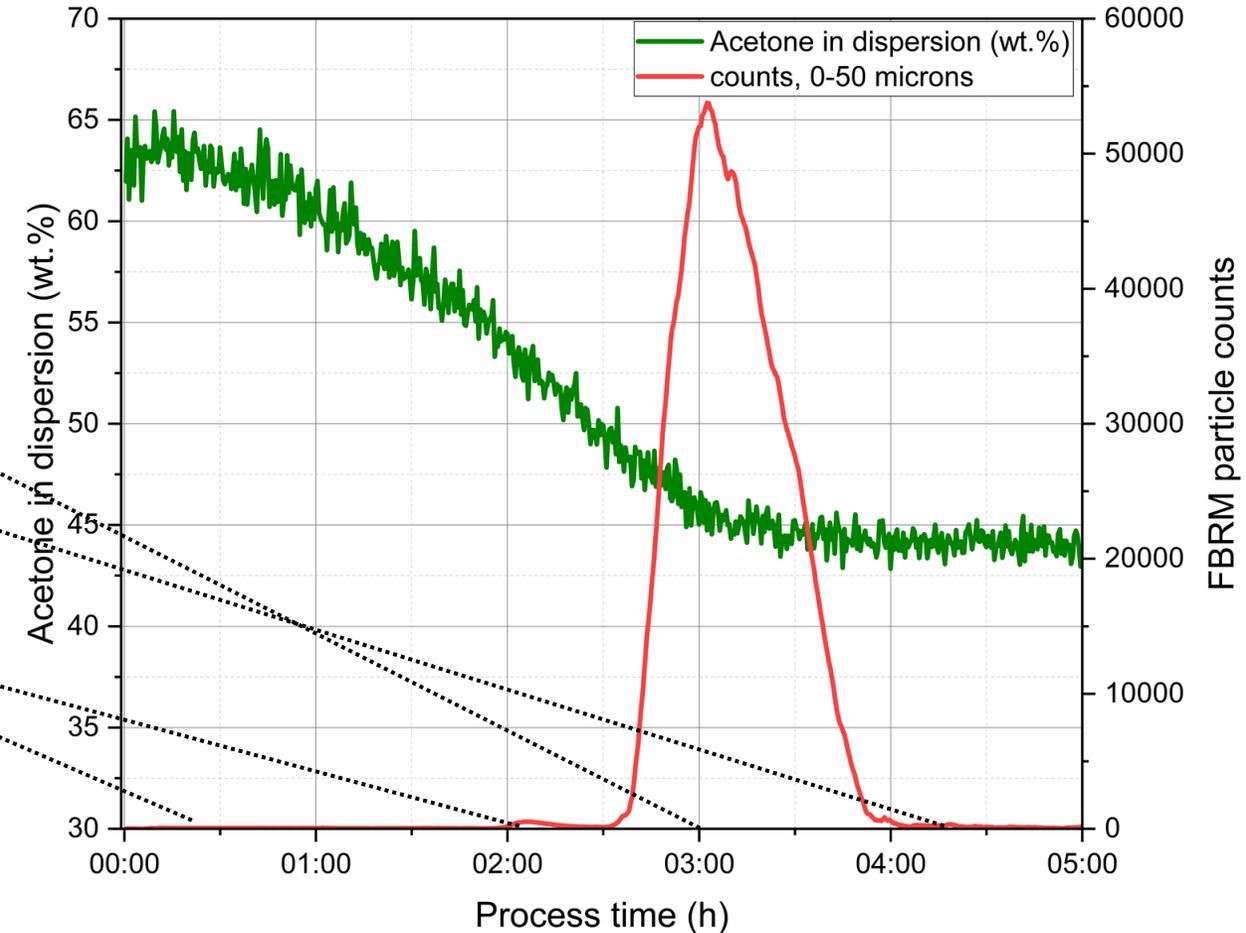
Enddruck

220 mbar

Acetonkonzentration im Destillat

95,5 wt.%

- Ausschließlich primäre Nukleation
- Partikelanzahl sinkt durch *In-situ*-Filtrationsstrategie
- Ende des Versuches: Keine Partikel mehr nachweisbar



[Ponnudurai et.al., J. Chem. Eng., 161113 (2025)]



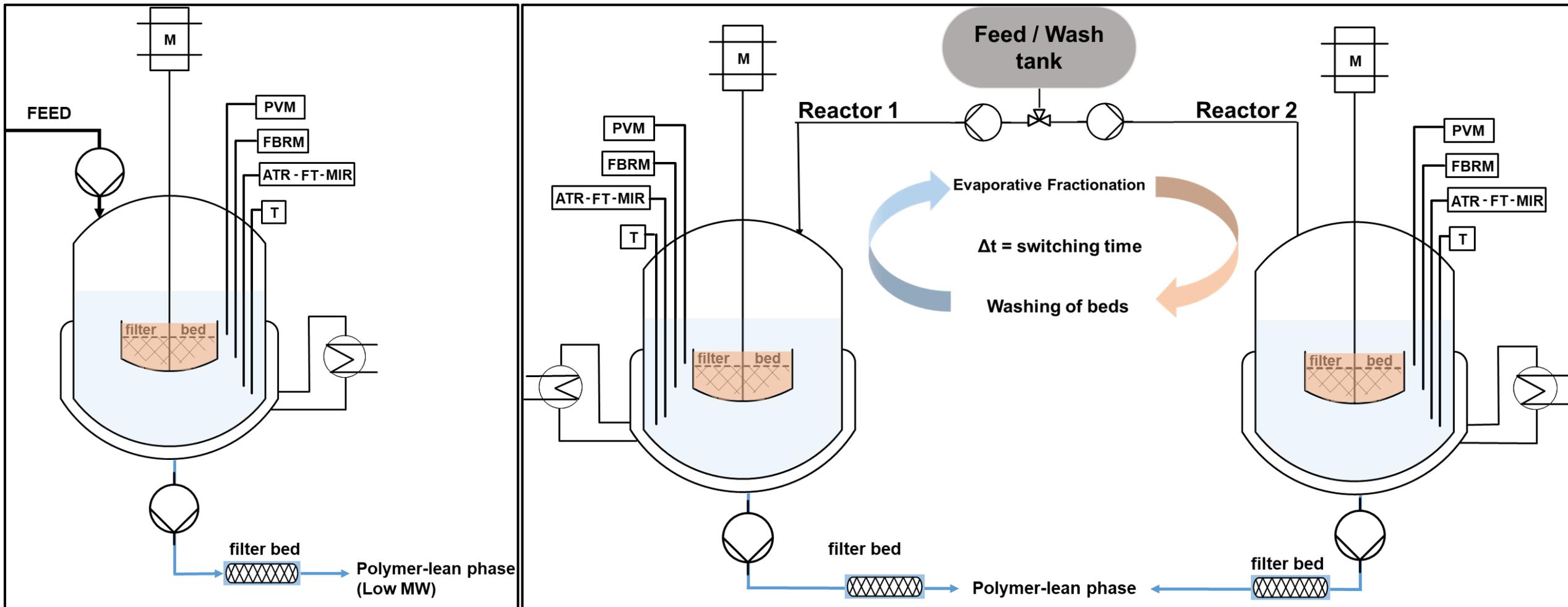
LigniFrac: Machbarkeitsstudie

Operation mode	Batch	Fed-batch	Feed	Equation: $m_{\text{feed, lignin}} = m_{\text{polyreich}} + m_{\text{polyarm}} + m_{\text{polyreactor}}$		
Acetonkonzentration im Feed	61,8 wt. %	63,2 wt. %	61,2 wt. %	54,9 wt. %		
Ligninkonzentration im Feed	3,1 wt. %	3,0 wt. %	3,0 wt. %	3.8 wt. %		
M_w des Feedlignins	13 350 g mol ⁻¹	13 900 g mol ⁻¹	13 350 g mol ⁻¹	Batch	Fed-batch	
				Recovery [%]	Recovery [%]	
				Polyreich	10,8	11,1
				Polyarm	87,4	86,8
				Polyreactor	1,4	0,9
Acetonkonzentration in der polymerarmen Phase	44,3 wt. %	43,4 wt. %	44,4 wt. %	Total Lignin	99,6	98,8
Enddruck	220 mbar	220 mbar	220 mbar	Global	93,4	94
Acetonkonzentration im Destillat	95,5 wt. %	96,2 wt. %	95,2 wt. %		97,4 wt. %	

	Batch	Kontinuierlich		Batch		Kontinuierlich	
	Recovery [%]	Recovery [%]		M_w [g mol ⁻¹]	T_G [°C]	M_w [g mol ⁻¹]	T_G [°C]
Polyreich	10,8	18,4					
Polyarm	87,4	80,5	151	13 350	151	13 600	152
Polyreactor	1,4	0,3	151	32 250	191	29 195	184
Total Lignin	99,6	99,2	152	12 400	142	12 720	137
Global	93,4	94					



Von semi- zu einer vollständig kontinuierlichen Strategie

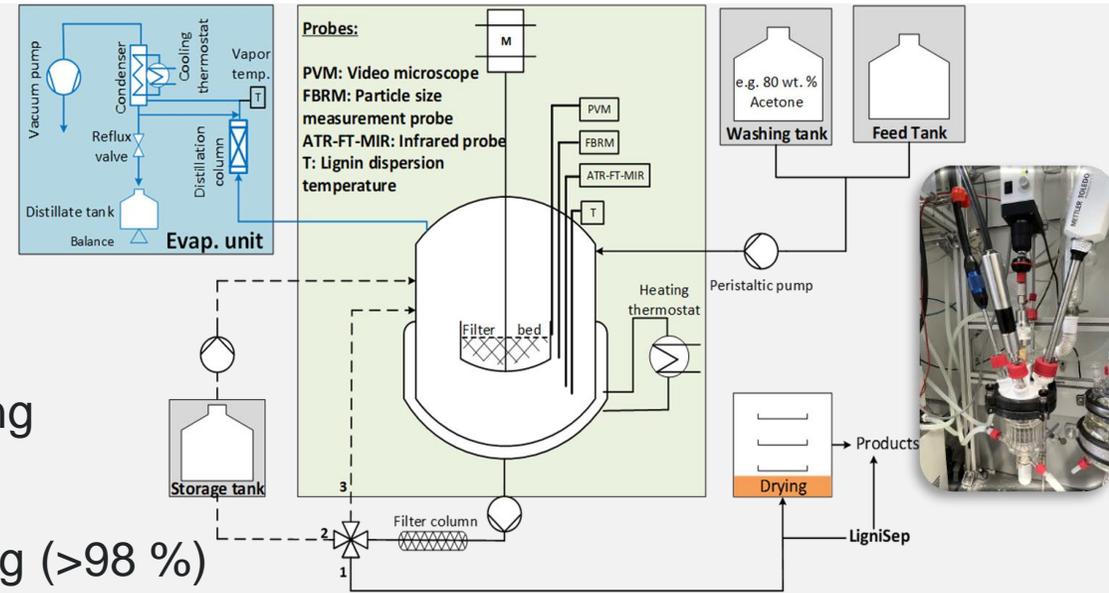


[Ponnudurai et.al., J. Chem. Eng., 161113 (2025)]



LigniFrac: Ein neuer Fraktionierungsansatz

- ✓ **Verdampfungsfraktionierung** stellt ein energetisch effizienteres Verfahren dar
- ✓ Kopplung zweier Reaktoren ermöglicht eine **kontinuierliche** Fahrweise
- ✓ **Simultane** Ligninfällung, Fraktionierung und LM-Rückgewinnung
- ✓ **Hohe Reproduzierbarkeit** bei verschiedenen Fahrweisen
- ✓ **Geringe Verkrustungen** (<1%) und hohe Massenwiederfindung (>98 %)
- ✓ **Robuste Methode zur gezielten Molekulargewichtsfractionierung von Ligninen**, auch auf andere (Bio-)Polymere anwendbar
→ Modulare Aufreinigungseinheit zur Aufwertung von Ligninströmen (z.B. in Bioraffinerieprozessen)



[Ponnudurai et.al., patent appl. filed EPO Nr. 24 207 411.0 from 18.10.24]
[Ponnudurai et.al., J. Chem. Eng., 161113 (2025)]

- ❖ **Fraktionierung direkt aus der Kochlauge**
- ❖ **Nächste Entwicklungsschritt: Skalierung des Verfahrens vom Labor- zum Technikumsmaßstab**



Danksagung



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR DYNAMIK KOMPLEXER
TECHNISCHER SYSTEME
MAGDEBURG

**Fragen &
Feedback**

“Learning is an experience. Everything else is just information.” Albert Einstein

Questions

Questions

Questions

Questions

Questions

Questions

Questions

LigniFrac: Ein neues Verfahren zur gezielten Molekulargewichtsfractionierung von gelösten Ligninen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit