



5. Bioraffinerietag „Schlüsseltechnologien zur Verarbeitung von Biomasse in biobasierte Produkte und Kraftstoffe“

Erzeugung biogener Aktivkohlen aus Rest- und Abfallstoffen

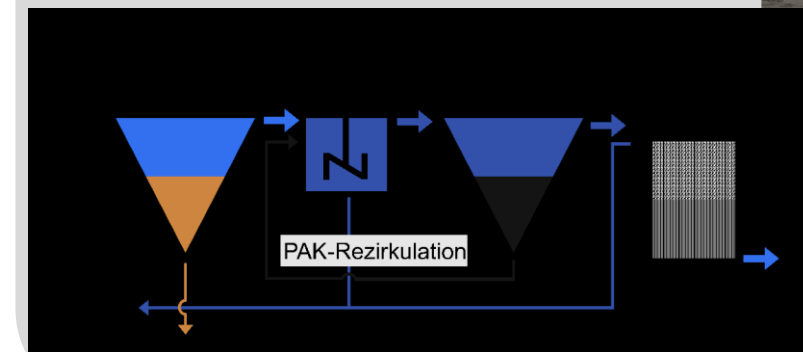
Korbinian Kaetzl¹, Hafiz Ali Raza¹, Antonia Deutscher¹, Abhilash Padhi¹, Matthias von Ahn¹, Kathrin Stenchly¹, Nele Siebert², Tobias Morck², Michael Wachendorf¹

¹Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel

²Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Universität Kassel

Ausgangssituation und Motivation

- Steigende Anforderungen an Natur- und Umweltschutz^[1]
 - Strengere Einleitgrenzwerte in aquatische Systeme
 - Abwasserbehandlung → Mikroschadstoffe^[2]
- Kläranlagen: 4. Reinigungsstufe
 - Entfernung von Mikroschadstoffen
 - Aktivkohle (adsorptiv) & Ozon (oxidativ)
- Aktivkohlen^[3]
 - Überwiegend Steinkohle
 - Bis zu $18 \text{ t}_{\text{CO}_2, \text{äq}} / \text{t}_{\text{AK}}$
 - Bedarf: ~41.000 t/a (D-A-CH)



^[1]BMUV/UBA 2022. Die Wasserrahmenrichtlinie – Gewässer in Deutschland 2021. Fortschritt und Herausforderungen

^[2]Europäische Kommission. Entwurf für eine neue Kommunalabwasserrichtlinie (https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-revised-urban-wastewater-treatment-directive_en)

^[3]Alt et al. (2016). DOI: 10.3242/kae2016.12.002

Ausgangssituation und Motivation

(Rest-) Biomassen für Aktivkohlen:

- Hohe Verfügbarkeit und geringe Nutzungskonkurrenz
- Eignung für thermo-chemische Verfahren
- Holz → ökologische Restriktionen

Grünlandbiomassen:

- Verfügbarkeit (D): ~4 Mio. $t_{DM}/a^{[1]}$
- Erhalt von Ökosystemleistungen → Landschaftspflege
- Problem:
 - Heterogen Zusammensetzung
 - Hoher Asche und Mineralstoffgehalt



^[1]Brosowski et al. (2019). DOI:10.1016/j.biombioe.2019.105275

Zielsetzung

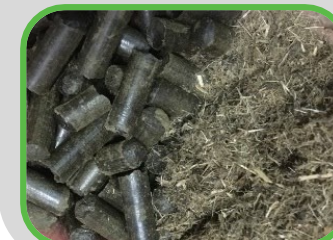
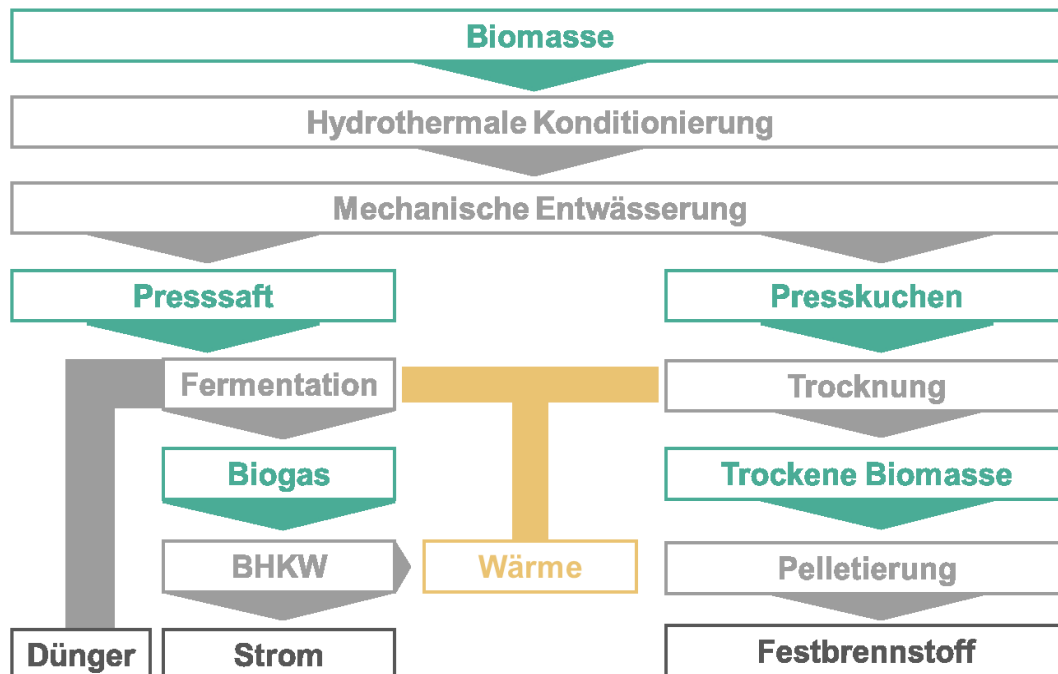
- Verwertung von biogenen Rest- und Abfallstoffen
- Optimierung der Biomasseeigenschaften
- Herstellung biogener Aktivkohlen
- Entfernung organischer Mikroschadstoffe aus Abwasser
- Ermittlung von Nachhaltigkeitspotenzialen
- Untersuchte Biomassen u.a.:
 - Maisstroh
 - Weintrester
 - Feuchtwiese
 - Streuobstwiese
 - Bioabfall



Biomassenaufbereitung

Integrierte Erzeugung von Festbrennstoff und Biogas aus Biomassen (IFBB-Verfahren)

- Überführung von Mineralstoffen in Flüssigphase
- Feste Phase → Pelletierung für Pyrolyse und Aktivierung
- Flüssigphase → Biomethan

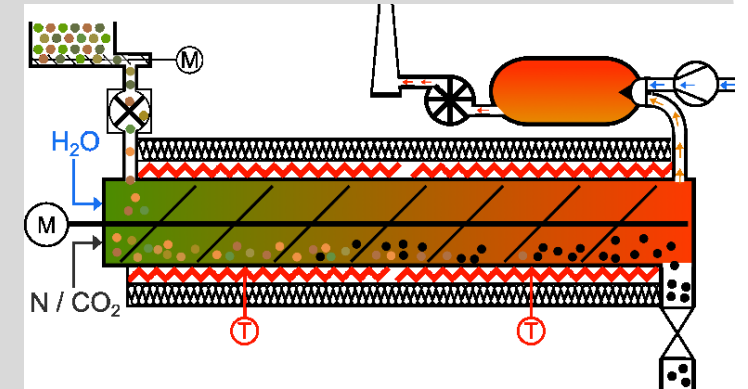


Aktivkohleherstellung und Spurenstoffuntersuchungen

- Biomasse: 6 mm Pellets (Feucht- und Streuobstwiese)
- Kontinuierlich betriebener Laborreaktor
- Pyrolysetemperatur: 900 °C
- Verweilzeit: ca. 25 min
- Aktivierungsmedium: H₂O
- Oxidationspotenziale (mol O pro mol C): 0 %, 50 % und 100 %
- Annahme: $C + H_2O \xrightarrow{900\text{ °C}} CO + H_2$

Adsorptionsversuche

- Abwasser aus Kressbronn-Langenargen
- Dosierung: 5, 10, 20 und 40 mg L⁻¹
- Zudotierung von Spurenstoffen → Nachweisgrenze



Aktivkohlecharakterisierung

	Einheit	Biomasse		Biogene Aktivkohlen						Konv. Aktivkohlen	
		Streu PK (Silage)	Feucht PK (Silage)	Streuobstwiese			Feuchtwiese			SAE	WP235
				0%	50%	100%	0%	50%	100%		
Asche	% TM	9,6 (19,4)	3,2 (5,4)								
C	% TM	45,9 (40,7)	49,4 (48,0)								
S	% TM	0,1 (0,09)	0,03 (0,18)								
Cl	% TM	0,05 (0,1)	0,02 (0,7)								
Konversionsrate	% TM										
Jodzahl	mg g ⁻¹										
SSA	m ² g ⁻¹										
Nitrobenzolzahl	mg L ⁻¹										
Mikroporenvolumen (< 2 nm)	m ³ g ⁻¹										
Mesoporenvolumen (2 – 28 nm)	m ³ g ⁻¹										
Gesamtporenvolumen (< 28 nm)	m ³ g ⁻¹										

Spurenstoffe

Gruppierung KomS-B Liste

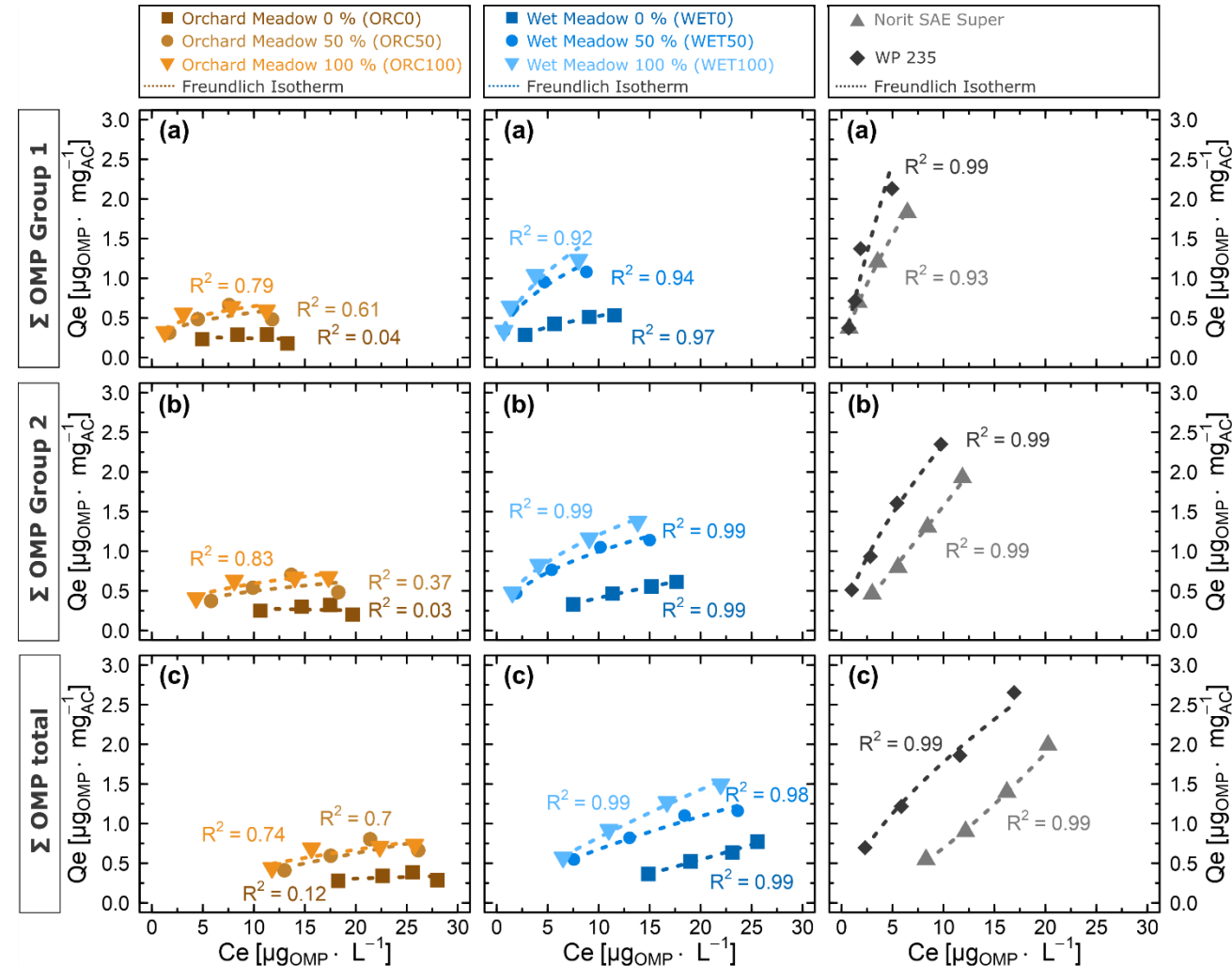
- **Gruppe 1:** Σ 4(5)-Methylbenzotriazol, Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac, Hydrochlorothiazid, Irbesartan, Metoprolol
- **Gruppe 2:** Gruppe 1 + Candesartan, Ibuprofen, Sulfamethoxazol
- **Gruppe 3:** Gruppe 2 + Amidotrizoesäure, Iopromid, Iomeprol, Iopamidol, Iohexol

Berechnung Freundlich und Langmuir Isothermen

Kalkulation erforderlichen Menge um 50% der Spurenstoffe zu reduzieren

Einflussfaktoren:

- $H_2O \uparrow \rightarrow m_{PAK} \downarrow$
- Asche $\uparrow \rightarrow m_{PAK} \uparrow$
- Spez. Oberfläche PAK \rightarrow kein/geringer Einfluss
- Porenvolumen PAK \rightarrow kein/geringer Einfluss



Spurenstoffentfernung

- Freundlich Isothermen
- Berechnung Dosierung
- Referenz: Norit
- CO₂-Bilanz:
 - Streuobstwiese 100 %
 - Feuchtwiese 100 %
 - Norit SAE Super
 - Chemviron WP235

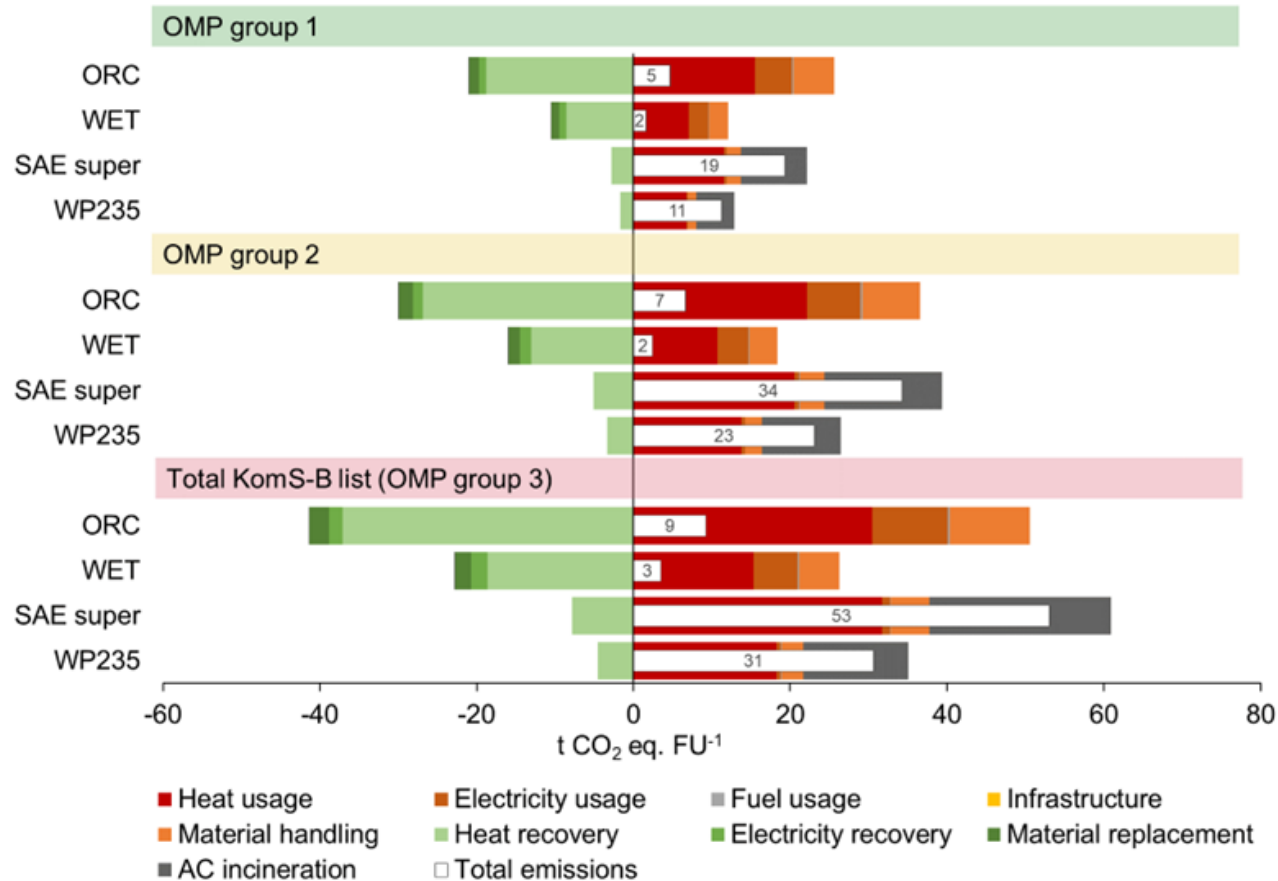
Adsorptionskapazität:

- Große Unterschiede
- Feuchtwiese → Vergleichbar mit konv. PAK

Gruppe	Koeffizienten	Biogene Aktivkohlen						Konv. Aktivkohlen	
		Streuobstwiese			Feuchtwiese			SAE Super	WP235
		0 %	50 %	100 %	0 %	50 %	100 %		
Gruppe 1: (MeBT, BTA, IBS, CBZ, DFN, MTP, HCT)	K _f	0.31	0.29	0.34	0.19	0.44	0.47	0.47	0.58
	n	-9.90	3.45	3.56	2.21	2.18	1.93	1.36	1.11
	p	0.81	0.22	0.11	0.01	0.03	0.04	0.01	0.04
	R ²	0.04	0.61	0.79	0.97	0.94	0.92	0.99	0.93
	PAK Bedarf (50% Entfernung) [mg L ⁻¹]	28.4	13.8	12.1	15.8	6.6	5.5	3.6	2.1
	Faktor (Bedarf)	7.9	3.8	3.4	4.4	1.8	1.5	1.0	0.6
Gruppe 2: (Gruppe 1 + IPF, CDS, SMX)	K _f	0.39	0.23	0.26	0.09	0.36	0.4	0.14	0.50
	n	-7.14	3.06	2.84	1.40	2.26	2.08	0.96	1.48
	p	0.82	0.39	0.09	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	R ²	0.03	0.37	0.83	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
	PAK Bedarf (50% Entfernung) [mg L ⁻¹]	37.1	20.6	17.3	24.5	10.2	8.4	6.4	4.4
	Faktor (Bedarf)	5.8	3.2	2.7	3.8	1.6	1.3	1	0.7
Gesamt (Gruppe 2 + ATA, IoHX, IoMP, IoPA, IoPR)	K _f	0.13	0.06	0.12	0.01	0.14	0.13	0.03	0.39
	n	3.52	1.26	1.77	0.75	1.44	1.26	0.69	1.53
	p	0.65	0.16	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	R ²	0.12	0.70	0.74	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99
	PAK Bedarf (50% Entfernung) [mg L ⁻¹]	52.4^a	30.0	26.2	40.6^a	16.7	13.2	12.0	6.5
	Faktor (Bedarf)	4.4^a	2.5	2.2	3.4^a	1.4	1.1	1	0.6

^aextrapolation since out of measuring range of isotherms (max. 40 mg L⁻¹)

CO2 Bilanz Aktivkohlen



Systemgrenzen:

- Herstellung, Einsatz und thermische Verwertung
- Biomassen: Kein Transport berücksichtigt
- Konv. AK: Steinkohle

Funktionelle Einheit:

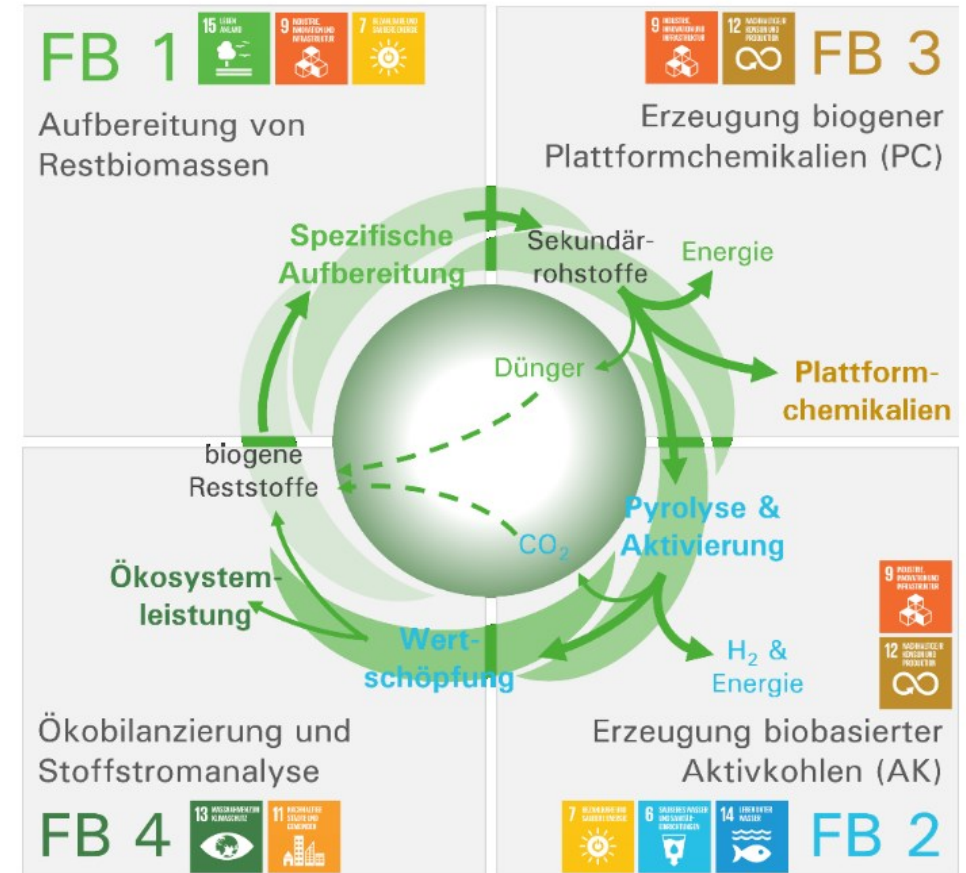
- Behandlung von 1.000 m³ Abwasser
- Reduzierung der Spurenstoffe um 50%

Fazit und Ausblick

- Biogene PAK kann konkurrenzfähig zu fossilen PAK sein
- Einfluss PAK auf Adsorptionsvorgänge unklar
- Identifizierung geeigneter Charakterisierungsparameter erforderlich
- Grünlandbiomassen eignen sich grundsätzlich für AK

Nächste Schritte:

- Optimierung der Biomasseaufbereitung → Ziel: Asche <5%
- Optimierung der Pyrolyse- und Aktivierungsparameter
- Charakterisierung der Pyrolysegase → H₂
- Erzeugung von Plattformchemikalien aus IFBB Presssaft





Erzeugung biogener Aktivkohlen aus Rest- und Abfallstoffen

Korbinian Kaetzl

kaetzl@uni-kassel.de

www.uni-kassel.de/go/kaetzl

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Bio⁴Act – Biogene Aktivkohlen und Plattformchemikalien aus Restbiomassen zur Implementierung einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie