



STADT  
LAND  
PLUS+

# RESTBIOMASSEN ZU AKTIVKOHLE AUFWERTEN – LOKALE POTENZIALE IDENTIFIZIEREN UND TESTEN

Andreas Ziermann, Hendrik Schwenson

GEFÖRDERT VOM





RESTBIOMASSEN ZU AKTIVKOHLE  
AUFWERTEN – LOKALE POTENZIALE  
IDENTIFIZIEREN UND TESTEN

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**FONA**  
Forschung für Nachhaltigkeit

Umwelt  
Bundesamt

INSTITUT  
**RAUM&  
ENERGIE**

STADTLAND

## AKTIVKOHLE ZUM EINSATZ IN KLÄRANLAGEN

Aktivkohle wird zunehmend in Kläranlagen eingesetzt, um Mikroschadstoffe wie Arzneimittelrückstände, Hormone oder Pestizide aus dem Abwasser zu filtern. Ein neuer Gesetzesvorschlag der EU-Kommission sieht gar vor, eine sogenannte „4. Reinigungsstufe“ in Zukunft flächendeckend einzuführen (BDEW 2022). Der überwiegende Anteil an handelsüblichen Aktivkohlen wird jedoch aus fossilen Kohlen erzeugt (Alt et al. 2016).

Könnte die steigende Nachfrage auch durch Aktivkohlen aus Restbiomassen bedient werden?

Jährlich fällt ein hoher Betrag von nicht oder nicht nachhaltig genutzten Reststoffen an. Das theoretisch verfügbare ungenutzte Biomasse-Reststoffpotenzial für Deutschland wird nach Abzug bereits existierender energetischer oder stofflicher Nutzung sowie verschiedenste Nutzungsrestriktionen (ökologisch, gesellschaftlich, wirtschaftlich) auf bis 30,9 Mio. t TM geschätzt (Brosowski et al. 2015).

Dabei geht es um Waldrestholz, landwirtschaftliche Reststoffe sowie Landschaftspflegeschnittmaterial von Hecken, Feldgehölzen, Wegebegleitgrün oder von Grünlandflächen. Allgemein wurde folgende Definition für Restbiomasse im CoAct-Projekt getroffen:

*„In dem Forschungsvorhaben CoAct wird der Begriff „Restbiomassen“ für alle pflanzlichen Rest- und Abfallstoffe verwendet, die bei Produktionsprozessen (z.B. dem Anbau landwirtschaftlicher Produkte) und der Erstellung von Dienstleistungen (z.B. der Flächen- und Landschaftspflege) in der Forschungsregion anfallen.“*



**Abbildung 1:** Weintrester fällt bei der Weinherstellung an und wird nur zum Teil sinngebend verwertet

Sowohl in der Stadt als auch in Kommunen des Landkreises und auf Landkreisstraßen gibt verschiedene kommunale Aufgaben, bei deren Erfüllung viele Restbiomassen anfallen. Beispielfhaft genannt seien hier die Pflege städtischer Grünflächen und Parks, der Grünflächen an kommunalen Liegenschaften, das Mähen und der Rückschnitt von Verkehrsbegleitflächen, die Pflege von Gewässerrandstreifen, von Kompensationsflächen, von Ausgleichs- und Landschaftspflegeflächen sowie von bereits erworbenem Bauerwartungsland. Eine gemeinsame Erfüllung dieser Aufgaben – sowohl wertgebende Biomasseverwertung als auch Abwasserreinigung für nachhaltigen Gewässerschutz - durch Stadt und Landkreis kann die Kosten für Maschinen und Geräte sowie Personal reduzieren und zu einer besseren Auslastung führen.

## AUSWAHL DER BIOMASSEN



**Abbildung 2:** Bei der Landschaftspflege z. B. mit einer Mähraupe fällt der Grasschnitt als Restbiomasse an.

Aufbauend auf der Definition für Restbiomassen hat CoAct in Kooperation mit verschiedenen Akteuren eine Liste mit pflanzlichen Rest- und Abfallstoffen in der Projektregion erstellt, die diese Voraussetzungen erfüllen und deren Eignung als potenzielle Substrate für die Aktivkohleproduktion im Folgenden im Rahmen des Forschungsprojekts untersucht wurden.

Die Auswahl erfolgte vor allem mit Blick auf den Bodenseekreis als Projektregion, berücksichtigt aber auch einige Biomassen, für die eine Übertragbarkeit der Projektergebnisse auf andere Regionen in Deutschland und in Mitteleuropa möglich ist.

**Tabelle 1:** Liste der Restbiomassen deren Eignung für die Aktivkohleherstellung untersucht werden soll:

Holzartige Reststoffe	Grasartige Reststoffe	Halmartige Reststoffe	Sonstige Reststoffe
Restholz von Hochstammpflegeschnitt	Straßenbegleitgrün	Landschaftspflegeschnitt von Streuwiesen	Hopfenpflanzenreste
Obstbäume (Rodung)	Grün- und Gartenabfälle	Landschaftspflegeschnitt von Feuchtwiesen	Weintrester
Wurzelstöcke von z.B. Apfelplantagen	Parkschnitt	Landschaftspflegeschnitt von Streuobstwiesen	Obsttrester
Holz aus Pflege von Fluss- und Seeufern	Sportplatz-Schnitt	Durchwachsene Silphie	Maische (Brennrückstand)
Schwemmholz		Getreidestroh	Obstkerne
Hecken- und Strauchschnitt		Maisstroh	Nusschalen
Restholz (Forst und sonst. Gehölze)			Algen
Holziges Straßenbegleitgrün			Klärschlamm

Die aufgeführten pflanzlichen Rest- und Abfallstoffe wurden systematisch auf ihre Verfügbarkeit für eine eventuelle Nutzung, technische Eignung, Wirtschaftlichkeit der Erfassung/Verarbeitung sowie auf die ökologischen und gesellschaftlichen Folgen einer möglichen Verwendung als Rohstoff für die Aktivkohleproduktion (z.B. zusätzliches Verkehrsaufkommen, ökologische Effekte des Verbleibs in der Landschaft, etc.) untersucht.

Im Laufe des Projektes konnte die Auswahl durch verschiedene Voruntersuchungen und Recherchen reduziert und zum Teil zusammengefasst werden, so dass folgende sieben Fokus-

Restbiomassen eingehender untersucht wurden. Dabei sollten Biomassen aller Strukturtypen (holziger, halmartiger und grasartiger) vertreten sein:

- + Maishäcksels
- + Strauchschnitt
- + Obstbaumschnitt
- + Streuwiesenschnitt
- + Straßenbegleitgrün
- + Weintrester
- + Hopfenhäcksels

## ERHEBUNG DES THEORETISCHEN POTENTIALS

Zur Bestimmung des theoretischen Potenzials der in der Projektregion verfügbaren Biomassen wurden fragebogenbasierte, mündliche und schriftliche Befragungen der zuständigen Mitarbeitenden der Kommunen (meist Bauhof-Leitungen) zum Mengenaufkommen und zur aktuellen Verwendung von Biomassen durchgeführt. In Arbeitssitzungen mit den größeren Kommunen und der Landkreisverwaltung vor Ort einschließlich ihrer Fachämter wurden weitere Schlüsselakteur:innen hinsichtlich Aufkommen, Transport und Nutzung von Restbiomassen identifiziert (= Biomasse-Akteur:innen). Diese wurden ergänzend zu den kommunalen Vertretungen befragt. Dazu wurde in Kooperation zwischen den Projektpartner:innen ein standardisierter Fragebogen entwickelt, der es ermöglicht, von einzelnen Akteur:innen gesteuerte Mengen nach technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Kriterien zu bewerten.

## TECHNISCHE UNTERSUCHUNG

Proben der identifizierten Restbiomassen wurden gesammelt und entsprechend des CoAct-Verfahrens zur Herstellung von Aktivkohlen untersucht:

Grasartige Biomassen wurden dazu siliert und mit dem erprobten Konzept zur Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB-Verfahren) vorbehandelt. Dazu wurden die Silagen zunächst gehäckselt, durchmischt und anschließend mit warmem Wasser gemischt. Anschließend wurde die angemischte Biomasse mechanisch entwässert. Dadurch wurden mineralische und organische Bestandteile, die sich negativ auf die Pyrolyse und Aktivierung auswirken würden, in den Presssaft überführt und der verbleibende Feststoffanteil pelletiert und zu Aktivkohle verarbeitet (Abbildung 3 und 4).



**Abbildung 3:** Hydrothermale Konditionierung



**Abbildung 4:** mechanische Entwässerung von Restbiomassen im IFBB-Technikkonzept

Holzige Biomassen konnten hingegen direkt pyrolysiert und aktiviert und damit zu Aktivkohle verarbeitet werden.



#### EXKURS: PYROLYSE VS. AKTIVIERUNG

Pyrolyse: erfolgt meist bei Temperaturen zwischen 400-700° C, unter Luftabschluss

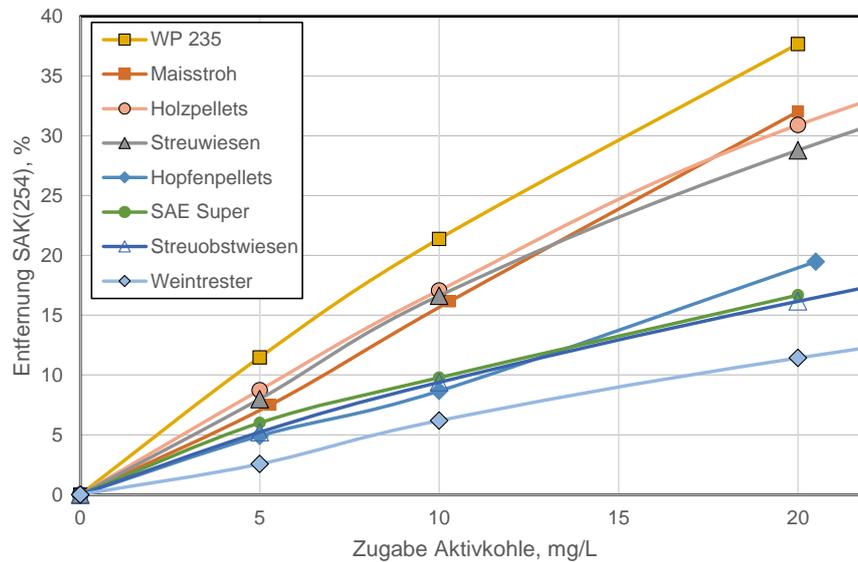
Aktivierung: benötigt Temperaturen ab ca. 850° C, + kontrollierte Oxidation, (meistens) durch Zugabe von Wasserdampf

>> Aktivkohle: sehr porös, hohe innere Oberfläche

Im Anschluss wurden diese Aktivkohleproben im Labormaßstab auf Ihre Reinigungsleistung untersucht, d.h. wie viele (Mikro- und Makro-)Poren bei der Pyrolyse und Aktivierung der einzelnen Biomassen entstehen und wie gut diese Schadstoffe aus dem Wasser aufnehmen und fixieren können.

Als Kennwert für die Reinigungsleistung ist im folgenden Schaubild die Verringerung („Entfernung“) des Parameters „Spektraler Absorptionskoeffizient bei einer Wellenlänge von 254 nm“ (SAK-254) im Abwasser durch die Zugabe verschiedener Sorten von Aktivkohle dargestellt. Der Wert erfasst den Gehalt organischer Stoffe im Abwasser und misst damit auch in Gewässern

unerwünschte Verunreinigungen, wie etwa Arzneimittelwirkstoffe. Eine hohe Entfernung und damit hohe Reduzierung des Gehalts organischer Stoffe bedeutet eine gute Reinigungsleistung.



**Abbildung 5:** Entfernungsleistung bezüglich SAK(254) verschiedener CoAct-Kohlen

Dafür wurde über drei konventionelle Reinigungsstufen gereinigtes Abwasser – wie es in Kläranlagen üblicherweise in den Vorfluter, bzw. falls vorhanden, die 4. Reinigungsstufe geht – mit unterschiedlichen Mengen der getesteten Aktivkohlen versetzt und anschließend die Entfernung der organischen Belastung anhand des Parameters SAK-254 ermittelt. Als Referenzwert wurde hierbei die so ermittelte Reinigungsleistung der konventionellen Aktivkohle „Norit SAE-Super“ untersucht. Die erzielte Reinigungsleistung der biogenen Aktivkohlen hängt stark von verschiedenen Parametern wie der Aktivierungstemperatur und der -dauer ab. Es konnten in Laborversuchen gute und zum Teil sehr gute Ergebnisse mit den biogenen Aktivkohlen erzielt werden.

## ÖKOBILANZ

Welche ökologischen Vorteile würde die Aktivkohle aus Restbiomassen bringen, wenn sie anstatt von handelsüblichen, fossilen Produkten produziert und im Klärwerk eingesetzt würde?

Zum Vergleich dieser komplexen Systeme wird für die ökologische Bewertung das Instrument der Ökobilanzierung herangezogen. Dafür werden Emissionen und Ressourcenverbräuche aus den Prozessen aufsummiert.

Bei den meisten betrachteten Biomassen findet auch im Status Quo schon eine Verwendung statt, wodurch Nutzen und Lasten generiert werden, die mitbilanziert werden müssen, um eine Nutzengleichheit zwischen den zu vergleichenden Systemen im Status Quo und dem CoAct-Szenario zu erreichen (Abbildung 6). Bei der CoAct-Variante findet eine weitergehende Behandlung mit entsprechenden Lasten statt. Dadurch wird als höchste Veredelungsstufe Pulveraktivkohle produziert, die die Produktion einer bestimmten Menge konventioneller Aktivkohle auf Basis fossiler Kohle mit entsprechenden Lasten substituieren kann. Nach der Nutzung in der Abwasserreinigung wird die Pulveraktivkohle über die Klärschlammbehandlungskette ausgetragen und schlussendlich über die Monoverbrennung mit beseitigt.

Die Emissionen aus der Monoverbrennung der biogenen CoAct-Aktivkohle und derjenigen auf fossiler Basis unterscheiden sich. Daher wird die Monoverbrennung im Bilanzrahmen mit abgebildet.

Behandlungsschritte, in denen sich Status-Quo und CoAct-Variante bei den jeweils betrachteten Biomassen nicht unterscheiden, können aus dem Bilanzrahmen gekürzt werden, weil nur der Unterschied zwischen Status-Quo und CoAct-Variante ökologisch bewertet werden soll. Dies ist oft der Fall für Erntevorgänge.

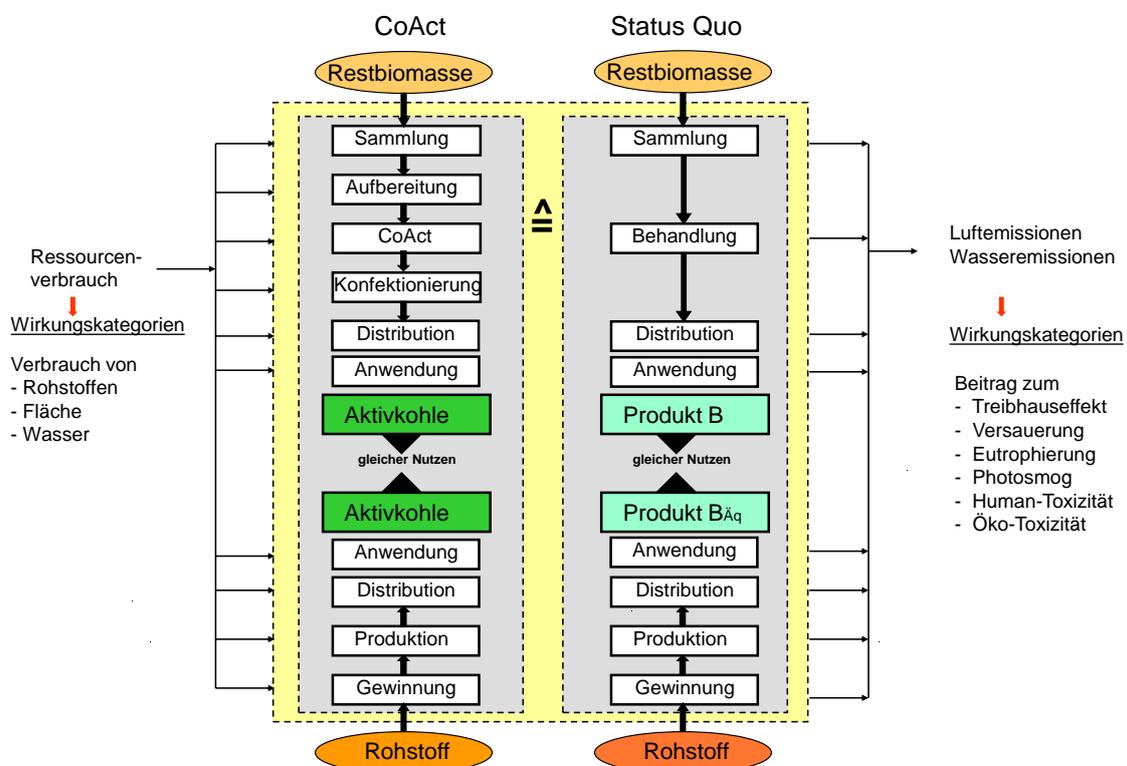


Abbildung 6: Bilanzrahmen für die Ökobilanz des CoAct-Szenarios (links) und des Status-Quo (rechts)

## FAZIT

Die Forschungsergebnisse zeigen, dass aus regionalen Restbiomassen hochwertige Aktivkohle für den Einsatz in der vierten Klärstufe produziert werden kann.

Die durch die CoAct-Aktivkohle erzielten Eliminationsleistungen liegen durchaus im Bereich von handelsüblichen Aktivkohlen. Somit kann das CoAct-Technikkonzept sowohl zu einer Substituierung von konventionellen Aktivkohlen, als auch zu einem nachhaltigen Gewässerschutz beitragen.

Eine Evaluierung des CoAct-Technikkonzeptes unterstreicht den ökologischen Mehrwert einer Verwertung von regionalen Restbiomassen durch das CoAct-Verfahren. In Relation zu dem aktuellen Verwertungsstatus der untersuchten Restbiomassen und unter Berücksichtigung einer Substituierung von Aktivkohle auf Steinkohlebasis durch regionale CoAct-Aktivkohlen, kann für alle untersuchten umwelt- und klimarelevanten Parameter eine deutliche Verbesserung nachgewiesen werden.

Die verschiedenen Untersuchungsergebnisse wurden in einer sogenannten Entscheidungsmatrix aufgetragen. Sie soll den Akteuren der Projektregion dabei helfen, die verfügbaren Restbiomassen über die verschiedenen Kriterien zu bewerten und zu entscheiden, welche zur großtechnischen Produktion von Aktivkohle in Zukunft genutzt werden könnten bzw. sollten.

Somit kann das Konzept dazu beitragen, Synergien bei der Verwertung von Reststoffen verschiedener Gebietskörperschaften zu heben. Mit den regional gewonnenen und verarbeiteten Reststoffen kann ein Beitrag zum nachhaltigen Gewässerschutz in der Region geleistet werden.

## LITERATUR

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2022): *EU-Kommission veröffentlicht neue kommunale Abwasserrichtlinie*. Online verfügbar über: <https://www.bdew.de/wasser-abwasser/eu-kommission-veroeffentlicht-neue-kommunale-abwasserrichtlinie/> (zuletzt geprüft 20.01.2023).

Alt, Klaus; Benstöm, Frank; Biebersdorf, Norbert; Böhler, Marc; Bornemann, Catrin; Hiller, Christian et al. (2016): Aktivkohleeinsatz auf kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung. Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.6 "Aktivkohleeinsatz auf Kläranlagen". In: KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall (12), S. 1062–1067. DOI: 10.3242/kae2016.12.002.

Brosowski, André; Adler, Philipp; Erdmann, Georgia; Stinner, Walter; Thrän, Daniela; Mantau, Udo (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen. Status Quo in Deutschland. Gülzow-Prüzen.