

# ANWENDUNGSPOTENZIALE EINER PYROLYSETECHNOLOGIE IN LÄNDLICHEN REGIONEN

Ergebnisse des Forschungsprojektes InterPyro



**Bodenverbesserung durch Pflanzenkohle  
und energetische Nutzung von Nebenprodukten**

Ein InterPyro-Praxisleitfaden



**INTERPYRO**

Ernährung | Klima | Biodiversität

## IMPRESSUM

### **Stadt Wolmirstedt**

August-Bebel-Straße 25  
39326 Wolmirstedt  
Tel. +49 (0)39201 626  
info@stadtwolmirstedt.de

### **Gemeinde Barleben**

Ernst-Thälmann-Straße 22  
39179 Barleben  
Tel. +49 (0)39203 565 - 0  
office@barleben.de

### **Fraunhofer UMSICHT**

An der Maxhütte 1  
99237 Sulzbach-Rosenberg  
Tel. +49 (0)9661 815 540  
info-suro@umsicht.fraunhofer.de

### **Fraunhofer IMWS**

Walter-Hülse-Straße 1  
06120 Halle (Saale)  
Tel. +49 (0)345 558 90  
info@imws.fraunhofer.de

### **Energieavantgarde Anhalt e.V.**

Lelitzer Straße 27b  
06366 Köthen  
Tel. +49 (0)340 516 8844  
info@energieavantgarde.de

### **Hochschule Anhalt**

Strenzfelder Allee 28  
06406 Bernburg (Saale)  
Tel. +49 (0)3471 355 - 0  
info@hs-anhalt.de

### **RKW Sachsen-Anhalt GmbH**

Werner-Heisenberg-Straße 1  
39106 Magdeburg  
Tel. +49 (0)391 736 190  
info@rkw-sachsenanhalt.de

---

### **Gestaltung**

Werbeagentur athoc  
Monplaisir 1  
38304 Wolfenbüttel  
Tel. +49 (0)5331 804 249 - 0  
info@athoc.de

---

Erschienen im Juni 2023

Titelbild:  
Stadt Wolmirstedt

Bildnachweis:  
www.mitteldeutsches-bildarchiv.de

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**REGION.**  
innovativ

# Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Vorwort . . . . .  | 4  |
| Was können Sie von diesem Leitfaden erwarten? . . . . .              | 6  |
| Grundlegendes zur Pflanzenkohle . . . . .                            | 8  |
| Grundlegendes zum TCR®-Verfahren . . . . .                           | 10 |
| Die TCR®-Anlagen im Überblick . . . . .                              | 12 |
| In neun Schritten zur Anwendung von TCR®-Pflanzenkohle . . . . .     | 14 |
| Schritt 1: Bestimmung der Biomassepotenziale . . . . .               | 14 |
| Schritt 2: Stakeholderanalyse . . . . .                              | 16 |
| Schritt 3: Standortsuche, Anlagenkonzipierung und –planung . . . . . | 18 |
| Schritt 4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. . . . .                   | 20 |
| Schritt 5: Festlegung eines Betreibermodells . . . . .               | 22 |
| Schritt 6: Finanzierung und Förderung . . . . .                      | 24 |
| Schritt 7: Anlagenbau . . . . .                                      | 26 |
| Schritt 8: Anlagenbetrieb und Produktzertifizierung . . . . .        | 28 |
| Schritt 9: Einsatz der Pflanzenkohle zur Bodenverbesserung . . . . . | 30 |
| Zu guter Letzt: Eindrücke aus der Projektlaufzeit . . . . .          | 32 |
| Zusammenfassung und Ausblick . . . . .                               | 34 |
| Lese- und Linktipps. . . . .   | 35 |

## Vorwort

Die Herausforderungen in strukturschwachen Regionen sind vielseitig: der Strukturwandel muss gemeistert werden, Klimaziele umgesetzt und gleichwertige Lebensverhältnisse gesichert werden. Ein Schlüssel zum Erreichen dieser Ziele ist die zirkuläre Wertschöpfung. Sie trägt zu mehr Ressourcen- und Energieeffizienz bei und hat positive Effekte auf die ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Entwicklung einer Region. Sie erfordert jedoch auch die enge Zusammenarbeit verschiedener Akteure.

Im Rahmen der zweiten Förderrunde von REGION.innovativ verband das Forschungsvorhaben InterPyro

**Interkommunale Anwendung der Pyrolyse-technologie mit Biomasseabfällen als Ausgangsstoff zur CO<sub>2</sub>-negativen Energiegewinnung und Bodenverbesserung im ländlichen Raum**

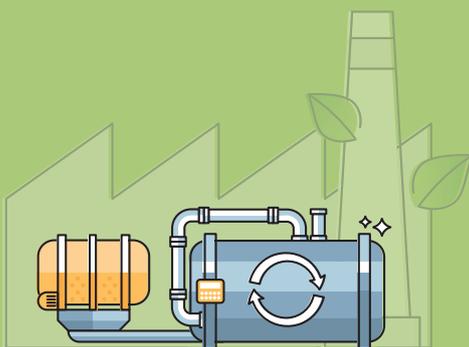
Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Wertschöpfung mit Klimaschutz und fokussiert die interkommunale Zusammenarbeit.

Die Erreichung der Klimaziele erfordert neben einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen auch die Anwendung CO<sub>2</sub>-negativer Technologien, wie beispielsweise die des Thermokatalytischen Reformings® (TCR®). Die durch Pyrolysetechnologien erzeugten Pflanzenkohlen und speziell im Rahmen dieses Projektes in den Boden eingebrachte TCR®-Pflanzenkohle trägt dabei nicht nur zur Bodenverbesserung bei, sondern bindet darüber hinaus CO<sub>2</sub> in Form von Kohlenstoff über relativ lange Zeiträume.

Im Projektverlauf wurden speziell die bodenverbessernden Effekte und damit verbundene Mehrwerte auf landwirtschaftlichen Flächen (Feldversuche im Projekt erzeugter Pyrolyse-Substrate) erfasst und bewertet. Es erfolgte die Bilanzierung der Umwelteinflüsse der neuartigen Wertschöpfungspfade sowie die breite Untersuchung des Akzeptanzverhaltens gegenüber der neuartigen TCR®-Technologie, um die Voraussetzungen für deren weitere Verbreitung zu verbessern.

Schließlich wurden intensive Bemühungen unternommen, um die hochinnovative TCR®-Technologie mit Hilfe eines Betreiberkonsortiums in der Region zu verankern und die gewonnenen Erkenntnisse und vielversprechenden Ergebnisse des Projektes regional nutzbar zu machen. Dieser Werdegang in Form von neun Schritten ist im Folgenden beschrieben, wobei betont werden soll, dass die einzelnen Schritte nicht voneinander trennbar sind bzw. sich bedingen und in vielen Fällen auch parallel verlaufen.

Wir hoffen, in Ihnen das Interesse für diese Zukunftstechnologie zu wecken sowie an einer Umsetzung interessierten Akteuren einen generellen Überblick über die Herangehensweise zur Realisierung einer TCR®-Anlage sowie dem Einsatz von TCR®-Pflanzenkohle als Bodenverbesserer zu skizzieren.



Im Projekt InterPyro wurde als thermochemische Umwandlungstechnologie das vom Fraunhofer UMSICHT entwickelte Thermo-katalytische Reforming (TCR®) betrachtet. Es soll an dieser Stelle ausdrücklich betont werden, dass auch andere Pyrolysetechnologien anwendbar sind, zu ähnlichen Ergebnissen führen können und zur Erzeugung von Pflanzenkohle und Energieträgern bereits im industriellen Maßstab eingesetzt werden. Die Tatsache, dass in diesem Handlungsleitfaden die TCR®-Technologie im Fokus steht, ist dem Umstand geschuldet, dass im Projekt InterPyro aus Kapazitätsgründen ausschließlich diese Technologie und die damit hergestellten Pflanzenkohlen untersucht wurden. Dieser Umstand soll aber keineswegs eine Wertung hinsichtlich anderer Technologien darstellen und ist vom Projektteam InterPyro auch nicht beabsichtigt.



“Um unsere landwirtschaftlich geprägte Region zukunftsfähig aufzustellen, sind ebenso innovative wie nachhaltige Ideen gefragt. Aus diesem Grund habe ich es sehr begrüßt, bei einem Modellprojekt wie InterPyro mitwirken zu können. Auch die Mitarbeiter:innen der Stadtverwaltung haben das Projekt nach Kräften unterstützt.

Die Umsetzung der Projektergebnisse in eine gemeinschaftlich betriebene TCR®-Anlage würde ich als Meilenstein für die kommunale Klimastrategie sehen, zumal sich aus den Recherchen zum BMBF-Forschungsprojekt vielversprechende Aussichten für der Einsatz der TCR®-Technologie im Landkreis Börde ergeben haben. Außerdem bietet sie die Chance, um durch ein Betreiberkonsortium regional weiter zusammenzuwachsen.“

Marlies Cassuhn,  
Bürgermeisterin Stadt Wolmirstedt

“Wir sind in unserer täglichen Arbeit mit den direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels konfrontiert, seien es anhaltende Dürreperioden, Starkregen oder die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung. Hinzu kommen Themen wie die steigenden Energiekosten. Als Projektpartner des Modellprojekts InterPyro haben wir die Chance, in Tuchfühlung mit der Wissenschaft einen nachhaltigen Mehrwert für unsere Region zu generieren und einen vielversprechenden Ansatz mehr, um die Weichen für eine lebbare Zukunft zu stellen.“

Frank Nase,  
Bürgermeister Gemeinde Barleben



## Was können Sie von diesem Handlungsleitfaden erwarten?

Dieser Leitfaden wurde im Rahmen des Forschungsprojektes InterPyro als Handlungshilfe für einen grundlegenden Einblick über den theoretischen Hintergrund der Themen TCR®-Technologie und Bodenverbesserung mit Pflanzenkohle erstellt und soll dem Leser einen Überblick über den Weg zum Aufbau einer TCR®-Anlage bis hin zum Einsatz der Pflanzenkohle als Bodenverbesserer geben. Dabei fließen sowohl Projekt-Know-How aus InterPyro (Zeitstrahl des Projekts s.u.) als auch zahlreiche Erfahrungen aus Gesprächen mit einer Vielzahl interessierter Akteure aus dem Landkreis Börde (Sachsen-Anhalt) ein.

Auf den folgenden Seiten wird zunächst ein grundlegendes fachliches Know-how zu den Themen Pflanzenkohle und TCR®-Technologie vermittelt. Für z. B.

- Landwirte,
- Betreiber von Biogasanlagen,
- Abfallbetriebe,
- aber auch kommunale Stadtwerke sowie
- interessierte Privatpersonen,

bieten sie einen grundlegenden theoretischen Einstieg.

Im Anschluss wird in einer ersten Grobabschätzung der Weg aufgezeigt, das wirtschaftliche Potenzial einer TCR®-Anlage für eine Region bestimmen zu können und die einzelnen Stufen der Umsetzung über den Betrieb inklusive Produktzertifizierung bis hin zur Einbringung der beladenen Pflanzenkohle in den Boden beschrieben. Am Beispiel der Region Börde (Sachsen-Anhalt) wird der Prozess dieser ersten Machbarkeitsstudie aufgezeigt und erklärt.

Die Ausführungen richten sich an:

- Kommunen,
- landwirtschaftliche Verbände
- o. a. interessierte Akteure,

die sich mit der Idee tragen, ihre Region vor dem Hintergrund einer Kreislaufwirtschaft und nachhaltigen Wertschöpfung zukunftsfähiger zu machen und mit Hilfe einer innovativen Technologie einen Meilenstein zu setzen.

### Projektplan InterPyro





Bild vom Planspiel im Rahmen des 3. Reallabors InterPyro (28.09.2022). Quelle: RKW.



**April 2022**  
Start der Versuchs-  
fläche Hecklingen



**8. Juni 2022**  
Beladung der Pflanzenkohle  
in Wolmirstedt

**23. Juni 2022**  
Bepflanzung der Versuchs-  
fläche in Wolmirstedt



**September 2022**  
Ernte Silomais  
(Bernburg / Strenzfeld)



**28. September 2022**  
3. Reallabor



**15. März 2023**  
4. Reallabor



**28. Juni 2023**  
Abschlussveranstaltung

**31. Juli 2023**  
Projektende



# Grundlegendes zur Pflanzenkohle

## Was ist Pflanzenkohle?

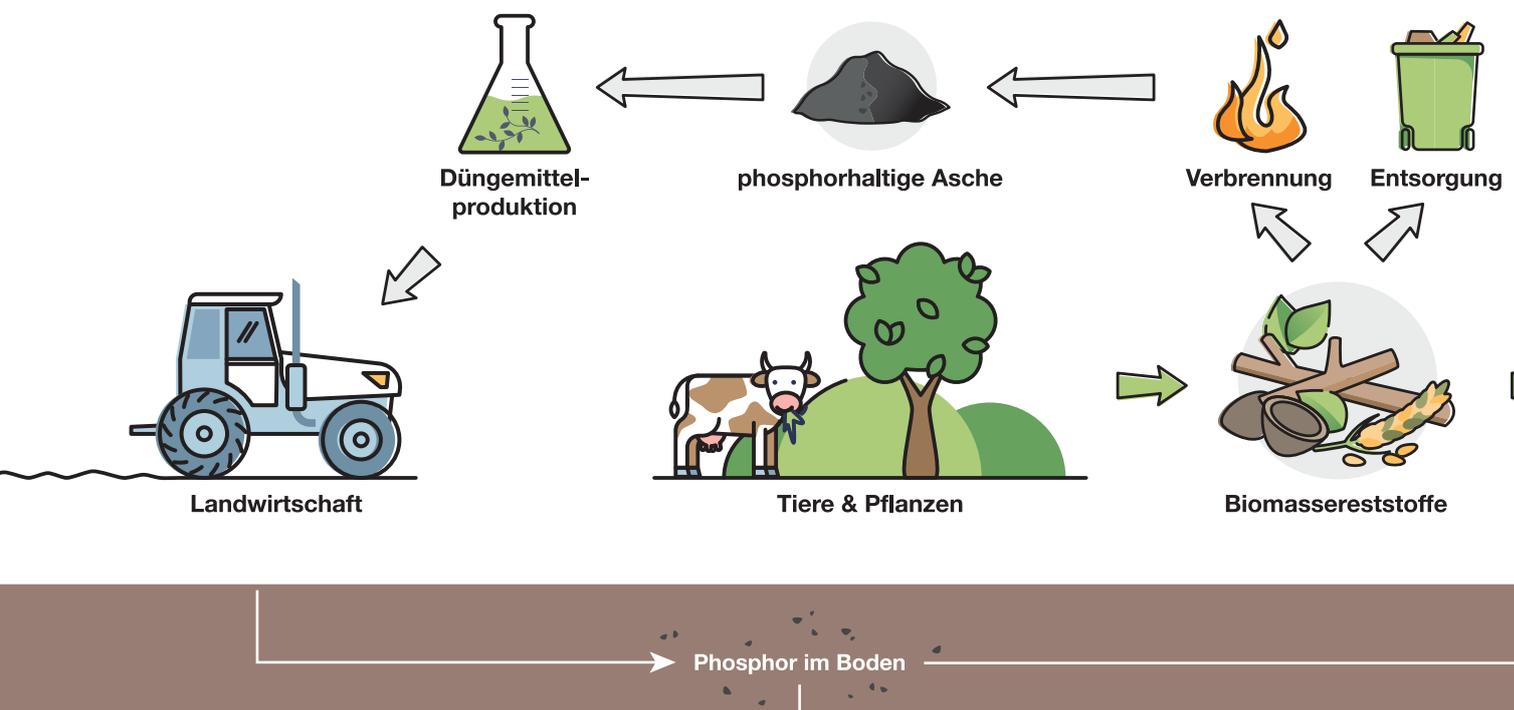
Die Entstehung und Verwendung von Pflanzenkohle (engl.: biochar) ist keine Erfindung der Moderne. Bereits vor etwa 4000 Jahren stellten die Ureinwohner Südamerikas im Amazonasgebiet die sog. Terra Preta her. Im Gegensatz zu den sonst in Regenwäldern vorherrschenden nährstoffarmen, stark verwitterten und ausgewaschenen Böden stellt sie eine sehr humusreiche Erde dar, die bis heute eine sehr hohe Fruchtbarkeit aufweist. Als einen wesentlichen Bestandteil enthält Terra Preta Pflanzenkohle. 2006 wurde das ursprüngliche Verfahren zu ihrer Herstellung rekonstruiert.

Pflanzenkohle entsteht, wenn pflanzliche Biomasse unter weitgehendem Ausschluss von Luftsauerstoff hohen Temperaturen ausgesetzt wird. Diese unvollständige Verbrennung bzw. Pyrolyse hat als Produkt nicht Kohlenstoffdioxid, sondern Kohlenstoff zur Folge. Die pflanzlichen Strukturen des Ausgangsmaterials bleiben dabei erhalten und werden durch weitestgehend aus Kohlenstoff bestehende Gerüststrukturen ersetzt. In der durch Thermochemische Konversion (u.a. auch TCR®) erzeugten Pflanzenkohle bleibt bis zur Hälfte des Kohlenstoffs des Ausgangsmaterials langfristig gebunden.

## Welche Eigenschaften hat Pflanzenkohle?

Durch ihre poröse Struktur und ihre große innere Oberfläche kann Pflanzenkohle sowohl Wasser und Nährstoffe speichern als auch Schadstoffe binden. Mit einer spezifischen Oberfläche von teilweise mehr als 300 m<sup>2</sup> pro Gramm ist es der Pflanzenkohle möglich, bis zur fünffachen Menge ihres Eigengewichtes an Wasser und den darin gelösten Stoffen aufzunehmen. Man spricht hier von der sogenannten Adsorptionsfähigkeit und der Kationenaustauschkapazität (KAK). Die KAK ist ein Maß der Bodenkunde und beschreibt die Fähigkeit, positiv geladene Ionen temporär an der Oberfläche zu binden und diese bei Bedarf für Pflanzen und Mikroorganismen wieder verfügbar zu machen. Ein hoher KAK Wert sorgt dafür, dass weniger mineralische, aber auch organische Nährstoffe aus dem Boden ausgewaschen werden und führt dadurch zu einer höheren Nährstoffverfügbarkeit im Boden.

Diese Eigenschaften empfehlen Pflanzenkohle für vielfältigste Einsatzgebiete in den Bereichen der Landwirtschaft, Industrie, für Gewässer und Klimaschutz, in Kommunen und beim Gebäudebau.



## Welchen Nutzen hat TCR®-Pflanzenkohle?

### TCR®-Pflanzenkohle

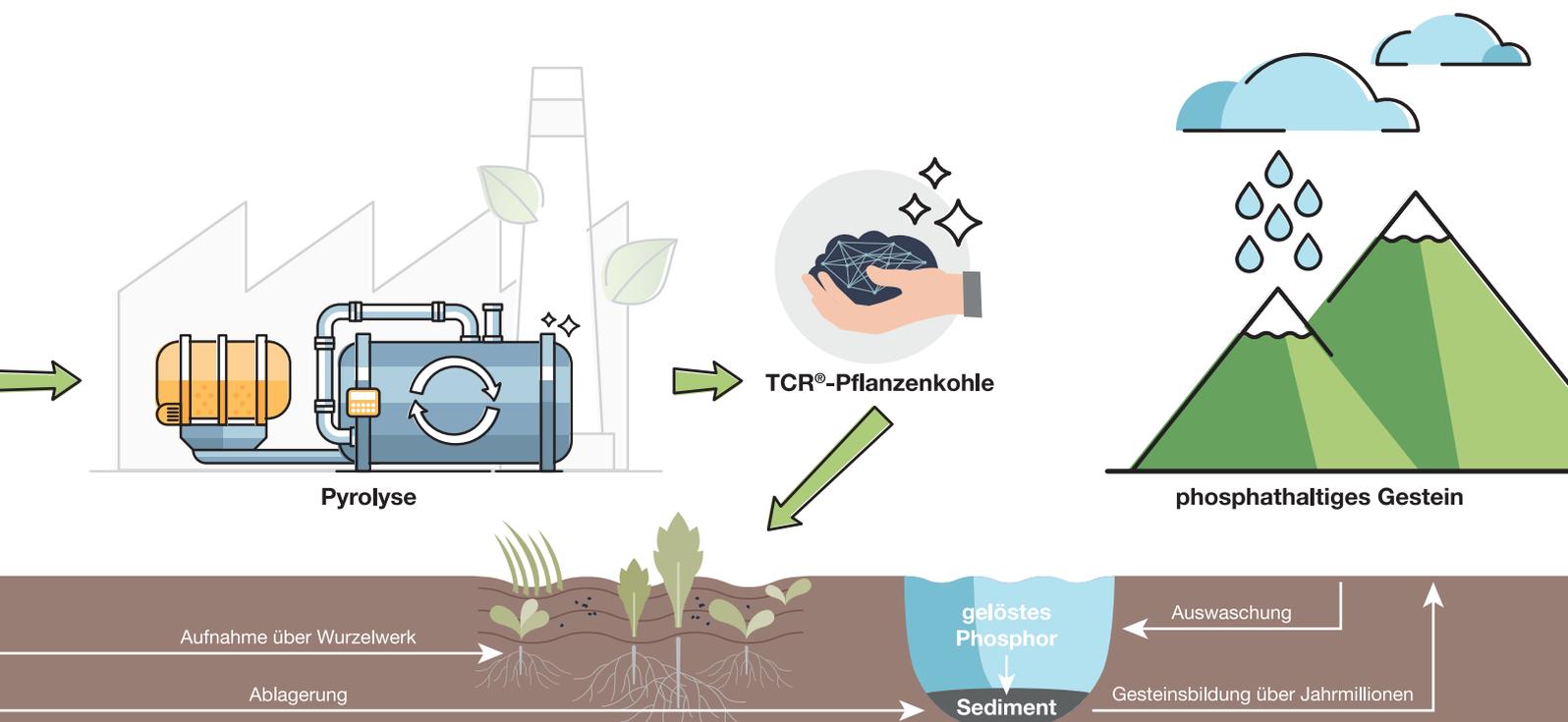
- entnimmt während des Pflanzenwachstums CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre,
- steigert die Wasseraufnahme und -speicherfähigkeit trockener und sandiger Böden,
- steigert das Porenvolumen und damit die Bodengare (d.h. den Zustand der Bodenfruchtbarkeit) fester Böden,
- fördert die Humusbildung und steigert gleichzeitig die Bindung von Lachgas,
- erhöht die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor und mineralischem Stickstoff im Boden,
- mindert die Nährstoffauswaschung und Nitratbelastung im Grundwasser,
- vitalisiert die Bodenlebewesen,
- trägt beim Kulturpflanzenanbau zur Ertragsstabilisierung bei,
- stimuliert das Wurzelwachstum und mindert die Verfügbarkeit von Schwermetallen im Boden.

## Welche Rolle spielt der Boden beim Klimawandel?

Der Boden spielt im Klimageschehen eine zentrale Rolle. Er ist vom Klimawandel betroffen und kann bzw. muss aus diesem Grund ein Teil der Lösung der Klimaproblematik sein. Böden speichern weltweit ungefähr fünfmal so viel Kohlenstoff (in Form seiner Verbindungen) wie die oberirdische Biomasse und doppelt so viel wie die Atmosphäre. Sie sind damit absolut gesehen nach den Ozeanen der zweitgrößte Treibhausgasspeicher der Erde.

Diese essentielle Funktion kann jedoch nur zuverlässig erfüllt werden, wenn der Boden in seiner Schichtung und Struktur erhalten bleibt, d.h. wenn er weder versiegelt noch durch nicht nachhaltige Bewirtschaftung ausgezehrt wird. Beispielsweise können intensive Bodenbearbeitung, Überweidung genauso wie Entwaldungen und die Zerstörung natürlicher Ökosysteme den Boden stören und zu einer Freisetzung von Kohlenstoff beitragen.

Die Gesunderhaltung sowie der Aufbau gesunder Böden trägt damit zu einer Kohlenstoffentnahme aus der Atmosphäre, der sog. Kohlenstoffsequestrierung, bei und hilft damit, den Klimawandel zu verlangsamen.



## Grundlegendes zum TCR<sup>®</sup>-Verfahren

### Wie stellt man hochwertige Pflanzenkohle her und was lässt sich als Einsatzstoff verwenden?

Eine spezielle und hoch innovative Form der Pyrolyse ist das vom Fraunhofer UMSICHT entwickelte Verfahren des Thermokatalytischen Reformings, kurz TCR<sup>®</sup>. Hier entsteht aus biogenen Einsatzstoffen hochwertige Pflanzenkohle, die fast ausschließlich aus Kohlenstoff und den mineralischen Bestandteilen der Einsatzstoffe besteht und dadurch im Boden rechnerisch für mehrere 100 Jahre stabil ist. Dazu kommen von der Prozesstemperatur abhängige Output-Massen Pyrolyseöl und -gas.

Das TCR<sup>®</sup>-Verfahren wurde als Multifeed-Konzept entwickelt. Somit können die unterschiedlichsten Einsatzstoffe einzeln oder als Gemisch umgesetzt werden. Eine Limitierung besteht zum einen hinsichtlich der Stückigkeit des Einsatzstoffes. Staubförmige Stoffe können erst nach einer Kompaktierung umgesetzt werden. Weiterhin sollen die Einsatzstoffe nicht mehr als 30 % Wasser beinhalten; ein höherer Wassergehalt würde zu viel Energie zum Aufheizen des Feedstocks benötigen (Vortrocknung nötig!). Auch sollte der Einsatzstoff über einen Energiegehalt von mindestens 7-8 MJ/kg verfügen, um energetisch sinnvoll umgesetzt zu werden.

### Wie funktioniert der TCR<sup>®</sup>-Prozess?

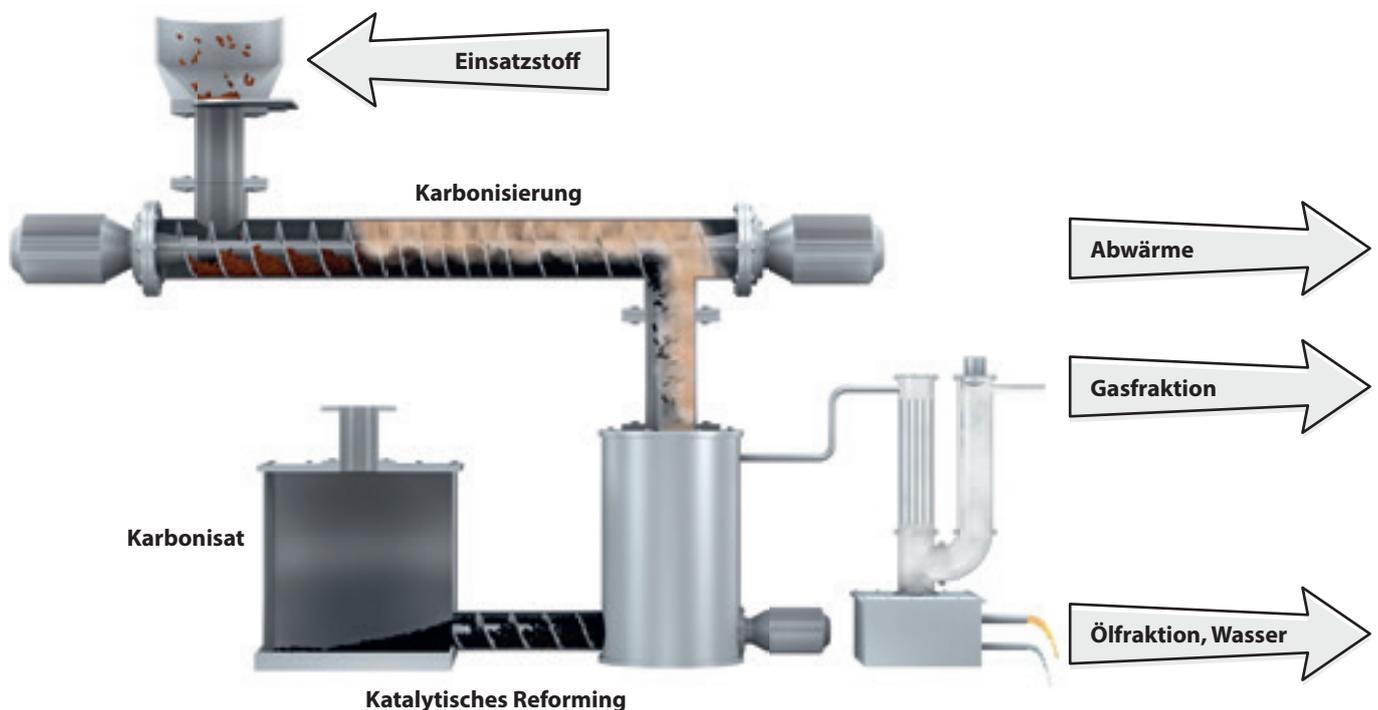
Der Prozess der TCR<sup>®</sup>-Pyrolyse besteht aus zwei Verfahrensstufen. In der ersten Stufe wird die eingesetzte Biomasse in einem kontinuierlich arbeitenden Schneckenreaktor bei Temperaturen  $< 500\text{ °C}$  unter Sauerstoffausschluss in Karbonisat und flüchtige Bestandteile zerlegt.

Im Anschluss werden Kohle und Dämpfe in der Reformierungseinheit bei bis zu ca.  $700\text{ °C}$  katalytisch aufgearbeitet. Dieser nachgeschaltete Prozessschritt führt zu einer Verbesserung sowohl der Produktqualität als auch zu einer erhöhten Gasausbeute.

Die dabei ausgetriebenen flüchtigen Bestandteile werden abgeführt und abgekühlt, wobei sich Pyrolysegas als gasförmige sowie Pyrolyseöl und Prozesswasser als flüssige Komponenten isolieren lassen.



QR-Code scannen und Video zur Funktionsweise anschauen!



## Welche Produkte des TCR®-Verfahrens sind außer der Pflanzenkohle noch nutzbar?

Neben der Pflanzenkohle wird durch das TCR®-Verfahren eine Gas- und eine Ölfraction gewonnen. Diese Nebenprodukte stellen wertvolle Ressourcen dar.

TCR®-Gas ist staub- und teearm und sehr wasserstoffreich (ca. 30 - 50 Volumen-%). Dies empfiehlt den Einsatz als Synthesegas oder eine Wasserstoffseparation, welche erst durch die hohe Wasserstoffkonzentration wirtschaftlich sinnvoll ist und einen hochpreisigen, wertvollen und alternativen Wasserstoff generiert. Dieser kann vermarktet werden oder zur Hydrierung von TCR®-Ölen in einer Raffinerie genutzt werden.

Das Thermokatalytische Reforming generiert im Gegensatz zu anderen Pyrolyseverfahren thermisch stabile Öle. Diese können somit in thermisch betriebenen Veredelungsschritten wie der Raffination oder als Motorenöl genutzt werden. Genau in diesen Veredelungsschritten liegt eine enorme Wertschöpfung.

Als weiteres und nicht zu vernachlässigendes Produkt des TCR®-Verfahrens ist die Abwärme zu nennen, welche z. B. in ein Nah- oder Fernwärmenetz eingespeist werden kann.

## Wie trägt das TCR®-Verfahren zur Umsetzung der Klimaziele bei?

Bei der Herstellung der Pflanzenkohle wird der Atmosphäre während der Phase des Pflanzenaufwuchses CO<sub>2</sub> entnommen und in organische Kohlenstoffverbindungen überführt. Unter den Bedingungen des TCR®-Verfahrens, insbesondere hinsichtlich der hohen Temperaturen wird eine stabile Pflanzenkohle erzeugt, welche im Boden langfristig CO<sub>2</sub>-Äquivalente binden kann. Aufgrund des geringen Sauerstoffanteils in der TCR®-Pyrolysekohle kann von einer guten Persistenz im Boden ausgegangen werden. Mit der Einbringung der Pflanzenkohle in den Boden gelingt also nicht nur eine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, sondern auch gemäß dem EBC-Zertifikat eine Sequestrierung von CO<sub>2</sub> in Form von Kohlenstoff als Beitrag zur Reduktion von Klimagasen.

<https://www.european-biochar.org/de/>

<https://www.ithaka-institut.org/de>

|                               | Gärrest   | Pflanzenkohle                   | Pyrolyseöl                    | Pyrolysegas                                 |
|-------------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|---|
| <b>C-Gehalt</b>               | 34,8 Masse-%  | 48,3 Masse-%                    | 75,8 Masse-%                  | H <sub>2</sub> 36 ± 6 Masse-%               |
| <b>H-Gehalt</b>               | 4,3 Masse-%   | 2,0 Masse-%                     | 7,4 Masse-%                   | CO 15 ± 3 Masse-%                           |
| <b>N-Gehalt</b>               | 1,9 Masse-%   | 1,5 Masse-%                     | 6,0 Masse-%                   | CO <sub>2</sub> 23 ± 3 Masse-%              |
| <b>S-Gehalt</b>               | 0,4 Masse-%   | 0,3 Masse-%                     | 1,9 Masse-%                   | CH <sub>4</sub> 9 ± 2 Masse-%               |
| <b>Aschegehalt</b>            | 14,8 Masse-%  | 47,8 Masse-%                    | -                             | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> 2 ± 1 Masse-% |
| <b>Heizwert H<sub>u</sub></b> | 16,9 MJ/kg  | 17,1 MJ/kg                      | 34,0 MJ/kg                    | 12 - 16 MJ/m <sup>3</sup>                   |
| <b>Sonstiges</b>              | H <sub>2</sub> O 11,0 Masse-%<br>O-Gehalt (Diff.)<br>43,8 Masse-% | O-Gehalt (Diff.)<br>0,1 Masse-% | Säurewert TAN<br>4,9 mg KOH/g | -   |

## Die TCR<sup>®</sup>-Anlagen im Überblick

### Welche TCR<sup>®</sup>-Anlagengrößen gibt es bereits und ist das Verfahren für eine wirtschaftliche Anwendung ausgereift?

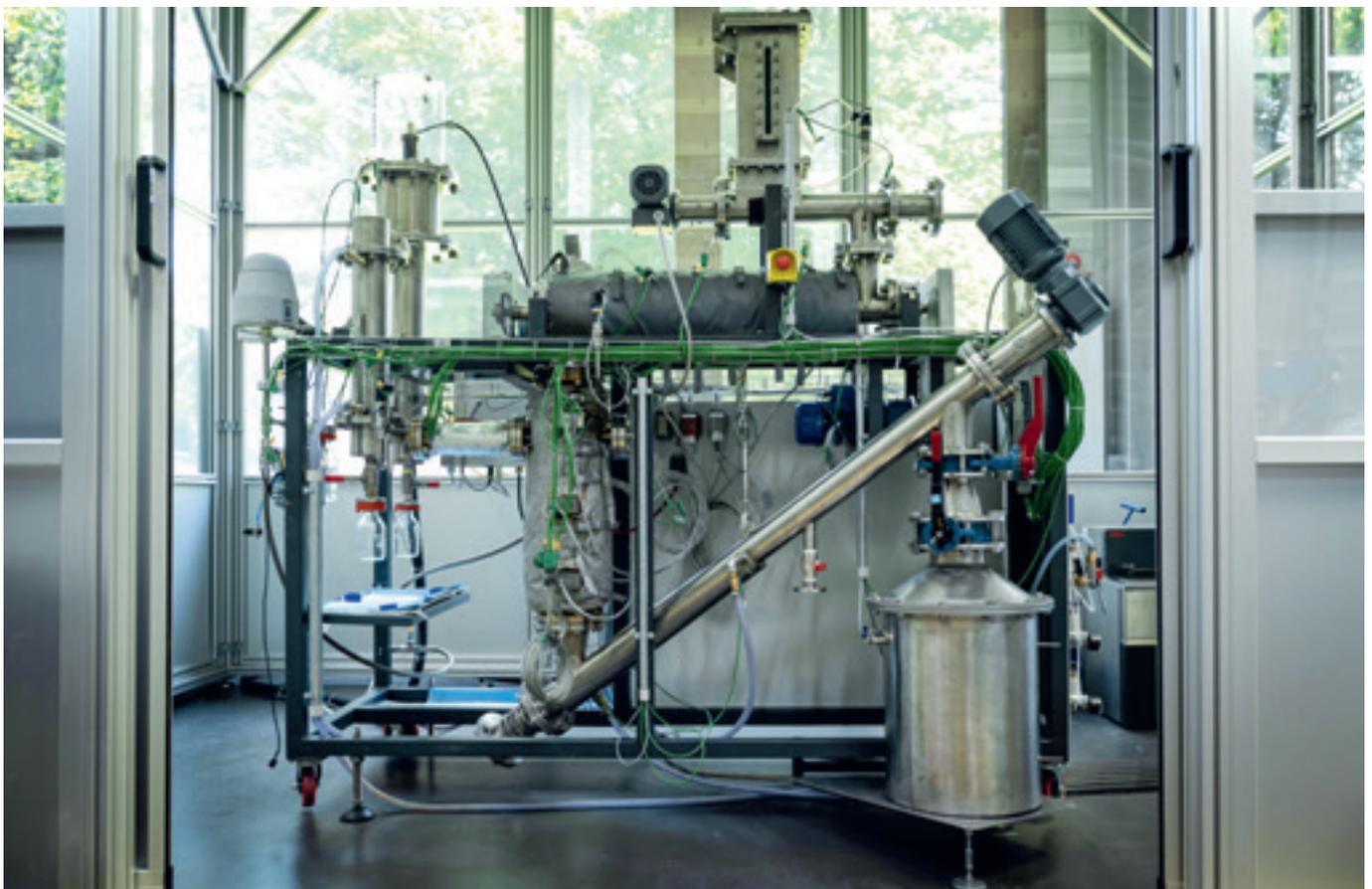
Das Fraunhofer UMSICHT hat aktuell drei Typen von TCR<sup>®</sup>-Anlagen realisiert. Für den Labormaßstab existiert die TCR<sup>®</sup>2 mit einem Feedstock von 2 kg/h. Im Technikumsmaßstab steht eine Technikumsanlage TCR<sup>®</sup>30 mit einem Durchsatz von 30 kg/h zur Verfügung. Für den Industriemaßstab eignet sich die TCR<sup>®</sup>500, die einen Durchsatz von 500 kg/h besitzt. Für einen wirtschaftlichen stationären Betrieb sind hier rund 5000 t Biomasse pro Jahr notwendig.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt lässt sich feststellen, dass sich die Entwicklung des TCR<sup>®</sup>-Verfahrens auf dem chancenreichen Weg zu einer erfolgreich im Markt eingeführten Innovation befindet. Hierfür spricht ein bereits sehr weit fortgeschrittener Technologiereifegrad in Verbindung mit einer bereits jetzt absehbaren hohen Marktattraktivität. Das differenzierte Produktsortiment verfügt über ein großes Ab-

satzpotenzial über viele Branchen hinweg und ist geeignet für den Aufbau regionaler Wertschöpfung in schwach besiedelten ländlichen Räumen.



Nahaufnahme der Schneckenreaktors der TCR<sup>®</sup>2 Laboranlage  
Quelle: Fraunhofer UMSICHT



TCR<sup>®</sup>2 Laboranlage  
Quelle: Fraunhofer UMSICHT

## Wo kommen aktuell TCR®-Anlagen zum Einsatz?

Im Rahmen des durch das Forschungs- und Innovationsprogramm der EU HORIZON 2020 geförderte Projekt 2synfuel wurde in Sulzbach-Rosenberg eine vorkommerzielle TCR®500-Demonstratoranlage errichtet. Im Projekt wurden aus organischen Biomasseabfällen, vornehmlich Klärschlämmen, die oben beschriebenen Produkte Karbonisat, Öl und Gas generiert. Mit Hilfe integrierter Aufarbeitungsschritte wie der Wasserstoffabscheidung (PSA) und des Hydrotreatments (HDO) werden qualitativ hochwertige Diesel- und Benzinäquivalente hergestellt, die fossile Kraftstoffe substituieren können.

<https://www.tosynfuel.eu/>

Die Firma Bayernoil forciert mit dem Projekt Bayosine® die Planungen für das TCR®-Verfahren im großtechnischen Maßstab. Unter dem Slogan "Veredeln und raffinieren statt entsorgen" wird Klärschlamm, der normalerweise in großen Mengen als Abfallprodukt anfällt, einer neuen Wertschöpfungskette zugeführt.

Das Pyrolyseöl steht im Fokus und wird zunächst einer Hydrierung zugeführt. Durch eine anschließende Destillation werden Benzin, Kerosin und Diesel als qualitativ hochwertige, mineralöläquivalente Treibstoffe gewonnen. Aus der Verbrennung des Karbonisats resultierende Asche ist ein wertvoller Rohstoff für die Phosphorrückgewinnung für z. B. Düngemittel. Pyrolysegas dient als Synthesegas bzw. als Wasserstoffquelle.

<https://bayosine.de/>



TCR® 30 Technikumsanlage  
Quelle: Fraunhofer UMSICHT

# In 9 Schritten zur Anwendung von TCR®-Pflanzenkohle

## Schritt 1: Bestimmung der Biomassepotenziale

### Welche Materialien kommen als Ausgangsstoffe für eine TCR®-Pyrolyse in Frage?

Es gibt eine große Bandbreite an Einsatzstoffen. Klassischerweise bieten sich Biomassen aus Primärquellen, wie z. B. Holz, Käferholz und Stroh an. Des Weiteren kommen solche aus Sekundärquellen wie z. B. kommunale Abfälle, Gärreste, Biertreber und sogar Klärschlamm in Frage.

Der tatsächliche Einsatz der Produkte (insbesondere des Karbonisats) für eine bestimmte Anwendung hängt zunächst stark von der Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe in der Region ab. Eine Nutzungskonkurrenz mit bereits in Stoffkreisläufen eingebundenen Biomassen (wie z. B. oft mit Stroh der Fall) sollte von vornherein ausgeschlossen werden. Darüber hinaus sind grundsätzlich stückige Feedstocks mit einer Trockensubstanz von mind. 80 % zu bevorzugen, da sich höhere Wasseranteile negativ auf die Energiebilanz des Verfahrens auswirken.

### Welche gesetzlichen Grundlagen müssen die Ausgangsstoffe der Pyrolyse erfüllen?

Grundlegend ist immer die Frage zu beantworten, ob bzw. wie der Ausgangsstoff die Anforderungen gesetzlicher Vorgaben erfüllt. Soll TCR®-Pflanzenkohle zur Bodenverbesserung eingesetzt werden, unterliegt sie der neuen EU-Düngeprodukteverordnung (EU) 2019/1009.

Dadurch soll sichergestellt werden, dass EU-Düngeprodukte ausreichend wirksam sind und gleichzeitig kein Risiko für die Gesundheit von Mensch, Tier oder Pflanze, für die Sicherheit oder für die Umwelt bergen.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1586866531616&uri=CELEX:32019R1009>



Biomassen als Einsatzstoffe der TCR® Technologie. Aktuell sind bereits über 90 biogene Materialien getestet worden. Quelle: Fraunhofer UMSICHT

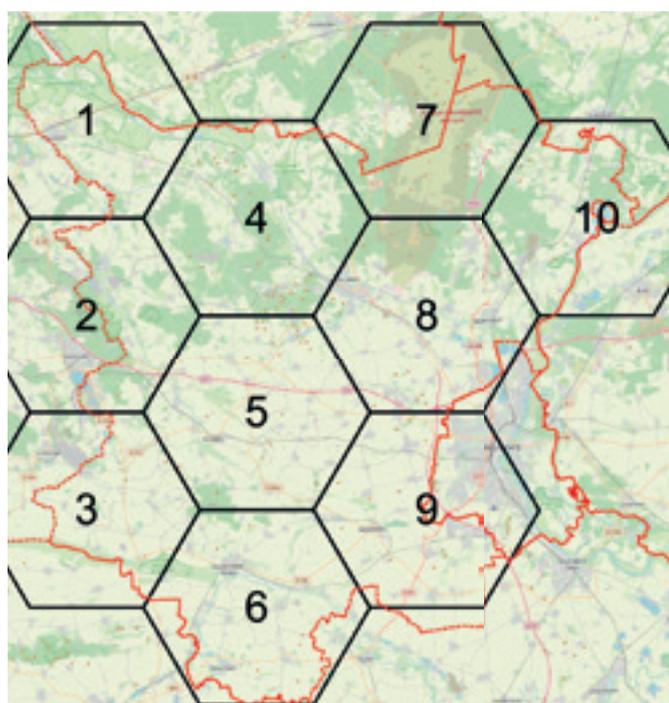
## 1. Biomassepotenziale

2. Stakeholderanalyse
3. Standort & Anlagenplanung
4. Wirtschaftlichkeit
5. Betreibermodell
6. Finanzierung
7. Anlagenbau
8. Anlagenbetrieb
9. Bodenverbesserung

### Wie ist das Vorgehen zur Bestimmung von Biomassepotenzialen?

Zur Erfassung der nutzbaren Biomassereststoffe im Landkreis Börde für die Herstellung von Pflanzenkohle wurden die Potenziale in einem zweistufigen Verfahren ermittelt. Im ersten Schritt wurde die natürliche Reproduktion von Biomasse mit Hilfe von Geofernerkundungsdaten unterstützt durch die Technologie des Geoinformationssystems GIS für die aktuellen Landnutzungssysteme ermittelt.

Im zweiten Schritt wurden die zirkulierenden Reststoffe einzelner Wirtschaftssektoren des Landkreises Börde ermittelt und räumlich lokalisiert. Dabei wurden die Biomassen für die Sektoren Landwirtschaft, kommunale Abwasserwirtschaft, Grünflächenpflege, Forst und Bioenergie aus öffentlichen Quellen recherchiert und mit Hilfe einer Online-Befragung in Experteninterviews validiert.



Hexagone mit 20 km Radius im Landkreis Börde. Quelle: OSM.

### Welche Rolle spielt die räumliche Verteilung der Biomasse in der Region?

Hinsichtlich der Herstellungskosten der TCR®-Pflanzenkohle spielen die regionale Verfügbarkeit und der damit einhergehende Aufwand für Transport und Lagerung der landwirtschaftlichen Reststoffe eine zentrale Rolle für einen wirtschaftlich effizient aufgestellten Produktionsstandort. Untenstehende Abbildung unterteilt den Landkreis Börde in 10 Hexagone mit einem maximalen Radius von 20 km und zeigt auf, dass hinsichtlich der Verfügbarkeit von Restbiomassen und der räumlichen Verteilung sehr gute Voraussetzungen für die industrielle Produktion von TCR®-Pflanzenkohle bestehen. Die optimale Abdeckung für eine Verwertung von Gär- und Strohrefen des Landkreises ergibt sich demzufolge in den Hexagonen 4, 5, 6, 8 und 9. Denkbar ist jeder Standort, der über mindestens 2.000 t bis idealerweise über 5.000 t an Biomassereststoffen pro Jahr verfügt. Abschließend sind Aspekte der saisonalen Verfügbarkeit, der Nutzungskonkurrenzen, der Lagerhaltung und der Lieferformen einzubeziehen.

| Reste aus der Landwirtschaft |                |          |                                   |
|------------------------------|----------------|----------|-----------------------------------|
| Hexagon                      | Gärreste in t  | LW in ha | Strohreste in t<br>(60 % Bergung) |
| 4                            | 109.000        | 18.000   | 57.600                            |
| 5                            | 78.700         | 30.200   | 96.640                            |
| 6                            | 38.000         | 25.500   | 81.600                            |
| 8                            | 65.300         | 21.000   | 67.200                            |
| 9                            | 125.000        | 20.900   | 66.880                            |
| <b>Summe</b>                 | <b>416.000</b> |          | <b>369.920</b>                    |
|                              | <b>Gesamt</b>  |          | <b>785.920</b>                    |

| Reste aus der Grünflächen- und Landschaftspflege |                  |                 |
|--|------------------|-----------------|
|  | Grünschnitt in t | Laub/Rasen in t |
| <b>Betriebe</b>                                  | 320              | 100             |
| <b>Kommunen</b>                                  | 2.500            | 230             |
| <b>Abfallbetriebe</b>                            | 6.000            | 2.700           |
| <b>Summe</b>                                     | <b>8.820</b>     | <b>3.030</b>    |

# In 9 Schritten zur Anwendung von TCR<sup>®</sup>-Pflanzenkohle

## Schritt 2: Stakeholderanalyse

### Wozu dient eine Stakeholderanalyse bzw. die Stakeholderlandkarte?

Projekte, wie z. B. der Bau einer technischen Anlage wie einer TCR<sup>®</sup>500-Anlage, betrifft verschiedene Interessengruppen, die unterschiedliche Erwartungen stellen und auch verschiedene Leistungen anbieten. Es ist sehr empfehlenswert, diese zunächst mittels einer Stakeholderanalyse zu identifizieren und hinsichtlich ihrer teilweise komplexen Wechselwirkungen in Beziehung zu stellen. Um einen Überblick zu gewinnen und zu behalten, bietet sich eine Visualisierung in Form einer Stakeholderlandschaft an.

Zunächst ist es wichtig, einen passenden Fokus zu definieren. Im Rahmen des Projektes bzw. für die Zwecke dieses Leitfadens bietet sich der Bau einer TCR<sup>®</sup>500-Anlage als ein Fokus an. Im nächsten Schritt werden (mindestens) drei Kategorisierungen in Form von drei konzentrischen Kreisen angelegt und mit einer Skala versehen - in unserem Beispiel eine Unterteilung in Stakeholder die für das Vorhaben essentiell, wichtig und interessiert sind.

In den nächsten Schritten werden im Rahmen eines Brainstormings die zentralen Akteure ermittelt. Hier sollten sowohl interne als auch externe Akteure bedacht werden. Diese werden dann bezüglich ihrer Relevanz in den entsprechenden Kategorien/Kreisen priorisiert. Nun kann mit Hilfe von Verbindungslinien und passend gewählten Symbolen gekennzeichnet werden, welche Werte zwischen den Stakeholdern ausgetauscht werden.

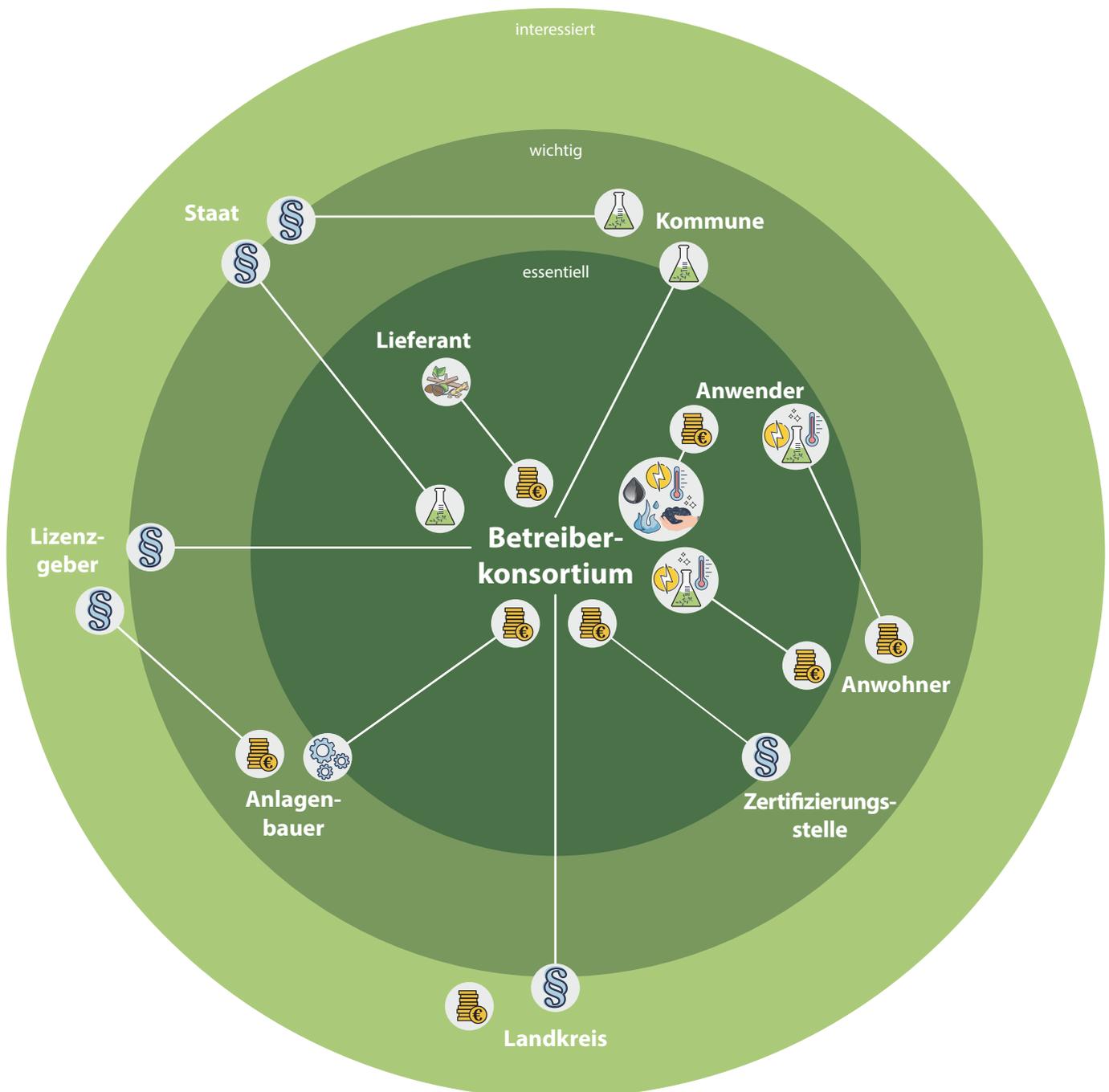
### Wer ist von der Errichtung und dem Betrieb einer TCR<sup>®</sup>-Anlage betroffen?

Im Fokus der abgebildeten Stakeholderlandschaft steht die Akteurskette Lieferant - Betreiber - Anwender. Während der Laufzeit des Projekts InterPyro kristallisierte sich heraus, dass für den Bau und den Betrieb einer TCR<sup>®</sup>500-Anlage in der Region Börde sehr wahrscheinlich nur ein Akteursverbund aus mehreren Betreibern in Frage kommt. Aus diesem Grund wird von einem Betreiberkonsortium gesprochen.

Durch eine generelle Standortrecherche ergibt sich aus dem Zusammenspiel der Verfügbarkeit der Biomasse, den geplanten Produktverwendungen und benötigter Peripherie ein optimaler Standort, ein Anlagenkonzept (s. Schritt 3: Standortsuche und Anlagenkonzipierung und -planung) sowie ein Betreibermodell (s. Schritt 5: Festlegung eines Betreibermodells).

Der Anlagenbauer unterliegt bei der Errichtung der Anlage den Vorgaben des Lizenznehmers, dem wiederum durch den Lizenzgeber (nicht abgebildet, im Beispiel Entwickler der Anlagentechnologie) zeitweise gewerbliche Nutzungsrechte eingeräumt wurden. Er hat darüber hinaus auch selbstverständlich alle durch den Staat vorgegebenen Regularien einzuhalten (s. Schritt 7: Anlagenbau).

Die Zertifizierungsstelle (s. Schritt 8: Anlagenbetrieb und Produktzertifizierung) registriert die Anlage nach ihrer Fertigstellung und gibt als externe Kontrollinstanz die Regularien zur Qualitätssicherung im laufenden Produktionsprozess vor.

**Fokus: Bau einer TCR®-Anlage**

Vorgaben, Gesetze, Regeln

Erträge / Erlöse

Wärme / Strom

Pflanzenkohle

Pyrolysegas

Pyrolyseöl

Biomasse

Beitrag zum Klima

Technik

# In 9 Schritten zur Anwendung von TCR<sup>®</sup>-Pflanzenkohle

## Schritt 3: Standortsuche, Anlagenkonzipierung und -planung

### Was muss bei der Standortwahl für eine TCR<sup>®</sup>-Anlage beachtet werden?

Bei der Standortauswahl für eine TCR<sup>®</sup>-Anlage ist hinsichtlich der Kosten des Transports der Einsatzstoffe und der Möglichkeit, Produkte wie Strom und Wärme vor Ort nutzen zu können, abzuwägen. Generell ist der Transport von Biomassereststoffen (z. B. Stroh) kostenintensiv, Transportwege bis 50 km sind aber vertretbar. Demgegenüber steht die Wertschöpfung durch Produkte wie Wärme oder TCR<sup>®</sup>-Pyrolysegas, deren Transport der Wirtschaftlichkeit entgegenstehen, je weiter sie transportiert werden müssen, bzw. der Mehrwert einer möglichen Nutzung des generierten Stroms im Eigenverbrauch.

assoziierter Geschäftspartner, beispielsweise eines Gewerbegebiets. Hierbei handelt es sich um standortspezifische Kriterien, die in jedem Einzelfall geprüft werden müssen. Im Rahmen dieses Vorgehens müssen auch Möglichkeiten zur Lagerung des Einsatzstoffs (bis zu 500 m<sup>3</sup>) und die Aufstellung möglicher Peripheriekomponenten wie Pelletiereinheiten, Häcksler, Trockner o.ä. berücksichtigt werden. Des Weiteren gilt es die Entfernung zu Abnehmern von Produkten wie Pyrolyseöl und Pflanzenkohle zu betrachten.



Außenansicht der TCR<sup>®</sup> Technikumshalle für das TO SYN FUEL Projekt im Markt Hohenburg, Landkreis Amberg Sulzbach. Quelle: Fraunhofer UMSICHT

**3. Standort & Anlagenplanung****Gibt es über den stationären Betrieb einer TCR®-Anlage hinaus noch andere Einsatzmöglichkeiten?**

Ja! Je nach örtlicher Verfügbarkeit der verwendeten Einsatzstoffe kann die TCR®-Technologie in stationären Produktionsanlagen angewendet werden. Stationäre Anlagen können im Industriemaßstab in unterschiedlichen Kapazitäten skaliert werden. Die benötigte Stellfläche hängt dabei insbesondere auch von den benötigten Peripheriegeräten ab und kann grob ein Bedarf von 200 bis 400 m<sup>2</sup> angenommen werden.

**Welche Versorgungsmedien werden für den Betrieb einer TCR®-Pyrolyseanlage benötigt?**

Zu den Versorgungsmedien einer Anlage zählen die Stickstoffversorgung, ein Wasser- und Stromanschluss (mind. 120 kW) sowie eine Druckluft- und Propangasversorgung.



Ein kompaktes, mobiles Anlagendesign macht den Einsatz der TCR®-Technologie rund um den Globus möglich. Quelle: Fraunhofer UMSICHT

# In 9 Schritten zur Anwendung von TCR®-Pflanzenkohle

## Schritt 4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### Welche Parameter beeinflussen die Wirtschaftlichkeit einer TCR®-Anlage?

Die Wirtschaftlichkeit des TCR®-Prozesses hängt zunächst entscheidend vom Preis des Einsatzmaterials ab. Einsatzstoffe wie Klärschlamm, Straßenbegleitgrün und in manchen Regionen Gärreste, durch deren Abnahme Erlöse erzielt werden können und die in geringer Nutzungskonkurrenz stehen, sind zu bevorzugen.

Generell ist die Skalierung der Anlage entscheidend für die Wirtschaftlichkeit. So wurde beispielsweise ein Business Case mit Straßenbegleitgrün für eine TCR®-500 Anlage berechnet. Bei der Hochskalierung der Anlagen wirkt das Prinzip des „Economy of Scale“ und es werden reduzierte spezifische Kosten abgebildet. Ähnliches betrifft die Anlagenwartung, den Personaleinsatz und die administrativen Kosten.

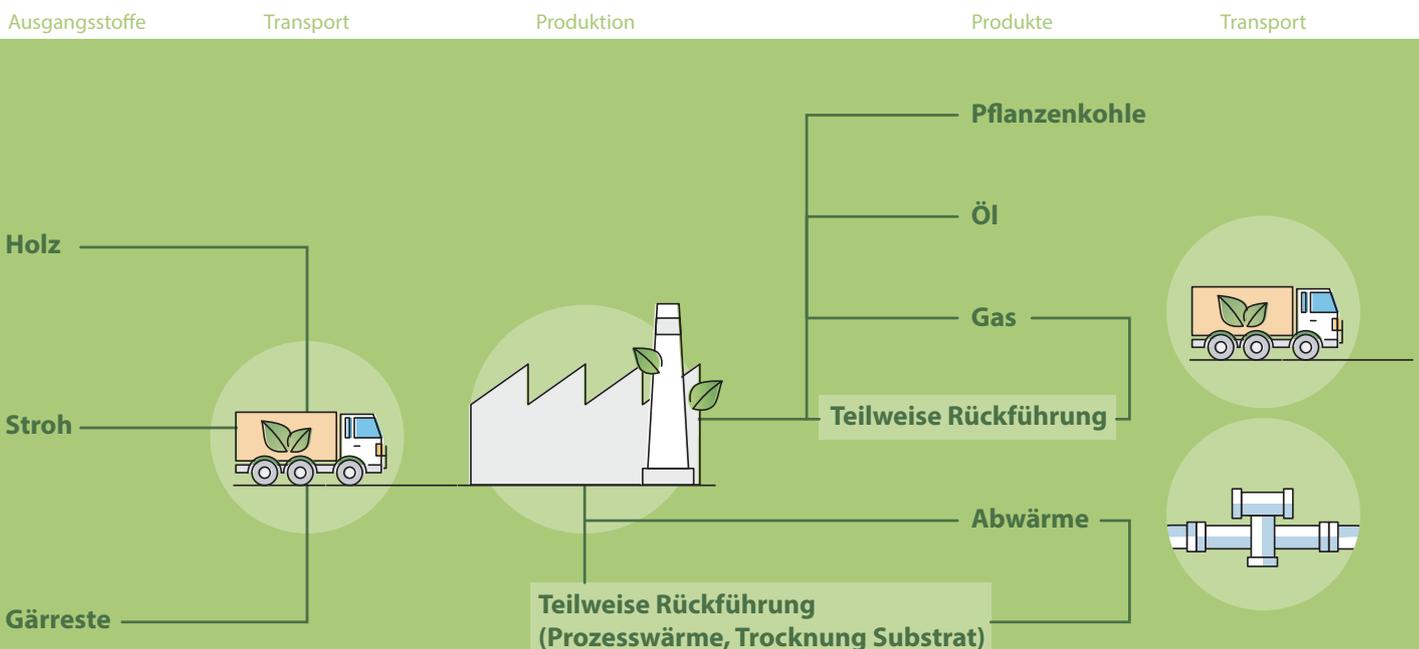
Als Erlösträger können die TCR®-Pflanzenkohle, das TCR®-Öl und das TCR®-Gas genannt werden. In gewissen Grenzen ist der Prozess in Hinblick auf die Ausbeute und Qualität dieser drei Hauptprodukte steuerbar. So kann die Wirtschaftlichkeit z. B. durch eine Direktvermarktung von verstromtem

Pyrolysegas an Gewerbe in der Umgebung enorm gesteigert werden.

Der mögliche Einsatz von TCR®-Pflanzenkohle als Bodenverbesserer schlägt ebenfalls deutlich positiv zu Buche. Darüber hinaus sind weitere Vermarktungspotenziale der TCR®-Pflanzenkohle zu prüfen, wie z. B. als Baustoff oder Tierfutter.

Zusätzlich kann die Einspeisung von Abwärme in das Fernwärmenetz einen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit leisten. Hier gilt es sicherzustellen, dass die Entfernung zur Einspeisestelle möglichst kurz gehalten wird.

Nicht zuletzt sollte eine potenzielle Wertschöpfung durch den CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandel durch die TCR®-Pflanzenkohle, welche sich Jahr für Jahr durch steigende CO<sub>2</sub>-Preise intensiver gestaltet, geprüft werden. Wichtig ist hier anzumerken, dass die Herstellung der dafür verwendeten Pflanzenkohle konform zu den CE- und EBC-Kriterien erfolgen muss (s. dazu Schritt 8 Anlagenbetrieb und Produktzertifizierung).



#### 4. Wirtschaftlichkeit

### Welchen Beitrag leisten die während des Prozesses gewonnenen Nebenprodukte zur Wirtschaftlichkeit der Anlage?

Kommunen und Unternehmen stehen heute vor der großen Herausforderung einer nachhaltigen und klimaneutralen Energieversorgung. Die TCR®-Pyrolyseanlage kann hierbei als strategischer Bestandteil zur Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung eine wesentliche Rolle einnehmen.

Ob als Lieferant für leitungsgebundene oder dezentrale Wärmeversorgung von Gebieten und Quartieren im Rahmen kommunaler Wärmeversorgungskonzepte oder auch bei der Umsetzung von innovativen Konzepten für eine von fossilen Energien unabhängigen Energieversorgung im industriellen und gewerblichen Umfeld – TCR®-Gase und Abwärme können hierzu ihren Beitrag leisten.

Die steigende CO<sub>2</sub>-Bepreisung führt zukünftig zu einer Verteuerung des Verbrauchs fossiler Energien. Die Eigennutzung für die Energieversorgung, aber auch die Erlöse aus der Vermarktung des TCR®-Gases und der Abwärme tragen erheblich zur Wirtschaftlichkeit der Anlage bei.



#### Anwendung

Land- und Forstwirtschaft, städtische Grünflächen  
Filtermaterial (Aktivkohle)  
Stahlproduktion  
Verbrennung zur Stromerzeugung  
Handel mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten

Erdölersatz, z. B. Biokraftstoffherstellung,  
Kunststoffherstellung usw.  
Verbrennung

Methan: Erdgasersatz  
Wasserstoff: Energieträger für die chemische Industrie  
Geringe Mengen Ethan, Propan, Butan

Einspeisung ins Fern- oder Nahwärmenetz

### Wie steht es aktuell um den Handel mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten?

Der IPCC Bericht vom April 2022 weist darauf hin, dass das 1,5 °C-Ziel von Paris nur noch durch eine zusätzliche Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre erreicht werden kann. Die Pyrolysetechnologie bietet durch die Verwendung zertifizierter Karbonisate als Bodenverbesserer große Potenziale (PyCCS = Pyrogenic Carbon Capture and Storage) und zudem gute Chancen für eine nachhaltige Wertschöpfung durch regionalen CO<sub>2</sub>-Ausgleich.

Die durch das TCR®-Verfahren erzeugten Biomassekarbonisate eignen sich zur Bilanzierung von Treibhausgasemissionen, wenn sie dauerhaft in den Boden eingebracht oder in lokalen Stoffströmen, bspw. als Zuschlagstoff für Beton, vor Oxidation geschützt werden.

Hierdurch lassen sich theoretisch CO<sub>2</sub>-Zertifikate generieren. Gemäß konservativen wissenschaftlichen Erkenntnissen wären nach 100 Jahren noch mindestens 74 % des ursprünglich in der Pflanzenkohle enthaltenen Kohlenstoffs vorhanden, was sie als CO<sub>2</sub>-Senke empfiehlt. Politische Rahmenbedingungen sind hierfür jedoch noch zu definieren und die Aufnahme in das Europäische Emissionshandelssystem (EU-ETS 1 oder 2) nötig.

[https://www.european-biochar.org/media/doc/2/c-de\\_senken-potential\\_2-1.pdf](https://www.european-biochar.org/media/doc/2/c-de_senken-potential_2-1.pdf)

[https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_de](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_de)

# In 9 Schritten zur Anwendung von TCR<sup>®</sup>-Pflanzenkohle

## Schritt 5: Festlegung eines Betreibermodells

### Wer würde von der Errichtung und dem Betrieb einer TCR<sup>®</sup>-Anlage profitieren?

Unmittelbare Chancen, ökologische und gleichsam ökonomische Erfolge zu erzielen, ergeben sich entlang der Wertschöpfungskette insbesondere für die Bereitsteller der benötigten Ressourcen:

- z. B. die Land- und Forstwirtschaft als Erzeuger von Biomasse,
- die Abfall- und Recyclingwirtschaft, z. B. mit lokalen Annahmestellen von Grünschnitt,
- die Betreiber von Biogasanlagen als Vermarkter von Gärresten oder
- u. U. Abwasserbetriebe

sowie die potenziellen Betreiber von TCR<sup>®</sup>-Anlagen. Diese können z. B. sein:

- kommunale und private Recycling- und Entsorgungsbetriebe,
- Betreiber von Biogasanlagen,
- landwirtschaftliche Betriebe,
- kommunale oder private Unternehmen der Energieversorgung als Nutzer der Abwärme für Fernwärmenetze,
- verarbeitende Industrien als Verwender der TCR<sup>®</sup>-Pflanzenkohle oder
- verschiedene Industriesektoren, wie z. B. die chemische Industrie oder die Energiebranche als Weiterverarbeiter von TCR<sup>®</sup>-Öl und TCR<sup>®</sup>-Gas.

Darüber hinaus profitieren zahlreiche weitere Stakeholder durch eine gesteigerte Attraktivität des Wohn- und Lebensumfeldes verbunden mit essentiellen Standortvorteilen für Kommunen bzw. Regionen.

### Was sind mögliche Betreibermodelle?

Zunächst kommen hierfür natürlich Einzelunternehmen, wie z. B. Abfallbetriebe oder Landwirte, in Frage. Insbesondere in ländlichen Gebieten oder solchen mit eher kleinteiliger wirtschaftlicher Struktur bietet sich die Bildung von Betreiberkonsortien an. Diese reichen in ihrer Bandbreite von Agrargenossenschaften als bereits bestehende Zusammenschlüsse landwirtschaftlicher Betriebe bis hin zu neu zu formierenden Interessengemeinschaften. Bei letzteren kommt es sehr darauf an, welche Produkte schwerpunktmäßig zur Verwertung kommen sollen und welche Biomassen als Einsatzstoffe zur Verfügung stehen.

Die TCR<sup>®</sup>-Technologie ist seitens Fraunhofer UMSICHT patentiert. Lizenzen können – auf Wunsch auch exklusiv – für einzelne Einsatzstoffe erworben oder auch auf Regionen begrenzt werden. Hier besteht also maximale Flexibilität für den Betreiber.

### Risikoabschätzung zum Bau und Betrieb einer TCR<sup>®</sup>-Anlage aus Sicht einer potenziellen Lieferant-Betreiber-Anwender-Konstellation:

Am 15.03.2023 wurde im Rahmen des 4. Reallabors des Projekts InterPyro mit den Teilnehmenden eine SWOT-Analyse durchgeführt. Im Fokus war der Bau und Betrieb einer TCR<sup>®</sup>-Pyrolyseanlage in der Region. Aufgeteilt in drei Gruppen betrachteten die Teilnehmenden nacheinander je einmal den Blickwinkel des Lieferanten, des Betreibers und schließlich des Anwenders. Die Ergebnisse sind unten zusammengefasst.

1. Biomassepotenziale
2. Stakeholderanalyse
3. Standort & Anlagenplanung
4. Wirtschaftlichkeit

## 5. Betreibermodell

6. Finanzierung
7. Anlagenbau
8. Anlagenbetrieb
9. Bodenverbesserung



### Stärken

#### Lieferant

- Gewinne und Kosteneinsparung durch Verwertung statt Entsorgung  
→ regionale Wertschöpfung
- Einsparung von Transportwegen und Kosten durch dezentrale Lösungen
- Vermeidung illegaler Entsorgung von Grünschnitt
- Erfüllung Verpflichtungen Waldwirtschaft durch Verwertung von Totholz/Käferholz

#### Produzent

- Phosphorrückgewinnung
- Rohstoffe regional vorhanden (regionale Kreislaufwirtschaft)
- klimaneutrale Energieversorgung auf regionaler Ebene
- Skalierbarkeit der Anlagen
- Technologie (flexibler betrieb hinsichtlich der Endprodukte)
- Lastausgleich/Regelenergie (Öl und Gas)

#### Anwender

- regionale Wertschöpfung
- Produktvielfalt und Entwicklungspotenzial
- Beitrag zu Klimaschutz und Klimaanpassung
- Ertragssteigerung
- Energiesubstitution
- neue Erschließung und Liefersicherheit von Kohle
- bodenverbessernde Eigenschaften der Pflanzenkohle

### Schwächen

#### Lieferant

- Vorsortierung für homogenes Stückgut nötig
- Analyse des Feedstocks für Qualitätssicherung (eigenes Labor oder Dienstleister)
- Gewährleistung der Kontinuität der Lieferungen
- Einsatz unterschiedlicher Technologien

#### Produzent

- nötige Vorbehandlung für Anforderungen an Trockenheit
- Zwischenlagerung
- Bedingung einer homogene Stückigkeit (Größenfraktion)

#### Anwender

- Prozess lückenhaft (z. B. Beladung der Kohle)
- komplexe Akteursstruktur
- ausbaufähige Akzeptanz und Kommunikation
- komplexer/ intransparenter Markt (Überforderung)

### Chancen

#### Lieferant

- Nutzung von Schlamm aus See-Entschlammung?

#### Produzent

- Wirtschaftlichkeit
- steigende Energiepreise
- Trend zu lokaler Wertschöpfung und Dekarbonisierung der Energieversorgung
- rechtliche Rahmenbedingungen
- Ausgangsstoffe mit geringen Nutzungskonkurrenzen

#### Anwender

- Zertifizierung der Pflanzenkohle
- Netzwerk und Angebote darstellen
- Verwertung problematischer Substrate (z. B. Klärschlämme)
- CO<sub>2</sub>-Zertifikathandel

### Risiken

#### Lieferant

- Heterogenität des Feedstocks
- technologische Alternativen
- zukünftige Nutzungskonkurrenzen und Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe am Markt
- Wirtschaftlichkeit bei Kaskadennutzung

#### Produzent

- Vertriebsmöglichkeiten für alle Produkte
- Wirtschaftlichkeit noch nicht belegt
- Kontinuität und Homogenität der Ausgangsstoffe erforderlich
- Zwischenlagerung großer Mengen
- rechtliche Rahmenbedingungen

#### Anwender

- Abhängigkeit der Preise von verfügbarer Biomasse
- Qualitätssicherung und Analytik
- saisonale und witterungsbedingte Abhängigkeit der verfügbaren Biomasse
- Unsicherheit und fehlende Erfahrungen zu Langzeitanwendungen aus Praxis
- Finanzierung
- Koordination Betreiberkonsortium
- gesetzliche Regelungen und Gestaltungsspielraum/ Abweichung Theorie und Praxis
- Schwermetalle/Schadstoffe

# In 9 Schritten zur Anwendung von TCR<sup>®</sup>-Pflanzenkohle

## Schritt 6: Finanzierung und Förderung

### Welche Fördermöglichkeiten gibt es für die Erstellung einer Machbarkeitsstudie?

Die Erstellung einer Machbarkeitsstudie lässt sich über die Kommunalrichtlinie der Nationalen Klimainitiative (NKI, Punkt 4.1.6) fördern. Sie verfolgt das Ziel, die Umsetzung wegweisender investiver Modellprojekte im kommunalen Klimaschutz zu ermöglichen.

Als Antragsteller können hier z. B. Kommunen und kommunale Zusammenschlüsse, kommunale Betriebe mit mind. 25 % kommunaler Beteiligung oder Unternehmen, die einen kommunalen Entsorgungsauftrag übernommen haben, auftreten. Die Förderquote liegt bei 50 % der förderfähigen Gesamtausgaben (bzw. 70 % bei finanzschwachen Kommunen).

Die Machbarkeitsstudie wird durch einen fachkundigen externen Dienstleister durchgeführt. Dieser führt eine Bestandsaufnahme sowie eine Potenzialanalyse zur Untersuchung technischer und organisatorischer Treibhausgasminderungspotenziale als Ergebnisse einer Vorplanungsphase durch, in der verschiedene Umsetzungsvarianten bewertet und eine Vorzugsvariante abgeleitet wird.

[www.klimaschutz.de](http://www.klimaschutz.de)

### Wie kann der Bau einer TCR<sup>®</sup>-Anlage gefördert werden?

Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten\*. Allgemein sind Programme wie das Förderprogramm Industrielle Bioökonomie, die Forschungsförderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz im 7. Energieforschungsprogramm, das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) und das Förderprogramm KMU innovativ des BMBF zu nennen.

[www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/industrielle-biooekonomie.html](http://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/industrielle-biooekonomie.html)

[www.ptj.de/angewandte-energieforschung](http://www.ptj.de/angewandte-energieforschung)

[www.zim.de](http://www.zim.de)

[www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/innovativermittelstand/kmu-innovativ/kmu-innovativ\\_node.html](http://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/innovativermittelstand/kmu-innovativ/kmu-innovativ_node.html)

Des Weiteren sei auf die Förderungen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) und der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) hingewiesen, die im Folgenden auch noch einmal näher betrachtet werden.

\*Es sei darauf hingewiesen, dass o.g. Förderprogramme nur eine Auswahl darstellen, die sich zudem auf den Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Leitfadens im Juni 2023 beziehen.



## 6. Finanzierung

Im Rahmen investiver kommunaler Klimaschutz-Modellprojekte fördert die NKL die Umsetzung wegweisender investiver Modellprojekte im kommunalen Klimaschutz. Die geförderten Projekte sollen dabei durch ihre direkten Treibhausgasminderungen einen wesentlichen Beitrag zur schrittweisen Erreichung der Treibhausgasneutralität von Kommunen leisten und durch bundesweite Sichtbarkeit zur Nachahmung und Umsetzung weiterer Klimaschutzprojekte anregen.

Antragsteller sind hier Kommunen (Städte, Gemeinden und Landkreise), Zusammenschlüsse von Kommunen oder Betrieben, Unternehmen und sonstige Einrichtungen mit mindestens 25 % kommunaler Beteiligung.

Im Rahmen der Förderung erfolgen die Zuwendungen als nicht rückzahlbarer Zuschuss und können für einen Zeitraum von bis zu vier Jahren gewährt werden. Die Finanzierung erfolgt grundsätzlich als Anteilfinanzierung mit einer Förderquote von bis zu 70 % der zuwendungsfähigen Gesamtausgaben bis zu einer maximalen Höhe von 10 Mio €.

Hier gilt es insbesondere die Einreichungsfristen zu beachten. Im Rahmen der aktuellen Ausschreibung endet diese am 31.10.2024.

[www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/investive-kommunale-klimaschutz-modellprojekte](http://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/investive-kommunale-klimaschutz-modellprojekte)

Eine weitere Förder- bzw. Finanzierungsmöglichkeit besteht im BMUV-Umweltinnovationsprogramm der KfW (KfW 230). Hier werden innovative Vorhaben gefördert, die den Status der Forschung und Entwicklung verlassen haben und z. B. auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse oder Versuchsanlagen als funktionsfähig angesehen werden, aber noch nicht in realem Maßstab umgesetzt wurden.

Gefördert werden können in- und ausländische gewerbliche Unternehmen, Unternehmen mit kommunaler Beteiligung und auch kommunale Gebietskörperschaften, deren Eigenbetriebe und Zweckverbände.

Es handelt sich hierbei um einen Investitionszuschuss, der i.d.R. bis zu 30 % der förderfähigen Kosten beträgt. Zusätzlich wird über einen zinsverbilligten Kredit in Höhe von maximal 70 % der förderfähigen Kosten mit Zinszuschuss des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) gefördert. D.h. es werden 100 % des Kreditbetrages ausgezahlt.

[www.umweltinnovationsprogramm.de](http://www.umweltinnovationsprogramm.de)

# In 9 Schritten zur Anwendung von TCR®-Pflanzenkohle

## Schritt 7: Anlagenbau

### Was ist beim Bau einer TCR®-Anlage und ihrer Lizenzierung zu beachten?

#### Maschinenrichtlinie, Explosionsschutz und Zertifizierungen

Innerhalb der Europäischen Union bzw. im europäischen Wirtschaftsraum müssen Produkte gewisse Vorgaben erfüllen, um in Verkehr gebracht werden zu dürfen. Verantwortlich für die Einhaltung dieser Vorschriften ist der Hersteller. Maßgeblich ist hier die Richtlinie 2001/95/EG zur allgemeinen Produkthaftung zu nennen. Diese untergliedert sich in weitere Einzelrichtlinien, wie etwa die Maschinenrichtlinie (MRL) 2006/42/EG in Form der 9. Produktsicherheitsverordnung.

Innerhalb der MRL sind grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen an die Konstruktion und den Bau von Maschinen geregelt. In Form einer Risikobeurteilung werden vom Hersteller systematisch unter anderem mechanische, chemische, biologische und physikalische Gefährdungen, welche von der Maschine ausgehen, ermittelt und mittels Risikomatrix bewertet. Dabei muss jede Maschine so konstruiert und gebaut sein, dass eine Gefährdung der an ihr arbeitenden Personen ausgeschlossen wird. Je nach Schadensauswirkungen müssen angemessene Maßnahmen getroffen werden, um die Eintrittswahrscheinlichkeit, die Auswirkungen eines Eintritts oder beides auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

Hinsichtlich des Explosionsschutzes, der Anhang I, Nr. 1.5.7 der MRL unterliegt, sind unter Umständen weiterführende spezielle Gemeinschaftsrichtlinien, wie die EU-Richtlinie 2014/34/EU heranzuziehen. Diese regelt die Anforderungen an elektrische und nichtelektrische Geräte sowie Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen.

Bezüglich der TCR®-Anlage kommen unter Berücksichtigung der gesetzlichen Vorgaben viele verschiedene Maßnahmen zur Anwendung, um ein Höchstmaß an Sicherheit zu gewährleisten. Beispielsweise sorgt bezogen auf den Explosionsschutz eine Kombination aus vorbeugenden Schutzmaßnahmen, Maßnahmen hinsichtlich des Anlagenäußeren sowie der Sicherstellung der „auf Dauer technischen Dichtigkeit“ zur Vermeidung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre in der Umgebung der Anlage für die nötige Sicherheit. Die getroffenen Sicherheitsvorkehrungen und Schutzmaßnahmen werden in Form eines anlagenspezifischen Explosionsschutzdokuments in einer übersichtlichen Form vereint.

Nach Erstellung der erforderlichen Anlagendokumentation und Errichtung der Maschine, erfolgt nun, durch eine notifizierte Stelle wie dem TÜV oder der Dekra, die Akkreditierung. Je nach vorhanden Kompetenzen des Herstellers ist es ratsam, eine notifizierte Stelle bereits während der Planungsphase mit einzubeziehen.

1. Biomassepotenziale
2. Stakeholderanalyse
3. Standort & Anlagenplanung
4. Wirtschaftlichkeit
5. Betreibermodell
6. Finanzierung

## 7. Anlagenbau

8. Anlagenbetrieb
9. Bodenverbesserung

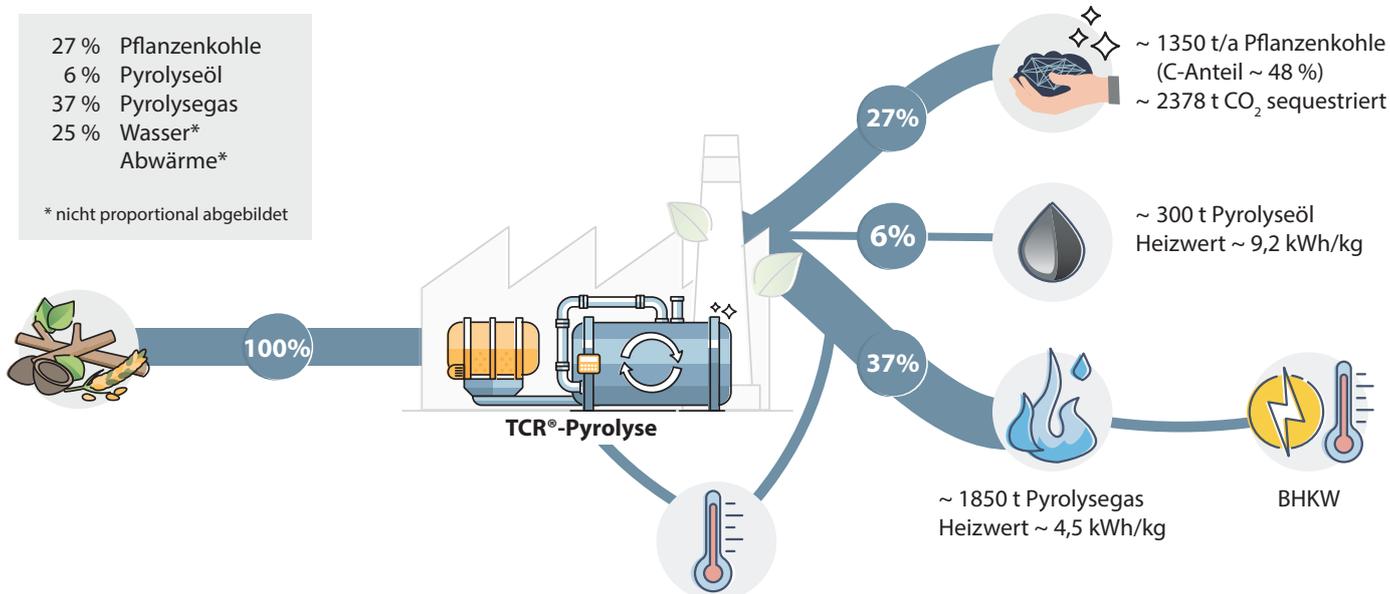
### Wassergefährdende Stoffe

Betreiberseitig gibt es ebenfalls Vorschriften, welche für den Betrieb einer TCR®-Anlage eingehalten werden müssen. Da innerhalb der Anlage wassergefährdende Stoffe (insbesondere das TCR®-Öl) erzeugt bzw. abgefüllt werden, gibt es relevante Vorgaben, welche der „Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ (AwSV) entnommen werden können. Diese Vorgaben gelten bundesweit, je nach Behörde unterscheidet sich jedoch die Auslegung geringfügig.

Die aus dem Betrieb einer solchen Anlage resultierenden Auflagen sind abhängig von der Wassergefährdungsklasse des erzeugten Stoffes als auch von der bevorrateten Menge (indirekt also von der Anlagengröße), welche in einer Gefährdungsstufe von A bis D eingeteilt wird. Anhand dieser Gefährdungsstufe ergeben sich Anforderungen an den Anlagenbetrieb und unter Umständen Auflagen hinsichtlich Prüfpflicht und -häufigkeit. Für kleinere TCR®-Anlagen besteht zumeist eine Anzeigepflicht bei der zuständigen Behörde, bei größeren Anlagen ist zudem eine Genehmigung erforderlich.

### Beispiel für die Masseströme

Holz, vorgetrocknet (Trockensubstanz > 90 %) / 600 °C, 5000 t/a



# In 9 Schritten zur Anwendung von TCR®-Pflanzkohle

## Schritt 8: Anlagenbetrieb und Produktzertifizierung

### Wie wird eine TCR®-Anlage betrieben?

Der personelle Aufwand für den Betrieb einer TCR®-Anlage ist weitestgehend vom Grad der Automatisierung abhängig. Ähnlich wie bei modernen Heizungssystemen ist der Anlagenbetrieb hoch automatisiert und weitestgehend autonom. Es erfolgt ein regelmäßiger Abgleich der Soll- und Ist-Werte der Anlage und bei Abweichung werden selbstständig Gegenmaßnahmen eingeleitet. Im Falle einer Störung wird der Betreiber per SMS oder Anruf mit entsprechender Meldung informiert. Optional ist ein vollständiger Fernzugriff auf die Anlage möglich, um die Betriebszustände in Echtzeit zu verfolgen oder die Steuerung der Anlage per remote vorzunehmen.



Blick in die TCR®-Technikumshalle für das TO-SYN-FUEL-Projekt im Markt Hohenburg, Landkreis Amberg-Weilburg: Gesamtanlage mit TCR®-Einheit, Gasstrecke, Wasserstoffabtrennung und Hydriereinheit. Quelle: Fraunhofer UMSICHT

1. Biomassepotenziale
2. Stakeholderanalyse
3. Standort & Anlagenplanung
4. Wirtschaftlichkeit
5. Betreibermodell
6. Finanzierung
7. Anlagenbau

## 8. Anlagenbetrieb

9. Bodenverbesserung

### Was steckt hinter der CE-Kennzeichnung?

Jeder Hersteller, Händler oder Importeur von Düngemitteln muss für jedes Produkt prüfen, ob eine CE-Kennzeichnungspflicht besteht und welche Pflichten bzw. Risiken sich daraus für ihn ergeben. Doch auch wenn ein Produkt unter keine CE-Richtlinie fällt, so bestehen doch Anforderungen z. B. auf Grundlage des Produktsicherheitsgesetzes oder anderer Rechtsvorschriften.

Die Grundlage für eine CE-Zertifizierung von Düngeprodukten ist in der EU-Düngemittelverordnung VO (EU) 1019/1009 geregelt. Erzeugnisse, die zulässigerweise mit CE-Kennzeichnung versehen werden, dürfen in der EU frei gehandelt werden. Die Voraussetzung für die Verwendung der CE-Kennzeichnung liegt im erfolgreichen Durchlaufen des Konformitätsbewertungsverfahrens i.S.d. Art. 15 i.V.m. Anhang IV VO (EU) 2019/1009.

Das anzuwendende Bewertungsverfahren richtet sich nach der Zugehörigkeit zu den in den Anhängen I und II aufgeführten Produktfunktions- und Komponentenmaterialkategorien (PFC bzw. CMC). Hier sind je nach erfolgter Einstufung in die PFC und CMC unterschiedliche Sicherheits- und Qualitätsanforderungen sowie allgemeine produktbezogene Kennzeichnungsvorschriften zu beachten.

[www.ce-zeichen.de](http://www.ce-zeichen.de)



### Wie kann eine EBC-Zertifizierung der TCR®-Pflanzenkohle erreicht werden?

Im Gegensatz zur CE-Zertifizierung stellt das European Biochar Certificate (EBC) einen freiwilligen europäischen Industriestandard dar. Ziel der EBC-Richtlinien ist es, die Produktion und Qualität von Pflanzenkohle wissenschaftlich stichhaltig, gesetzlich abgesichert, wirtschaftlich verantwortbar und praktisch umsetzbar zu kontrollieren und eine nachhaltige Produktion sicherzustellen. In der Schweiz ist die Zertifizierungsstufe EBC-AgroBio bereits so anerkannt, dass sie als Voraussetzung für den Einsatz von Pflanzenkohle als Bodenverbesserer gilt. Neben der Zertifizierung der bodenverbessernden Wirksamkeit wird in diesem Industriestandard auch das Kohlenstoffsenkenpotenzial zertifiziert.

Zulässige Biomassen für die Herstellung von Pflanzenkohle sind all jene, die auf der EBC-Positivliste verzeichnet sind. Dabei gelten für jede Zertifizierungsklasse bestimmte Einschränkungen. Der Zertifizierungsprozess gliedert sich in mehrere Stufen. Für die Erstzertifizierung ist eine Anmeldung bei European Biochar und der akkreditierten Kontroll- und Zertifizierungsstelle bio.inspecta AG, gefolgt von einem technischen Voraudit sowie einer Probenahme und -analyse notwendig.

Im Voraudit erfolgt u. a. die Anpassung der EBC-Vorgaben hinsichtlich akkreditierter Probenahme und Gütesicherung auf die Besonderheiten des eigenen Betriebes sowie die Einweisung in die EBC-Methodik und -Dokumentation inklusive des Vorgehens bei der jährlichen Kontrolle durch die bio.inspecta AG. Für die Analytik wird beim Erstaudit vor Ort durch einen akkreditierten Probenehmer eine repräsentative Probe gezogen und in ein EBC-akkreditiertes Labor gesendet. Für alle Zertifizierungsklassen muss mindestens nach dem EBC-Basis-Zertifizierungspaket analysiert werden. Der Erstzertifizierung folgt eine fortlaufende Überwachung in Form von Audits und eine regelmäßige analytische Überwachung der Produktqualität. Es gelten die aktuellen Richtlinien, abrufbar unter

[www.bio-inspecta.ch/de/services](http://www.bio-inspecta.ch/de/services)

[www.european-biochar.org](http://www.european-biochar.org)

# In 9 Schritten zur Anwendung von TCR®-Pflanzenkohle

## Schritt 9: Einsatz von TCR®-Pflanzenkohle zur Bodenverbesserung

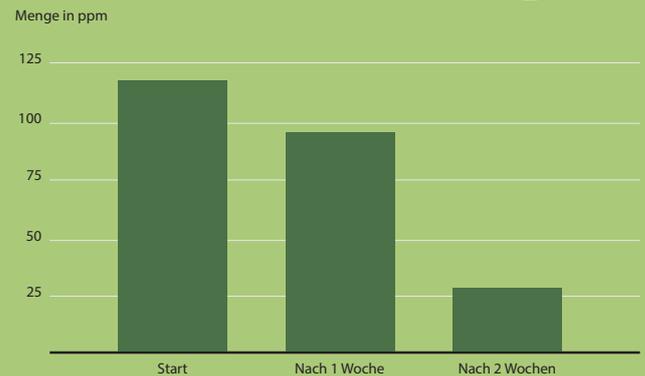
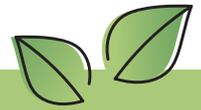
### Wie muss die TCR®-Pflanzenkohle für den Einsatz als Bodenverbesserer vorbereitet werden und wie bringt man sie in den Boden ein?

TCR®-Pflanzenkohle fällt in trockener, pulvriger oder pelettierter Form an. Sie muss in den Boden eingearbeitet werden, um nicht vom Wind weggeweht zu werden. Um diesem dann nicht unbeabsichtigterweise Wasser und Nährstoffe zu entziehen, ist es wichtig, die Pflanzenkohle vor dem Vergraben zu beladen. Im Folgenden wird ein Verfahren beschrieben, in dem die Kohle "in Handarbeit" beladen wird. Technische Lösungen für größere Maßstäbe sind selbstverständlich denkbar.

**Achtung:** Bitte achten Sie beim Handling der unbeladenen Pflanzenkohle darauf, geeignete Schutzmaßnahmen (Kleidung, Handschuhe, Schutzmaske) zu ergreifen!

Das Beladen kann z. B. mit Hilfe von Gülle, Mist, Gärresten o.a. Düngemitteln geschehen, wobei auf einen ausreichenden Wasseranteil geachtet werden muss, um die Pflanzenkohle dahingehend abzusättigen. Die Komponenten werden in Fässern gründlich durchmischt und mindestens zwei, besser vier Wochen stehen gelassen, während derer sich die Pflanzenkohle mit Wasser und Nährstoffen vollsaugt. Positiver Nebeneffekt: Die Pflanzenkohle nimmt neben den Nährstoffen und Wasser auch Gerüche auf!

Im Anschluss wird die nun beladene Pflanzenkohle auf die vorbereitete Fläche aufgebracht - im Beispiel der InterPyro-Testfläche in Wolmirstedt pro m<sup>2</sup> Beet ein Gemisch aus 3 kg TCR®-Pflanzenkohle und 3 l Rindermist (zzgl. Wasser). Mit Hilfe einer Drillmaschine wird das Substrat in den Wurzelbereich der zukünftigen Anpflanzungen eingebracht, i.d.R. in 10 bis 15 cm Tiefe und anschließend gewalzt. Nun wirkt die Pflanzenkohle wie ein Depot, das den Pflanzen über längere Zeiträume gleichmäßig Nährstoffe zur Verfügung stellt und gleichzeitig deren Auswaschung reduziert.



Einfluss der Beladungszeit auf die Sorption des mineralischen Stickstoffs. Im Versuch wurde die Gesamtstickstoffmenge in der überstehenden Lösung vermessen.



Schema zum Feldversuch der Hochschule Anhalt.

Prüfglieder:

a0 = Kontrolle

a1 = mit Gärrest beladene Pflanzenkohle  
(25 m<sup>3</sup>/ha + 30 t/ha Pflanzenkohle)  
und Zwischenfrucht-Aussaat

a2 = Gärrest (25 m<sup>3</sup>/ha) und Zwischenfrucht-Aussaat  
Fruchtfolge: Silomais (Erntejahr 2022)  
gefolgt von Winterweizen (Erntejahr 2023).



Pflanzenkohle-Testfläche der Hochschule Anhalt (links: a1, rechts: a2) in Bernburg-Strenzfeld.

### In Bernburg-Strenzfeld wird Kohle vergraben - Ergebnisse aus den Feldversuchen der Hochschule Anhalt

Für den Feldversuch der Fruchtfolge Silomais-Winterweizen auf einem Schwarzerde-Standort erfolgt vor dem Einbringen der Kohle deren Beladung mit flüssigem Gärrest aus einer NAWARO-Biogasanlage.

(Verhältnis TCR®-Kohle : Gärrest = 1:1)

Mit einer Aufwandmenge von 30 t/ha wird die beladene Pflanzenkohle vor der Aussaat einer Zwischenfrucht im Spätsommer wurzelnah in den Boden eingebracht. Der Feldbereich wird einer unbehandelten Kontrolle (ohne Zwischenfrucht und Kohle, a0) und einer Gärrest-Zwischenfrucht-Variante der gleichen Fruchtfolge (a2) gegenübergestellt. Die Analyse konzentriert sich auf folgende ausgewählte Parameter:

- Gehalt des organischen Kohlenstoffs als Referenz für die Entwicklung des Humusgehaltes

### Relative Wirkung von TCR®-Pflanzenkohle auf wichtige Bodeneigenschaften (3 Monate nach Ausbringung)

Ergebnisse: Im Boden waren drei Monate nach Ausbringung die ersten Veränderungen messbar:

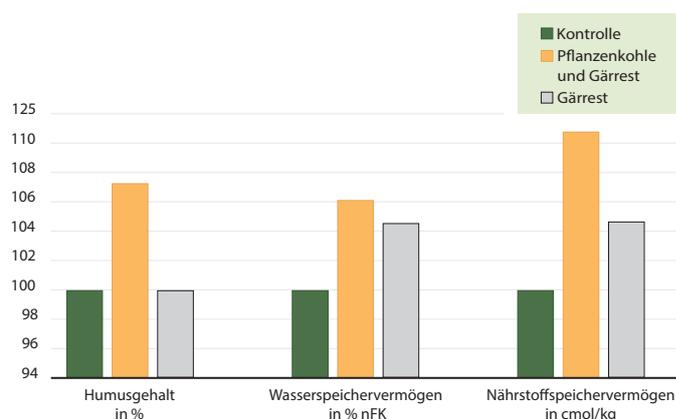
- Der Humusgehalt für die Pflanzenkohle-Variante erhöhte sich um 7,4 %. Hinsichtlich des Wasserspeichervermögens (nutzbare Feldkapazität, nFK) war die Kohlevariante gegenüber der Kontrolle um 1,6 % überlegen. Im Merkmal Nährstoffspeichervermögen skalierte der Vorteil für die beladene Pflanzenkohle um ca. 11%.
- Als Bestätigung für die Änderung der Bodeneigenschaften spricht auch der Pflanzenbestand in der Kohlevariante. Das Aufgangsverhalten der Zwischenfrucht Gelbsenf war wesentlich homogener und allgemein mit 6 zusätzlichen Pflanzen je 0,25 m<sup>2</sup> günstiger gegenüber der Gärrestvariante.

- Entwicklung der Nährstoffdynamik insbesondere bei Stickstoff
- Einfluss auf die nutzbare Feldkapazität beim Bodenwasser

Im Feld vor Ort werden fachgerechte und qualitative Beobachtungen (Bonituren) durchgeführt:

- Beurteilung des Feldaufgangs anhand der Pflanzen je Quadratmeter
- Entwicklung und Auffälligkeiten der Pflanzen in der Vegetationsperiode
- Bestandesdichte der Kultur zum Zeitpunkt der Ernte

Mit der Ernte der angebauten Kultur wird für jede Parzelle der Ertrag ermittelt und es erfolgt abschließend die Bestimmung der typischen Qualitätsparameter je nach Kultur.



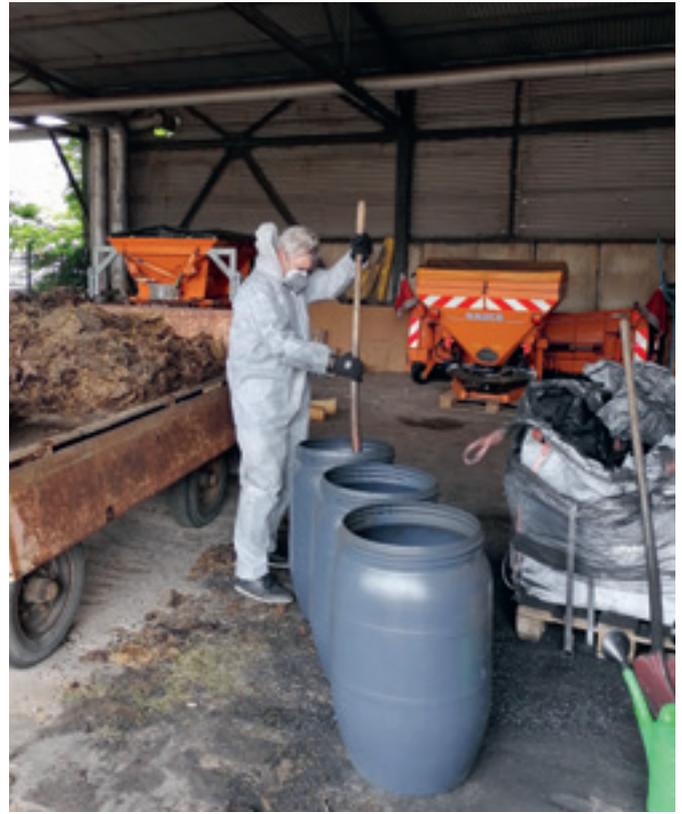
Quelle: Hochschule Anhalt

- Für die Hauptkultur Silomais ergab sich nach einer schwierigen Aussaat und einem heterogenen Bestand über alle Varianten am Ende ein Ertragsvorsprung der Kohlevariante um 7,8 % verglichen mit der Gärrest-Behandlung von 4,9 %.

## Zu guter Letzt: Eindrücke aus der Projektlaufzeit



Das Ausgangsmaterial - TCR®-Pflanzenkohle - bereit zum Beladen  
Quelle: RKW.



Ein Mitarbeiter durchmischt die Komponenten TCR®-Pflanzenkohle, Rindermist und Wasser. Quelle: RKW



QR-Code scannen und Video zur Bepflanzung des Kräuterbeets in Schneidlingen ansehen.

Jetzt noch mehr entdecken!



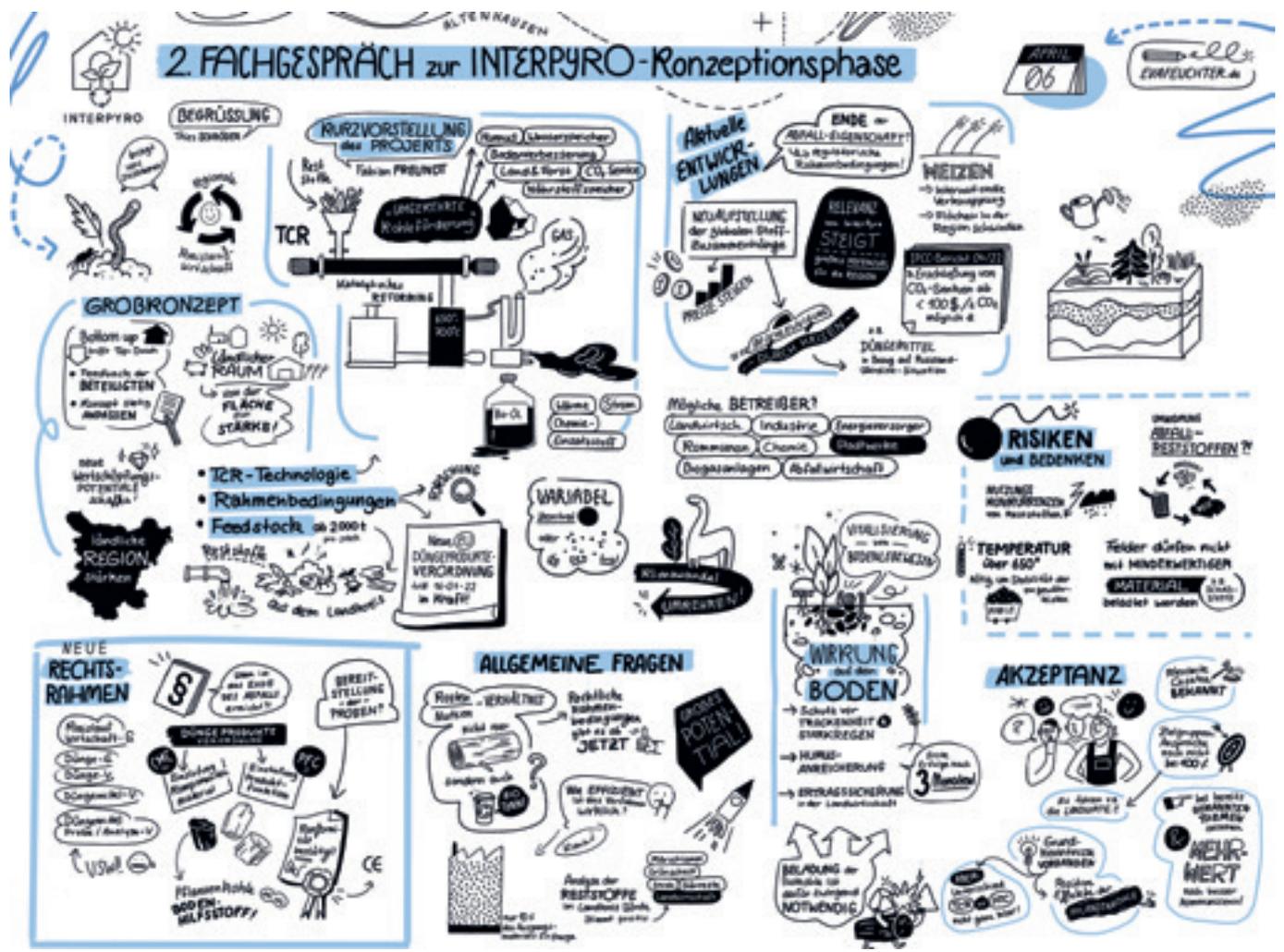
Hier finden Sie uns:  
Ginsterweg, 39326 Wolmirstedt



Vier Wochen später: Die beladene TCR®-Pflanzenkohle wird ausgebracht und in den Boden eingearbeitet. Quelle: RKW



Das fertig beplanzte Versuchsfeld in Wolmirstedt. Quelle: RKW



Sketch-Note des 2. Reallabors InterPyro am 06.04.2022 in Altenhausen. Quelle: Eva Feuchter



Eindrücke vom 4. Reallabor InterPyro am 15.03.2023 in Wolmirstedt. Quelle: RKW

## Zusammenfassung und Ausblick

Der Klimawandel ist da. Die gesetzlichen Verpflichtungen fordern eine Absenkung der THG-Emissionen auf NULL bis zum Jahr 2045, was eine Dekarbonisierung der Energieversorgung in Unternehmen und Kommunen notwendig macht. Eine schnellstmögliche Klimaneutralität ist damit kein schmückendes Beiwerk, sondern alternativlose Notwendigkeit.

Gleichzeitig sind noch viele Hürden zu nehmen. Noch immer gibt es große bürokratische Bremsen und trotzdem – für Betriebe und auch Kommunen geht es bereits jetzt schon nicht mehr nur um isolierte Maßnahmen, sondern um ganzheitliche Klimastrategien. Auf die lange Bank geschoben wird dies auch zum wirtschaftlichen Desaster. Nämlich spätestens dann, wenn die Zertifikate für die CO<sub>2</sub>-Produktion große Löcher in die Bilanzen reißen.

Die systematische Erfassung unternehmensspezifischer Treibhausgasbilanzen erfolgt dabei in drei Bereichen: bei den direkten Emissionen (z. B. Produktionsanlagen, Transportsysteme), den indirekten Emissionen (externer Bezug von Strom und Wärme) sowie all den Emissionen, die nicht direkt vom Unternehmen kontrolliert werden können (vor- und nachgelagerte Lieferketten). Daraus ergeben sich klassische Strategien der Erhöhung der Energieeffizienz, der Vermeidung der Freisetzung klimaschädlicher Gase, des Ersatzes fossiler Rohstoffe sowie des vermehrten Einsatzes „grüner“ Energie. Gleichzeitig schöpft der alternativlose Weg der Einsparungen von Energie und Vermeidung von schädlichen Emissionen nicht alle Potenziale aus.

Um die globale Erwärmung zu minimieren und eine begrenzte Menge schwer vermeidbarer Treibhausgasemissionen aufzufangen, muss ein Teil des emittierten CO<sub>2</sub> wieder aus der Atmosphäre entfernt werden. Methoden, die dies ermöglichen, werden als „negative Emissionen“ bezeichnet. Eine solche Technologie stellt das thermokatalytische Reforming (TCR®) dar. Sie verbindet nachhaltige Wertschöpfung, Kreislaufwirtschaft und Energieerzeugung mit Klimaschutz und kann somit einen wesentlichen Beitrag für eine attraktive und damit zukunftsgerichtet aufgestellte Region leisten.

Regional verfügbare Biomassereststoffe, die in einem Pyrolyseprozess zu Pflanzenkohle als Bodenverbesserer, biobasiertem thermisch stabilen Öl und biobasiertem, wasserstoffreichen Gas verarbeitet werden, bilden hierfür die Grundlage und leisten durch die Möglichkeit der Nutzung von Abwärme einen wichtigen Beitrag für eine kommunale Wärmeversorgung.

Die Rückführung von Biomasseabfällen in die Natur durch das Einbringen hochwertiger Pflanzenkohle in Böden verbessert dauerhaft die Beschaffenheit von Böden und erhöht die Speicherfähigkeit von Wasser. Darüber hinaus wird CO<sub>2</sub> in Form von Kohlenstoff gebunden, und das nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft über mehrere 100 Jahre. In diesem Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Sequestrierung liegt ein großes Potenzial. Auch für Ihre Region!



## Lese- und Linktipps

### **www.interpyro.de**

Weitere Informationen aus dem Projekt InterPyro.

### **[https://websites.fraunhofer.de/innolab/index.php/TCR\\_Pyrolyse](https://websites.fraunhofer.de/innolab/index.php/TCR_Pyrolyse)**

Wissens-„Wiki“ des Projekts InterPyro.

### **<https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/de/unsere-loesungen/tcr-technologie.html>**

Webseite des Fraunhofer UMSICHT zum Thema TCR®-Technologie.

### **<https://fachverbandpflanzenkohle.org/>**

Webseite des Fachverbands Pflanzenkohle.

### **<https://www.european-biochar.org/de/>**

Webseite zum Thema EBC-Zertifizierung von Pflanzenkohle.

### **<https://www.ithaka-institut.org/de>**

Webseite des Ithaka-Instituts (internationales Netzwerk für Kohlenstoff-Strategien und Klimafarming und Urheber der EBC-Zertifizierung).

### **„Cool Down“**

Albert Bates, Kathleen Draper, ISBN 978-3-96238-250-6, 2021

### **„Energie-Zukünfte 2050“**

Abicht, L.; Berger, J. (2022):

Eine Studie der Serie „Die Fünfte Industrielle Revolution“



**INTERPYRO**

Ernährung | Klima | Biodiversität

InterPyro ist eines von 7 Modellprojekten, die zur Förderung über das wettbewerbliche Förderprogramm „REGION.innovativ – Kreislaufwirtschaft“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) ausgewählt wurden.

Das Förderprogramm REGION.innovativ unterstützt regionale Bündnisse dabei, sich neuen Forschungs- und Innovationsthemen zu widmen und mit neuen Partnern zusammenzuarbeiten.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**REGION.**  
**innovativ**

**Gemeinde  
Barleben**



**ENERGIEAVANTGARDE  
ANHALT**



**RKW**  
Sachsen-  
Anhalt

**Stadt  
Wolmirstedt**



 **Fraunhofer**  
UMSICHT

 **Hochschule Anhalt**  
Anhalt University of Applied Sciences

 **Fraunhofer**  
IMWS