

Ideenaufschrieb und erster Konzeptentwurf zum Thema „Regionales Biomasseupcycling mittels Pyrolyse“

Von Felix Martens
Am Kanal 92
26689 Apen
Tel.: 0176 9652 0838
E-Mail: jan_felix.mar@web.de

1. Persönlicher Hintergrund und Motivation

Nach meiner Mechanikerausbildung und einem Agrartechnik-Studium habe ich solange bei einem Landmaschinenhersteller im Werkskundendienst „nur für Geld“ gearbeitet, bis ich mir schließlich die große Sinnfrage gestellt habe:

„Was haben andere Menschen davon, dass es mich bzw. meine Unternehmung gibt?“, fragte ich mich selbstkritisch.

Daraus entstand der Wunsch eine Unternehmung zu generieren, bei der alle Beteiligten profitieren können. Damit einhergehend entstand die Vision, ein Natur- und Upcyclingprodukte-Unternehmen mit einer Pyrolyseanlage aufzubauen im mehrfachen „win-win-Prinzip“:

1. Über die Möglichkeit einer kostengünstigen und regionalen Biomasseentsorgung würden die **Entsorger** (Privatleute, Kommunen, gewerbliche Betriebe, landwirtschaftliche Betriebe etc.) profitieren, zudem wird ein Anreiz geschaffen Abfallstoffe legal zu entsorgen.
2. Über den mittels Pyrolyse aus der Biomasse hergestellten Wertstoff Pflanzkohle würden **Abnehmer** der Kohle profitieren.
3. Die Pyrolyseanlage leistet gleichzeitig einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz, denn 1 t Pflanzkohle bindet Kohlenstoff aus bis zu 3,6 t CO₂ Jahrtausende lang im Boden! Somit können wir im Landkreis Ammerland unseren Beitrag zum **Klimaschutz** leisten und die **Umwelt** profitiert!
4. Die deutlich negative CO₂-Bilanz der Pyrolyseanlage produziert aktiv eine CO₂-Senke, die am Markt angeboten werden kann. **Anderen Firmen** kann damit dabei geholfen werden, die politischen Ziele einer CO₂-Neutralität umzusetzen.
5. Die beim Pyrolyseprozess abfallende Wärmeenergie von bis zu 600 kW_{th} ermöglichen durch eine direkte Wärmenutzung oder durch die Umwandlung zu Strom verschiedene Möglichkeiten zur **regionalen Energienutzung**.
6. Die Vermarktung der Outputs Pflanzkohle, Energie und CO₂-Senkenzertifikate ermöglichen dem **Anlagenbetreiber** die Wirtschaftlichkeit und schließlich den Betrieb einer Pyrolyseanlage.

2. Mission Klimaschutz

Das vom Menschen in die Atmosphäre eingebrachte Kohlendioxid (CO₂) geht vor allem auf zwei große Quellen zurück: Die Verbrennung fossiler Brennstoffe und die Brandrodung von Wäldern. Klimaforscher stellen düstere Umweltfolgen durch die resultierende Erderwärmung in Aussicht. Im Buch „Cool Down – Mit Pflanzkohle die Klimakrise lösen?“ von Albert Bates und Kathleen Draper zeigen unter anderem folgende drei Fakten den Ernst der Lage auf:

1. Derzeit besteht die Wahrscheinlichkeit von **93%**, dass der Planet bis zum Jahr 2100 um 4°C wärmer sein wird als heute. Das ist in etwa die Temperaturdifferenz zwischen der letzten Eiszeit und unserem heutigen Klima. Mit viel Glück könnten kleine Gruppen von

Menschen wie die Inuit oder die Kuna überleben, **eine globale Zivilisation hätte jedoch keine Chance.**

2. Ein zukünftiges Gleichgewicht von positiven und negativen Emissionen würde den Klimawandel nicht mehr stoppen können.
3. Selbst die vollständige Reduzierung von Emissionen aus fossilen Brennstoffen auf null würde nicht genügen, um das 2-Grad-Ziel des Pariser Klimaabkommens zu erreichen.

Die Faktenlage macht klar, dass eine CO₂-Neutralität nicht ausreicht und das Pariser Ziel nur erreicht werden kann, wenn CO₂ aus der Atmosphäre entfernt wird („Drawdown“). Es gibt fünf allgemein anerkannte Kategorien der Negativemissionstechnologie:

- Änderung am Landnutzungsmanagement (Humusaufbau, Aufforstung etc.)
- Enhanced Weathering (Beschleunigte Gesteinsverwitterung)
- Marine Permakultur (Algen- und Planktonzucht)
- Direct Air Capture (DAC)
- PyCCS (Pyrolyse mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung) = Pflanzenkohle/Karbonisate

Anhand der kalkulierbaren Kohlenstoffausbeuten und des begrenzten verfügbaren Landes ist davon auszugehen, dass mit Ackerflächen und Wäldern allein die Pariser Klimaschutzziele nicht erreicht werden können. Weitere aufgeführte Technologien scheitern oft aufgrund hoher Personal- Zeit oder Energiekosten an mangelnder Wirtschaftlichkeit oder an negativen Umweltauswirkungen. Das Potenzial der PyCCS-Technologie hingegen gibt Hoffnung: Die potenzielle Kohlenstoffbindung beträgt über **50 Gt CO₂-Äquivalente/Jahr!**

Was wir jetzt brauchen, ist eine kostengünstige, schnell einsetzbare, skalierbare Methode zur Kohlenstoffbindung, die schnell Akzeptanz in Politik und Gesellschaft findet und weder Kohlenstoffsteuern noch Offsetmärkte erfordert: PyCCS-Pflanzenkohle/ -Karbonisate! Es ist eine neue industrielle Revolution, aber diesmal fließt der Kohlenstoff von der Atmosphäre zurück in den Boden und damit in die entgegengesetzte Richtung. Die Pflanzenkohle ermöglicht eine dynamische Kreislaufwirtschaft und stellt das Gegenteil zu einer Linearwirtschaft dar, die mit einer wertvollen Ressource beginnt und mit einer toxischen Belastung und Abfallstoffen endet.

Kohlenstoffkreisläufe sind der Schlüssel, um mit einfacher Technik leicht verfügbare und nachhaltig produzierte Biomasse, derart wirtschaftlich zu nutzen, dass damit der Abbau fossiler Rohstoffe abgelöst werden kann. Wenn PyCCS-Karbonisate bspw. in Gipsputzen, Farben, Trockenbauwänden, Dächern, Isolierung oder Ziegel eingebaut werden, können sie dort für hunderte Jahre überdauern, nur um dann eine ganze Zeit später wiederverwendet zu werden, etwa als Bodenverbesserer oder für neue Baumaterialien. Kohlenstoffkaskaden sind also nicht nur kurzfristig gedacht, sondern können über Jahrhunderte aufrechterhalten werden. Wie lässt sich diese Technologie also im Ammerland anwenden?

Die oberste Priorität sollte erstmal sein, die regionale Biomasse von der linearen Wirtschaft (und der energetischen Verbrennung) wiederzugewinnen. Die lineare Abfolge aus Rohstoffabbau, Verarbeitung und Konsum hin zu Müll und Umweltverschmutzung werden durch geschlossene Kohlenstoffkreisläufe ersetzt. Es sollten innovative Kaskaden gefunden werden, in denen Material nacheinander als Lebens- und Futtermittel, Medikamente, Fasern, Bioverbundwerkstoffe und Wasserfilter genutzt werden, zur Strom- und Wärme Gewinnung dienen, als Baustoffe, in Straßen und Brücken eingebaut werden, bevor der vom Sonnenlicht produzierte Kohlenstoff irgendwann wieder im Boden endet, wo er lebenswichtige Ökosysteme wiederherstellt, wiederbelebt und regeneriert. Dies ist die dritte industrielle Revolution, die Kohlenstoffrevolution!

3. Was ist Pflanzenkohle?

Pflanzenkohle ist ein Naturstoff, den bereits die Inkas zur Herstellung fruchtbarster Erde



(Schwarzerde, „Terra preta“) verwendeten. Sie entsteht durch thermische Karbonisierung (Pyrolyse) von Biomasse wie unbehandeltem Holz, Hecken- oder Grünschnitt sowie anderer holziger Biomassen. Spezielle Anlagenbauer ermöglichen ebenfalls die Karbonisierung von weiteren schwierigen Inputmaterialien wie bspw. Klärschlämme, Gärreste oder Hühnertrockenkot – der Output wird bei nicht holzigem Input

dann als „Karbonisat“ bezeichnet. Durch ihre poröse Struktur und ihre gewaltige innere Oberfläche von 300-900 m²/g kann Pflanzenkohle Wasser und Nährstoffe speichern und Schadstoffe binden.

Zudem bleibt rund die Hälfte vom Kohlenstoff des Ausgangsmaterials in ihr langfristig gebunden.

Diese Eigenschaften machen sie zu einem wahren Alleskönner, der in der Landwirtschaft, Industrie, für Gewässer und Klimaschutz, in Kommunen und beim Gebäudebau eine wichtige Rolle spielen kann.

So sieht der Fachverbund Pflanzenkohle e.V. inzwischen **über 50 Nutzungsmöglichkeiten für Pflanzenkohle/Karbonisate**. Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Anwendungsgebiete:

Tierfütterung	Bodenverbesserung	Baustoff-Additiv oder Produktionsfüllstoff	Prozessoptimierung
<p><u>Anwendung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Direkt als Futtermittel • In der Einstreu • Zur Güllebehandlung <p><u>Auswirkung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Schad- und Giftstoffbindung im Magen-Darm-Trakt • Mögliche Stärkung des Immunsystems und der Nerven • Geringere Zellzahlen der Milch • Bessere Tiergesundheit • Reduziert Gerüche 	<p><u>Anwendung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Direkt auf Ackerböden • Kompost • „Terra Preta“-Herstellung • Stadtraumpflege <p><u>Auswirkung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Humusaufbau wird erhöht • Hervorragende Fähigkeit, Nährstoffe und Wasser zu speichern • Die Nitratbelastung in Boden und Grundwasser wird deutlich reduziert • Verbessert die Stressresistenz von Stadtbäumen • Widerstandsfähigkeit der Pflanzen wird deutlich verbessert 	<p><u>Anwendung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Zusatzstoff/Ersatzstoff in der Zementindustrie • Herstellung von Baumaterialien • Dämmstoff bei Gebäudekonstruktionen • Trinkwasser- und Abwasserbehandlung <p><u>Auswirkung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Dekontamination • Reinigt schadstoffbelastete Böden • Absorbiert elektromagnetische Strahlungen • Filtriert Spurenstoffe wie Antibiotika und Hormone aus dem Wasser 	<p><u>Anwendung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Biogasanlage („Güllekohle“) • Kompost <p><u>Auswirkung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Höhere Gasertrag = gesteigerte Energieerzeugung • Geruchsbindung der Gülle • Stickstoffbindung = weniger Ammoniakverluste • Nährstoffe werden pflanzenverfügbar gehalten • Kein Ausschwemmen der Gülle-Nährstoffe ins Grundwasser • Bis zu 50% weniger Nährstoffverluste während der Kompostierung

Neben den Prozessparametern der Kohleherstellung ist die Qualität des Eingangsmaterials entscheidend für die Kohlequalität. Daher sollten die Ausgangsmaterialien streng kontrolliert und die Pflanzenkohle bestenfalls sogar zertifiziert werden. Alle notwendigen Anforderungen werden durch eine EBC-Zertifizierung (European Biochar Certificate) sichergestellt. So kann bspw. Pflanzenkohle aus holzigen Eingangsmaterialien als Futterkohle („EBC-Futter“) zertifiziert und vermarktet werden,

während Karbonisate aus belastetem Altholz lediglich als „EBC-Rohstoff“ zertifiziert und als Baustoff-Additiv oder Produktionsfüllstoff vermarktet werden können.

Die Nutzbarmachung der PyCCS-Technologie ist zudem eine Riesenchance für die zukünftige Verwertung von Klärschlamm. Klärschlamm ist die wichtigste Phosphorreserve der Zukunft, da die vorhandenen Lagerstätten bekannterweise in wenigen Jahrzehnten aufgebraucht sind („peak phosphorus“). Die Hauptprobleme bei der direkten Verwertung sind die Hygiene (Stichwort EHEC, Botulismus) und die organischen Schadstoffe. Diese beiden Hauptprobleme werden durch die Verkohlung der Schlämme bei hohen Temperaturen eindeutig gelöst und die im Klärschlamm enthaltenen Nährstoffe können nutzbar gemacht und im Kreislauf erhalten werden.

PyCCS-Karbonisate leisten wie eingangs beschrieben einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz – wenn nicht sogar den für die Zukunft wichtigsten Beitrag! Während Pflanzenreste das in sich gebundene CO₂ bei der Verbrennung oder Verrottung wieder freisetzen, wird dieses im Rahmen eines Pyrolyseprozesses zu einem großen Anteil in der Kohle gebunden. So ist 1t Pflanzenkohle in der Lage den Kohlenstoff aus bis zu 3,6 t CO₂ Jahrtausende lang im Boden zu lagern. Mit diesem Herstellungsverfahren wird somit nicht nur der CO₂-Ausstoß (wie bei Vorgaben zur Reduzierung des Verbrauchs von Energie) vermindert, sondern das CO₂ wird aus dem Kreislauf der Atmosphäre herausgenommen und kann langfristig eingelagert werden.

Folgende positiven Umwelteffekte von Pflanzenkohle sind bislang bekannt und experimentell belegt (nicht enthalten sind Karbonisate aus nicht holziger Biomasse, die weitere positive Effekte bieten):

- Pflanzenkohle ist im Boden hunderte bis tausende Jahre stabil; PyCCS-Pflanzenkohle stellt in Böden (wenn vorhanden) stets den ältesten Bodenkohlenstoff-Pool dar.
- Pflanzenkohlezugabe reduziert die Emissionen der klimarelevanten Gase Methan und Lachgas aus dem Boden.
- Pflanzenkohle bindet Nährstoffe und reduziert dadurch die Auswaschungsverluste - vor allem den Eintrag von Nitrat ins Grundwasser.
- Pflanzenkohle erhöht die Effizienz von eingesetzten Mineraldüngern - der Düngeaufwand, und damit die Emissionen bei der Produktion werden deutlich reduziert.
- Pflanzenkohle erhöht die mikrobiologische Aktivität des Bodens und schafft die Grundvoraussetzung für eine bodenautarke C-Sequestrierung, also für Humusaufbau. Gleichzeitig wird die CO₂-Freisetzung aus den Böden pro g vorhandenem C-Gehalt reduziert (Terra-Preta-Phänomen). Dieser Effekt ist auf den Originalstandorten in den Tropen bereits mehrfach nachgewiesen worden, ebenso für Kompost versus Kohlenstoff-Kompost, hergestellt in einem Schweizer-Gießener Kooperationsprojekt.
- Pflanzenkohle in Kombination mit organischem Dünger erhöht oft die Bodenfruchtbarkeit und verbessert damit das Pflanzenwachstum, was wiederum zu einer verstärkten CO₂-Einbindung in das Ökosystem führt.
- Pflanzenkohle erhöht die Wasserspeichereffizienz vor allem von sandigen Böden, und erhöht so die Wassernutzungseffizienz von Pflanzen – dadurch können (in Verbindung mit einer verstärkten Humusanreicherung) die Auswirkungen von Überschwemmungen und Trockenperioden reduziert, bzw. bei flächendeckender Anwendung im Idealfall ausgeglichen werden.
- Bei der Produktion von Pflanzenkohle wird Energie frei. Es handelt sich dabei um die erste technische Möglichkeit der CO₂-negativen Energiebereitstellung, da gleichzeitig Kohlenstoff gebunden wird.
- Durch die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit sinken der Produktionsaufwand und vor allem der Maschinenaufwand für die Bodenbearbeitung.

4. Das Pyrolyseverfahren

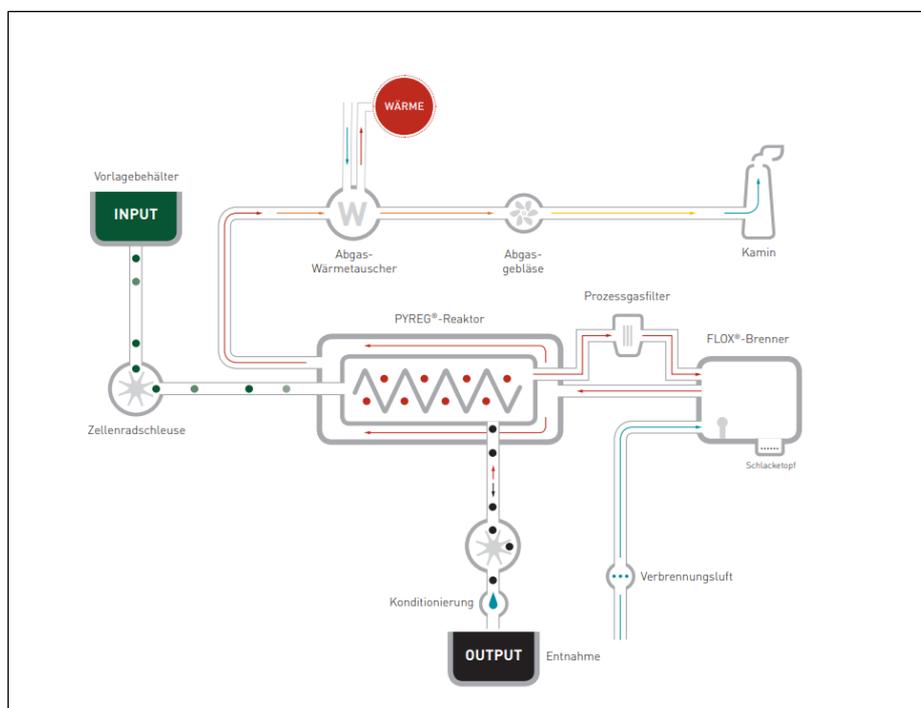
Bei dem Pyrolyseverfahren handelt es sich dabei um die thermochemische Spaltung organischer Verbindungen unter Sauerstoffausschluss bei Temperaturen zwischen 380 °C und 1000 °C – es erfolgt dabei keine Verbrennung!

Verschiedene Anlagenhersteller stellen teils übereinstimmende Anforderungen an das Eingangsmaterial:

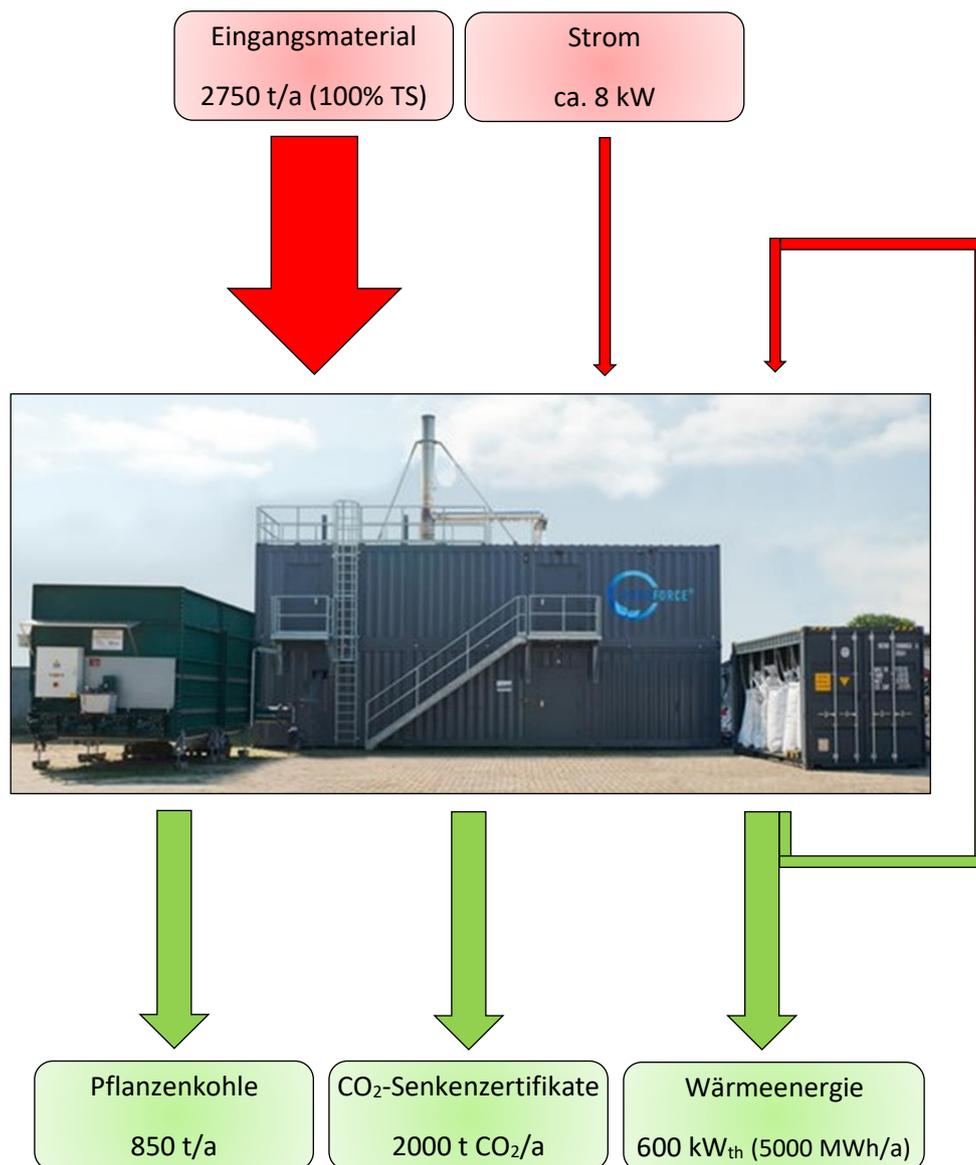
- Schütt- und Rieselfähig
- Mindestheizwert 10 MJ/kg
- Min. 65% TS-Gehalt, optimal 80%
- Partikelgröße max. 30-70 mm

Neben holzartigen Eingangsmaterialien geben die Anlagenhersteller auch weitere Möglichkeiten an. So erlaubt die Firma PYREG bspw. eine breite Palette an kohlenstoffhaltigen Eintragsstoffen wie Gärreste, Mist, Trockenkot, Getreideabfälle, Ausputz, Spelzen, Silage-Abfälle, Schlachtabfälle, Heu, Stroh, Hackschnitzel, KUP-Holz, Grünschnitt, Obststeine, Nussschalen, Kompostabsieb, Trester, Treber, Altgummi, Altreifen, Sturmschäden, Verschleißteile, Stoff/Baumwolle, Lobby Waste, Papier, Pappe, Lackreste und vieles mehr.

Das folglich abgebildete Funktionsprinzip der PYREG-Anlage zeigt exemplarisch die Funktion einer Pyrolyseanlage: Das Eingangsmaterial wird von Eintragschnecken kontinuierlich dem Reaktor zugeführt, Zellenradschleusen am Ein- und Ausgang dichten den Reaktor dabei luftdicht ab. Durch das Erhitzen der Biomasse bei 500-700 °C unter Luftabschluss wird diese nicht verbrannt, sondern zunächst schonend entgast. Anschließend werden die entstehenden Schwelgase durch einen automatisierten Prozessgasfilter von Staub befreit und in einer nachgeschalteten Brennkammer im FLOX®-Verfahren (flammenlose Oxidation) bei rund 1.000 °C unter kontrollierter Sauerstoffzufuhr verbrannt. Problemstoffe wie Öle oder Teere entstehen dabei nicht, da das Schwelgas nicht abgekühlt wird, sondern durch die vollständige Oxidation in der Nachbrennkammer thermisch gereinigt wird. Dabei wird die notwendige Hitze erzeugt, um den Prozess autark zu betreiben – eine zusätzliche Wärmezufuhr wird nur einmalig zum Start der Anlage benötigt! Darüber hinaus entsteht ein Energieüberschuss von bis zu 600 kW_{th}, der z.B. für die Trocknung feuchter Biomassen oder zum Heizen genutzt werden kann. Die heiße Pflanzenkohle wird durch Austragschnecken rausgeführt und dabei mit Wasser besprüht, damit diese abkühlt, nicht zu brennen beginnt und nicht staubt.



Die folgende Abbildung zeigt eine Beispiel-Massenbilanz für eine Carbo-FORCE „CF 250“-Anlage:

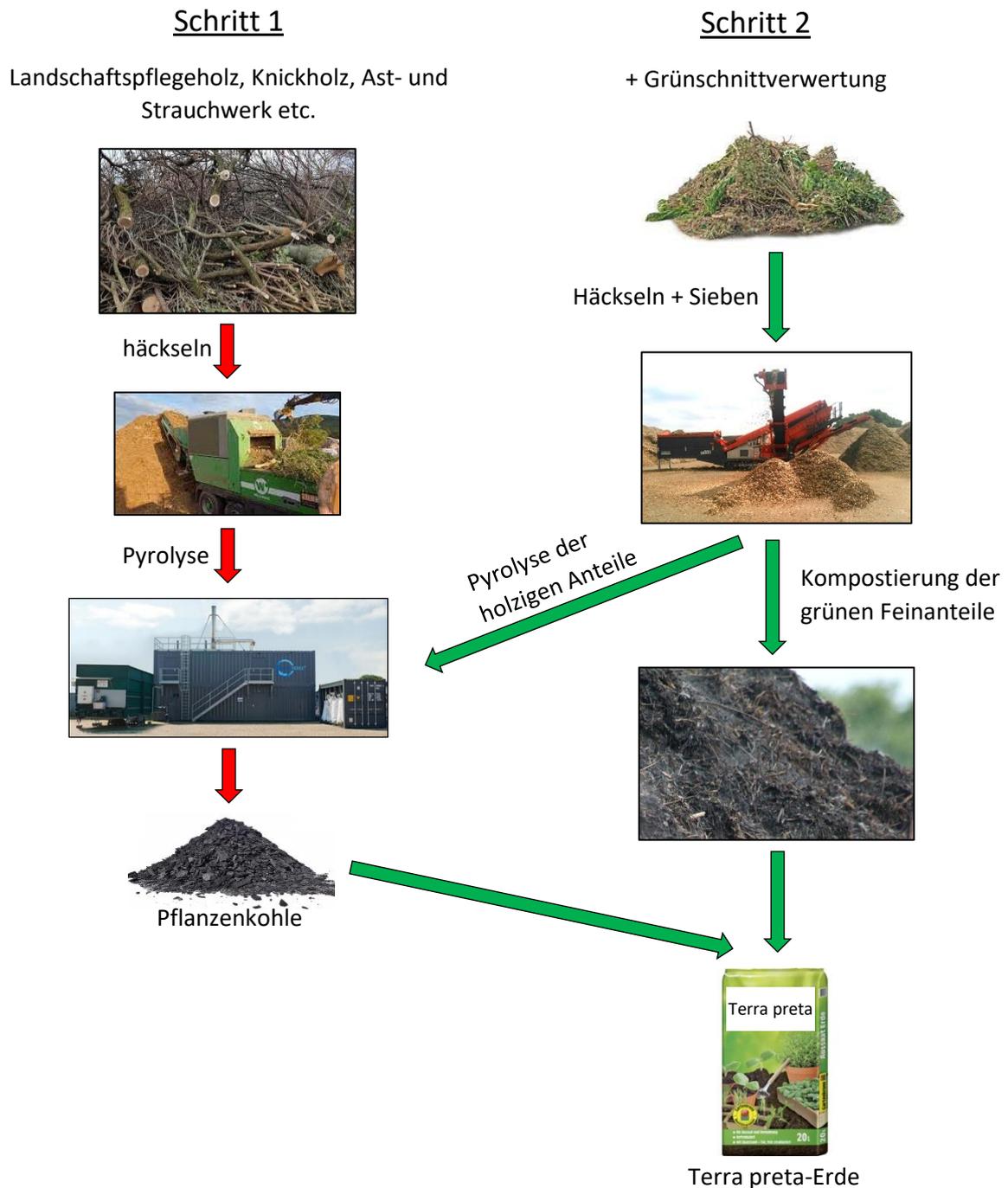


5. Ziel der Unternehmung

Damit die Pyrolyseanlage wie eingangs beschrieben im mehrfachen „win-win-Prinzip“ betrieben werden kann, soll auf eine Verwendung von Energiehölzern aus Wäldern zur Herstellung von Futterkohle verzichtet und nur auf regional anfallende Abfallstoffe zurückgegriffen werden.

Der erste Schritt hat das Ziel, aus regional anfallendem Landschaftspflegeholz, Knickholz, Ast- und Strauchwerk, Siebüberläufe etc. eine EBC-zertifizierte Pflanzkohle zur Bodenverbesserung (EBC-Agro) herzustellen. Weitere regional anfallende Abfallstoffe können dabei helfen, die saisonale Verfügbarkeit von holzigen Materialien auszugleichen und die Anlage auszulasten. Bspw. kann Altholz (A1-A3, ggf. auch A4) verwertet und das Karbonisat als Baustoff-Additiv vermarktet werden. Aufgrund des Nährstoffüberschusses in der nordwestdeutschen Landwirtschaft und der endlichen Phosphatressourcen besteht ein **großes Potenzial zum Phosphor-Recycling**, denn aus Gülleseparations- und Biogasgärresten kann das Phosphat recycelt und Phosphatdünger hergestellt werden.

Der zweite, für die Zukunft optionale Schritt, beinhaltet die zusätzliche Verwertung von regionalem Grünschnitt und die Herstellung von Terra preta-Schwarzerde. Dafür wird der Grünschnitt nach dem Häckseln in seine zwei Hauptbestandteile ausgesiebt. Der grobe, holzige Siebüberlaufanteil wird in der Pyrolyseanlage verwertet und die krautigen Grünschnittanteile werden zusammen mit der Pflanzenkohle fermentiert. Die daraus entstehende Terra preta-Schwarzerde kann regional vermarktet werden und schließt regionale Grünkreisläufe. Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch die Abläufe der beiden Schritte.



Die Abwärme der Anlage soll z.T. (max. 200 kW_{th}) für eine Trocknungsanlage genutzt werden, um die Eingangsmaterialien trocknen zu können. Den Nutzen der weiteren Abwärme gilt es im nächsten Schritt im Rahmen der Standortfindung sinnvoll zu nutzen!