inkoh Biochar and beyond

Funktionsweise einer Pyrolyseanlage



Mit finanzieller Unterstützung der Leopold Bachmann Stiftung

agridea

Inhalt

Allgemeine Definition 3
Funktionsbeschreibung Pyrolyseanlage: 4
1. Materialannahme und Vorbereitung: 4
2. Pyrolyseprozess im Reaktor: 4
3. Produktaufbereitung: 5
4. Energieintegration: 5
5. Steuerung und Überwachung: 5
Der Pyrolyseprozess 6
Projektbeispiel 7
1. Brennstofflager 7
2. Brennstofftransport 7
3. Brennstoffaufbereitung 8
4. Pyrolyse 8
5. ORC 8
6. Kohletransport & -lager 8
7. Kohleaufbereitung/ Veredelung 8
Prinzipschema Projektbeispiel 9
Stoffflussdiagramm Projektbeispiel 10

Inkoh AG
Sägenstrasse 8
7302 Landquart
T +41 81 555 80 00
F +41 81 555 80 00
www.inkoh.swiss
info@inkoh.swiss

ISO 9001
ISO 14001

zindel-united.swiss

Allgemeine Definition

Die Pyrolyse ist ein thermochemischer Prozess, bei dem organische Materialien unter hohen Temperaturen und weitgehendem Ausschluss von Sauerstoff zersetzt werden.

Es gibt verschiedene Pyrolyseverfahren wie zum Beispiel:

- Konventionelle/langsame Pyrolyse
- Schnelle Pyrolyse
- Flash Pyrolyse

In diesem Grobkonzept wird die "Langsame (konventionelle) Pyrolyse" betrachtet. Diese Variante eignet sich am besten zur Herstellung von qualitativ hochwertiger Pflanzenkohle.

Anlagenbeispiel von NGE:



Inkoh AG
Sägenstrasse 8
7302 Landquart
T +41 81 555 80 00
F +41 81 555 80 00
www.inkoh.swiss
info@inkoh.swiss

Funktionsbeschreibung Pyrolyseanlage:

Die Funktionsweise einer Pyrolyseanlage lässt sich im Wesentlichen in folgende Schritte unterteilen:

1. Materialannahme und Vorbereitung:

- **Annahme:** Das Ausgangsmaterial wird angeliefert und einer Eingangskontrolle unterzogen (Zusammensetzung, Feuchtigkeit, Verunreinigungen).
- **Lagerung:** Je nach Konzept wird das Hackgut (Biomasse) in Silos oder Lagerhallen gelagert
- **Aufbereitung:** Dieser Schritt ist entscheidend für einen effizienten Pyrolyseprozess. Er umfasst:
    - **Zerkleinerung:** Durch Hacker oder Schredder wird das Material auf eine geeignete Größe zerkleinert, um eine optimale Wärmeübertragung im Reaktor zu gewährleisten.
    - **Trocknung:** Der Feuchtigkeitsgehalt des Materials wird durch Trockner reduziert, da hohe Feuchtigkeit den Pyrolyseprozess negativ beeinflussen kann. Verschiedene Trocknungstechnologien können eingesetzt werden (z. B. Bandtrockner, Trommeltrockner, Schubbodentrockner).
    - **Reinigung:** Bei Bedarf werden Fremdstoffe wie Metalle, Steine oder Sand entfernt.

2. Pyrolyseprozess im Reaktor:

- **Materialzufuhr:** Das vorbereitete Material wird dem Pyrolyse-Reaktor kontinuierlich oder diskontinuierlich zugeführt.
- **Thermische Zersetzung:** Im Reaktor findet die eigentliche Pyrolyse statt. Unter Sauerstoffausschluss und bei hohen Temperaturen (typischerweise 300-900°C, je nach Verfahren) werden die organischen Moleküle des Ausgangsmaterials durch thermische Spaltung (Cracking) in kleinere Moleküle zerlegt.
- **Reaktortypen:** Es gibt verschiedene Reaktorkonstruktionen, die sich in ihrer Bauweise und Funktionsweise unterscheiden:
    - **Festbettreaktoren:** Das Material liegt auf einem Rost oder einer festen Oberfläche.
    - **Wirbelschichtreaktoren:** Das Material wird durch einen Gasstrom verwirbelt, was einen guten Wärmeübergang und eine gleichmäßige Temperaturverteilung ermöglicht.
    - **Drehrohrofen:** Ein geneigtes, rotierendes Rohr oder Schnecke, in dem das Material durchläuft und erhitzt wird.

- **Die wichtigsten Prozessparameter:**
    - **Temperatur:** Die Pyrolysetemperatur liegt typischerweise zwischen 400 und 800 °C. Niedrige Temperaturen (langsame Pyrolyse) begünstigen die Bildung von Pflanzenkohle, hohe Temperaturen (schnelle Pyrolyse) die Bildung von Öl und Gas.
    - **Verweilzeit:** Die Zeit, die das Material im Reaktor verbringt, beeinflusst die Produktzusammensetzung. Kurze Verweilzeiten führen zu einer höheren Ausbeute an Öl und Gas, lange Verweilzeiten zu mehr Kohle.
    - **Atmosphäre:** Der Pyrolyseprozess findet unter Sauerstoffausschluss statt (thermische Zersetzung).

Inkoh AG
Sägenstrasse 8
7302 Landquart
T +41 81 555 80 00
F +41 81 555 80 00
www.inkoh.swiss
info@inkoh.swiss
ISO 9001
ISO 14001
zindel-united.swiss

Durch die Hitze werden die organischen Moleküle des Ausgangsmaterials aufgebrochen (Cracking). Es entstehen kleinere Moleküle, die die verschiedenen Pyrolyseprodukte bilden.

3. Produktaufbereitung:

- **Pyrolysegas:**
  - **Reinigung:** Das Gas wird von Staub, Teer und anderen Verunreinigungen befreit. Dies kann durch verschiedene Verfahren erfolgen (z. B. Zyklone, Wäscher, Filter).
  - **Kondensation:** Durch Abkühlung werden kondensierbare Bestandteile (z. B. Teer) aus dem Gas entfernt.
  - **Verwendung:** Das gereinigte Gas kann direkt zur Energiegewinnung in Gasmotoren, Gasturbinen oder Gasbrenner verwendet werden.
    - ➔ Oft wird das Gas direkt im Reaktor verbrannt und als Wärmequelle für die Pyrolyse verwendet

- **Pyrolyseöl:**
  - **Kondensation:** Das Öl wird durch Kondensation der gasförmigen Bestandteile gewonnen.
  - **Trennung:** Wasser und Öl werden voneinander getrennt.
  - **Veredelung:** Durch weitere Prozesse (z. B. Destillation, Hydrotreating) kann das Öl zu hochwertigen Kraftstoffen oder Chemikalien verarbeitet werden.
    - ➔ Oft wird das Öl direkt im Reaktor verbrannt und als Wärmequelle für die Pyrolyse verwendet

- **Pyrolysekoks (Pflanzenkohle):**
  - **Kühlung:** Die Pflanzenkohle wird abgekühlt und mit Wasser angereichert, um eine Selbstentzündung zu vermeiden.
  - **Lagerung:** Die Pflanzenkohle wird mehrheitlich in BIG-Bags und Silos gelagert.
  - **Verwendung:** Es gibt verschiedene Anwendungsgebiete (z.Bsp: Baustoffe, Kunststoffe, Futtermittel, Lebensmittel, Bodenverbesserer, Aktivkohle)

4. Energieintegration:

- Eine effiziente Pyrolyseanlage nutzt die erzeugte Wärme optimal. Die Abwärme aus dem Pyrolyseprozess kann zur Trocknung des Ausgangsmaterials, Fernwärmenetz oder zur Erzeugung von Strom genutzt werden.

5. Steuerung und Überwachung:

- Moderne Pyrolyseanlagen sind mit einer automatischen Steuerung und Überwachung ausgestattet, die alle relevanten Prozessparameter (Temperatur, Druck, Durchfluss, Zusammensetzung) erfasst und regelt.

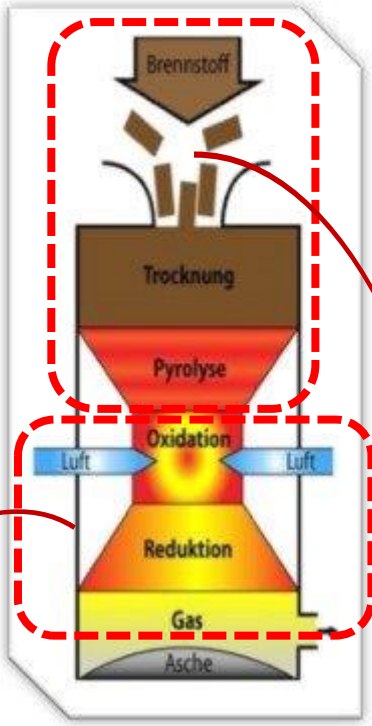
Inkoh AG
Sägenstrasse 8
7302 Landquart
T +41 81 555 80 00
F +41 81 555 80 00
www.inkoh.swiss
info@inkoh.swiss
ISO 9001
ISO 14001

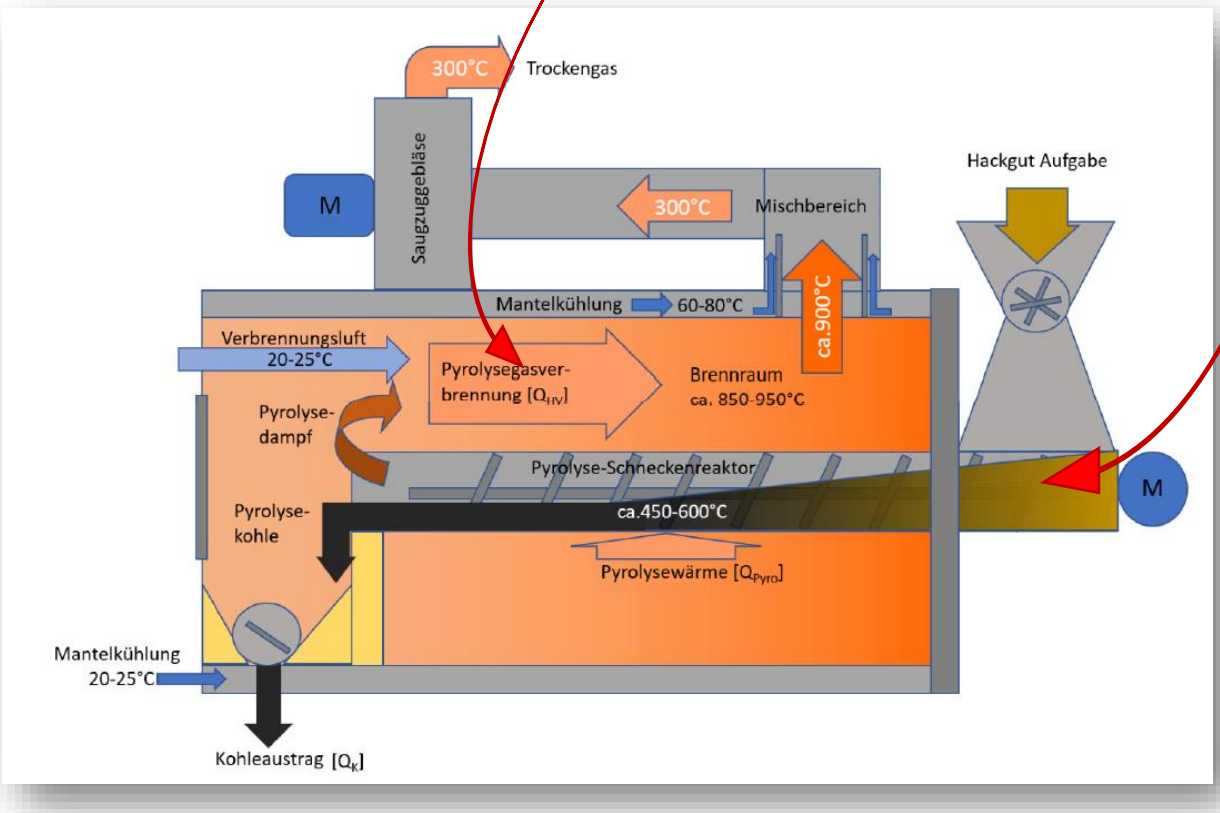
Der Pyrolyseprozess

In der Darstellung rechts ist der thermochemische Prozess dargestellt vom Ausgangsmaterial bis zur Asche (Verbrennung).

Bei einem Pyrolyseofen wird der Pyrolyseprozess von der Oxidation und Reduktion getrennt. Das bedeutet, dass das Ausgangsmaterial, zum Beispiel Hackschnitzel, wie in der unteren Darstellung ersichtlich, durch die Pyrolysewärme erhitz wird unter Sauerstoffarmut. Dadurch trocknen die Hackschnitzel zuerst und ab ca. 150°C beginnen die flüchtigen Stoffe gasförmig zu werden.

Die Pflanzenkohle wird nach dem Pyrolysieren ausgeschleust und nicht zusammen mit dem Holzgas verbrennt (oxidiert, reduziert)





Inkoh AG
Sägenstrasse 8
7302 Landquart
T +41 81 555 80 00
F +41 81 555 80 00
www.inkoh.swiss
info@inkoh.swiss

ISO 9001
ISO 14001

zindel-united.swiss

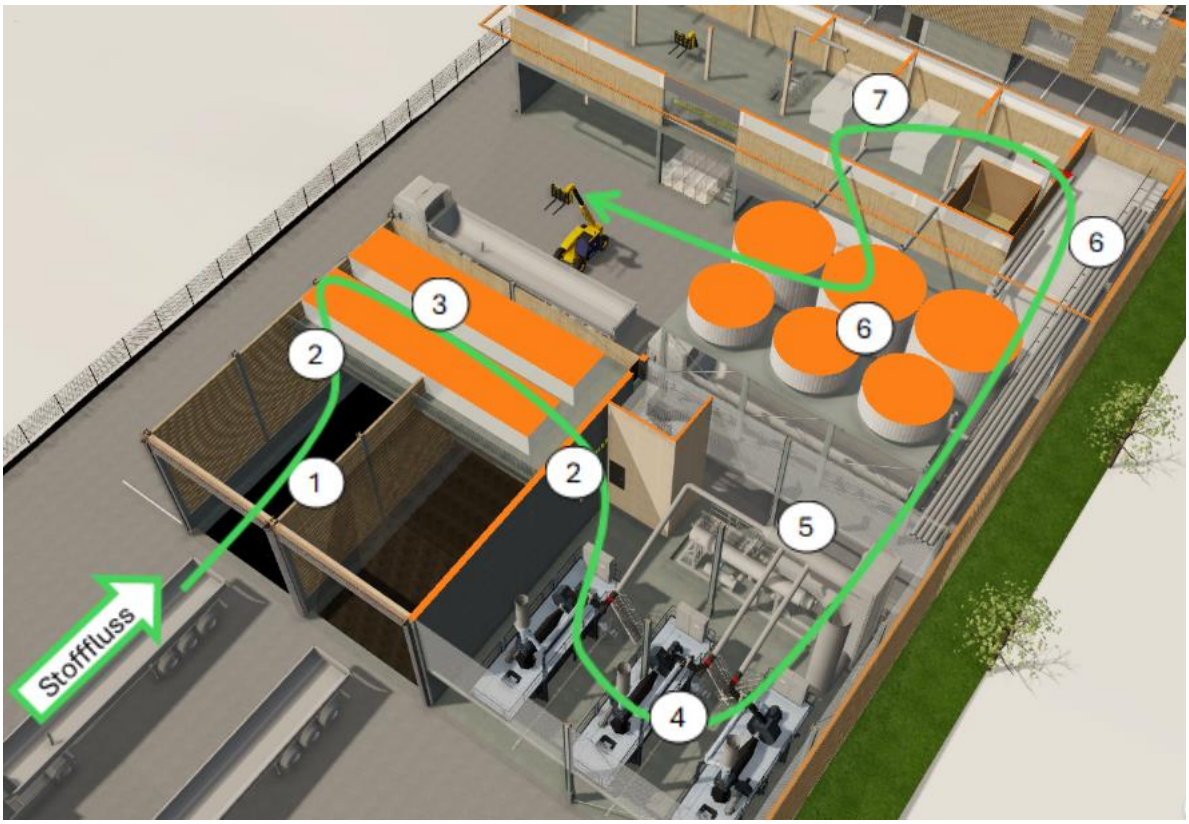
Projektbeispiel

Leistungsdaten Gesamtanlage:

- 330 kW_{el}
- 1650 kW_{th}
- 1600 t Pflanzenkohle

Konzept:

- Redundante Ausführung: Alle wichtigen Prozessschritte sind doppelt ausgeführt. Dies ermöglicht eine hohe Prozesssicherheit, sowie wenig Stillstandszeiten.
- Materialfluss auf zwei Linien, so können verschiedene Qualitäten optimal getrocknet und gemischt werden.
- Kaskade von 3 NGE-Pyrolyseöfen – abgestimmt auf die Produktionsmenge und Peipherieanlagen



1. Brennstofflager

Lastwagen liefern Biomasse zum Brennstofflager und laden sie direkt auf den befahrbaren Schubboden ab. Täglich brauchen wir ca. 80-90m3 – die Anlieferung ist unterschiedlich – das Puffervolumen liegt bei mind. 800m3. Die Anlage ist unterteilt auf 2 Produktionslinien. Dies ermöglicht uns 2 verschiedene Inputmaterialien getrennt zu verwenden. Dies zieht sich durch die ganze Anlage durch.

2. Brennstofftransport

Vom Schubboden fällt die Biomasse in den Übernahmetrog mit Förderspiralen, welche sie zu den Trocknungscontainern fördern und von dort zu den Pyrolyseöfen.

Inkoh AG
Sägenstrasse 8
7302 Landquart
T +41 81 555 80 00
F +41 81 555 80 00
www.inkoh.swiss
info@inkoh.swiss

3. Brennstoffaufbereitung

In Schubbodentrocknern wird der Wassergehalt der Biomasse gesenkt – zur Trocknung wird warme Luft (ca. 70°C) aus dem Pyrolyse/ORC-Prozess verwendet

4. Pyrolyse

Im T:CRACKER_DHR Schneckenreaktor findet die thermische Zersetzung (vorgewärmt-getrocknet-pyrolysiert) des Einsatzmaterials bei Temperaturen von ca. 700°C in einer sauerstoffarmen Umgebung statt. Die Verweilzeit des Materials im Reaktor beträgt ca. 30 - 90 Minuten.

5. ORC

Der Organic Rankine Cycle (ORC) ist ein thermischer Kreisprozess, der Wärmeenergie zur Stromerzeugung nutzt. Zunächst strömt heißes Abgas einer Wärmequelle (z. B. Pyrolysereaktor) durch den Verdampfer des Cyplan® ORC-Modules. Hierbei wird die Wärmeenergie des Abgases teilweise auf das ORC-Arbeitsmedium übertragen und verdampft dieses. Der Arbeitsmitteldampf gelangt unter Druck in einen Turbogenerator, wo ein Teil der Wärmeenergie in Strom umgewandelt wird. Anschließend wird das Arbeitsmittel in einem Kondensator wieder verflüssigt und mit Hilfe einer Pumpe dem Verdampfer zugeführt. Die mit einem Kühlwasserkreis ausgekoppelte Wärme kann für Heizzwecke verwendet werden.

6. Kohletransport & -lager

Die Pflanzenkohle (PK) wird mittels geschlossenen Förderspiralen zu den Puffer-Silos gefördert. Die Förderspiralen entsprechen den Maschinenbaurichtlinien bezüglich Verhinderung von Funkenflug (<1m/s Umdrehungsgeschwindigkeit) und sind staubdicht.

Die Puffer-Silos puffern die PK, bis sie in der Aufbereitung weiterbearbeitet wird.

Die Speicher-Silos zwischen den Gebäuden speichern die PK bis zum Überladen zum Transport oder bis zur Absackung in BIG-Bags.

7. Kohleaufbereitung/ Veredelung

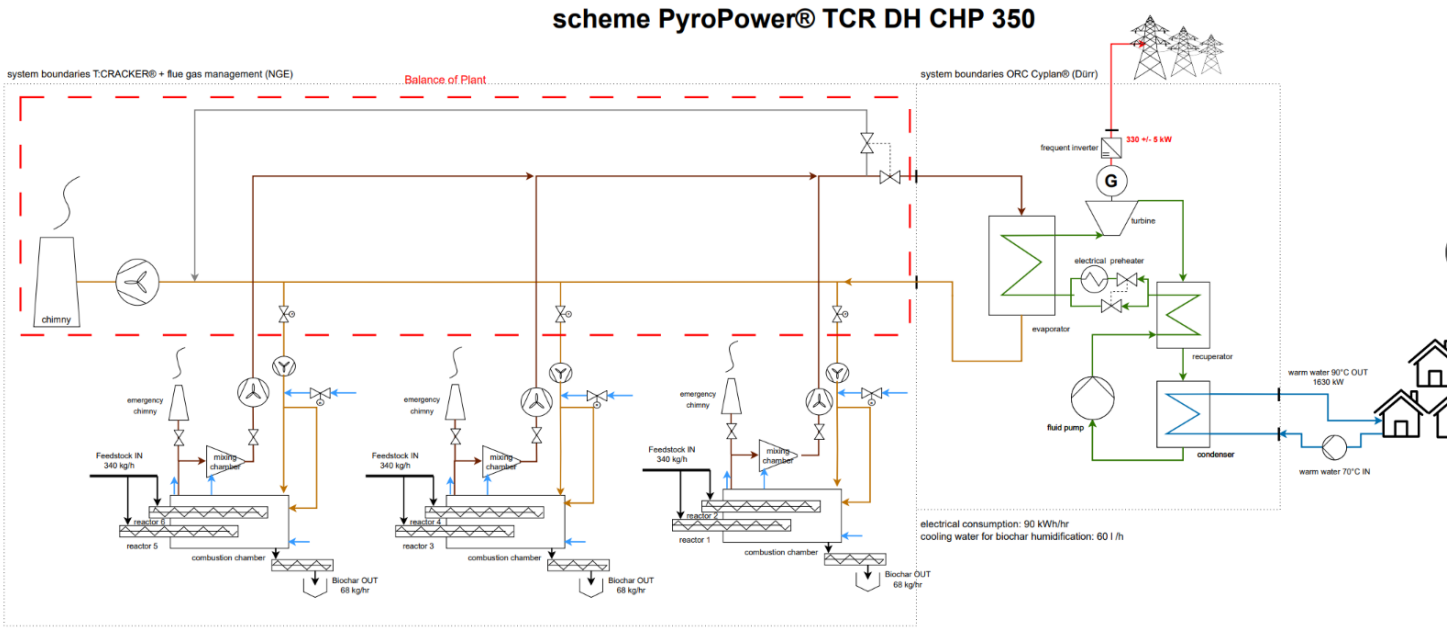
Sieben, Mahlen, Kompaktieren, Konditionieren oder Mischen sind weitere Verarbeitungsschritte. Dafür wird die PK aus den Puffersilos und eventuell auch aus den Speicher-Silos in die Aufbereitungsmaschinen gefördert zur Veredelung und dann in die Speicher-Silos transportiert.

Inkoh AG
Sägenstrasse 8
7302 Landquart
T +41 81 555 80 00
F +41 81 555 80 00
www.inkoh.swiss
info@inkoh.swiss
ISO 9001
ISO 14001

Prinzipschema Projektbeispiel

Hauptkomponenten:

- 3x Pyrolyseofen (Erzeugung von Kohle und Wärme in Form von Trockengas)
- ORC Anlage (Erzeugung von Strom aus Trockengas)
- Wärmetauscher (Erzeugung von warmem Wasser nach der ORC)
- Wärmenetz (Das warme Wasser wird in ein Wärmenetz eingespeist)



Leistungsdaten Gesamtanlage:

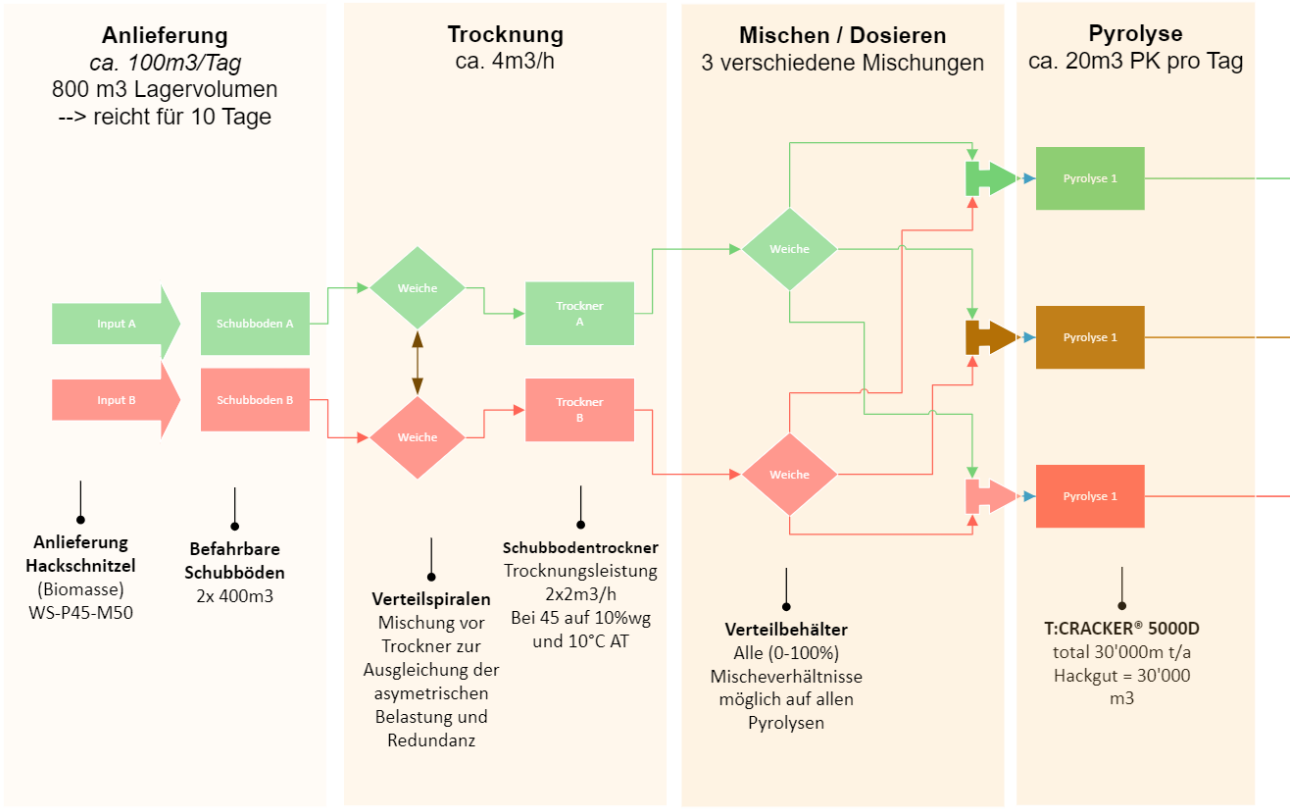
- 330 kW_{el}
- 1650 kW_{th}
- 1600 t Pflanzenkohle

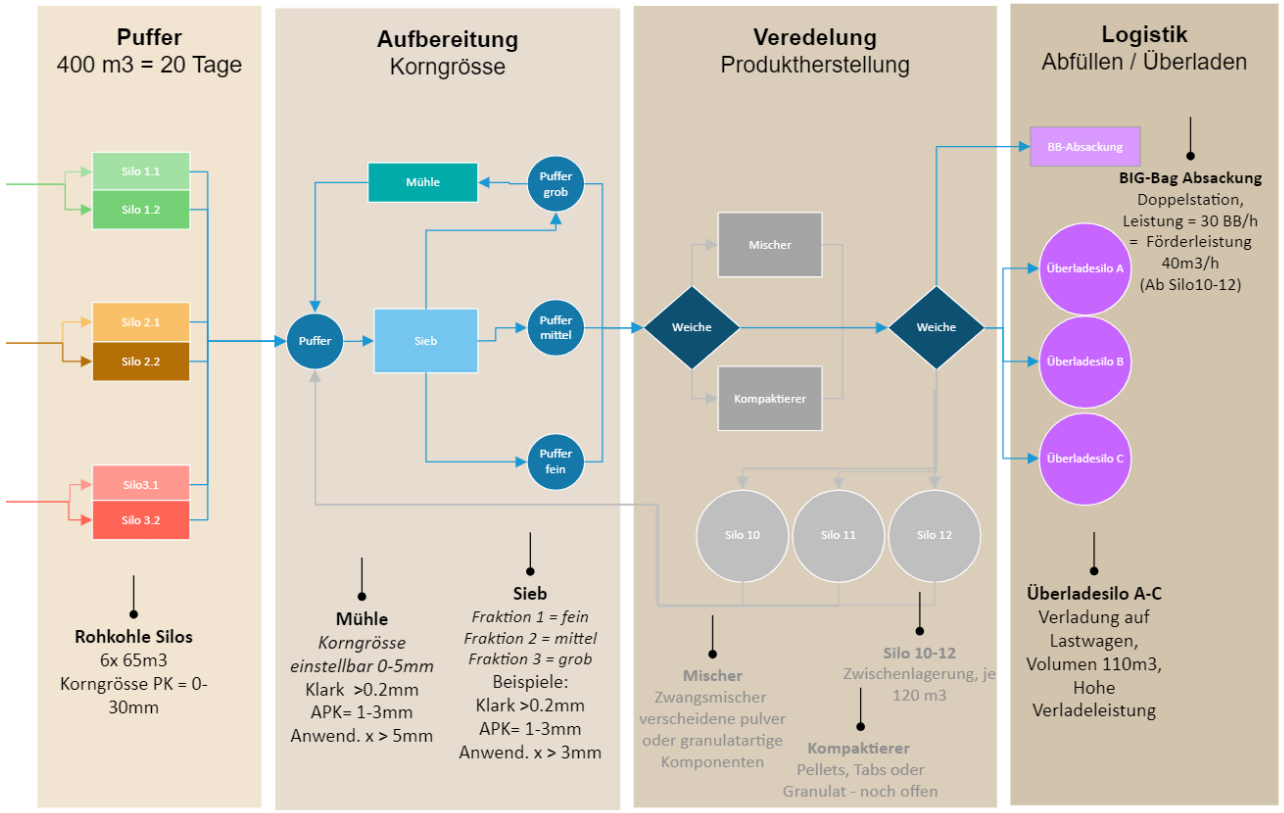
Inkoh AG
Sägenstrasse 8
7302 Landquart
T +41 81 555 80 00
F +41 81 555 80 00
www.inkoh.swiss
info@inkoh.swiss

ISO 9001
ISO 14001

zindel-united.swiss

Stoffflussdiagramm Projektbeispiel





Inkoh AG
Sägenstrasse 8
7302 Landquart
T +41 81 555 80 00
F +41 81 555 80 00
www.inkoh.swiss
info@inkoh.swiss

ISO 9001
ISO 14001

zindel-united.swiss