

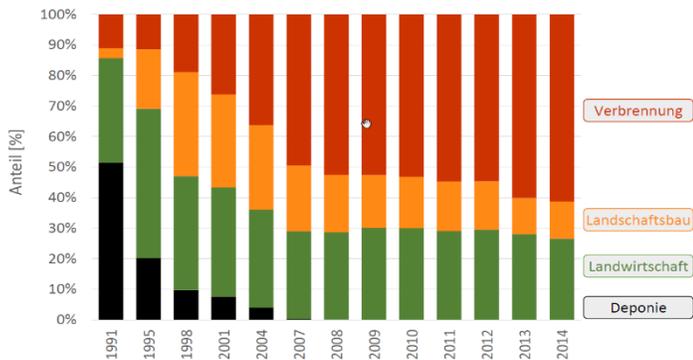


PYRODRY®

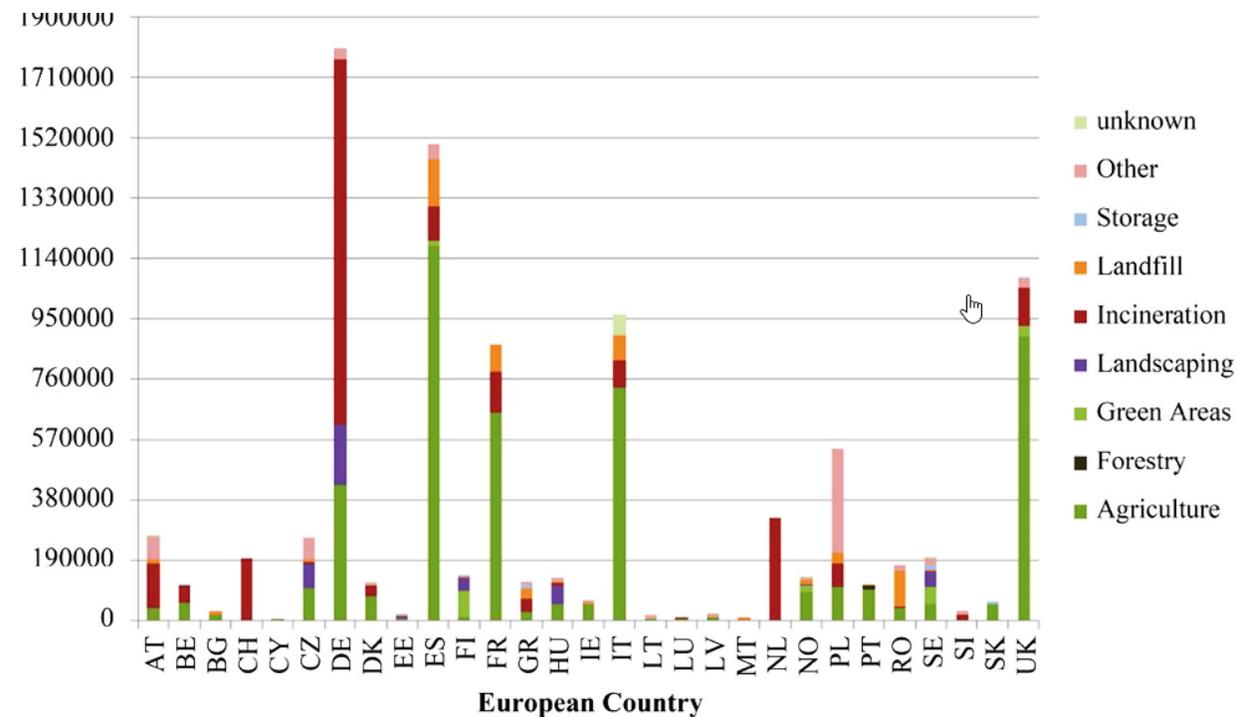
SMART SLUDGE SOLUTION !

*Energieautarke Trocknung und
Karbonisierung als Komplettlösung für
die Kommune*

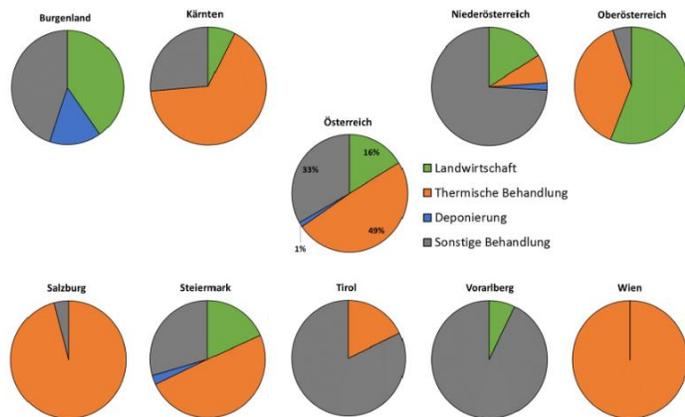
Was passiert mit Klärschlamm – D, Ö, EU...?



Lt. EUROSTAT Gesamtanfall Europa: ca. 10 Mio t/a [TS]



Kommunaler KS-Anfall 2019 – 1,74 Mio t [TS]
 stoffliche Verwertung 2019: 450 kt [TS] / thermische Verwertung 2019: 1.290 kt [TS]



Kommunaler KS-Anfall 2018 – 235 kt [TS]
 stoffliche Verwertung 2016: 120 kt [TS] / thermische Verwertung 2016: 115 kt [TS]

Thermische Behandlung – warum?

„Moderne“ Umweltgifte als Klärschlamm Kontaminatoren...

Klärschlamm

Problematische Inhaltsstoffe

- Schwermetalle
 - Insbesondere Kupfer und Zink
 - Weitere Schwermetallkonzentrationen eher „unkritisch“ (i. d. R. DüMV-konform)
- Umweltgefährdung insbesondere durch Organik
 - Über 100 Schadstoffe bekannt und nachweisbar
 - Toxizität und Umweltwirkungen wenig untersucht und bekannt
 - Arzneimittelrückstände (Diclofenac, Antibiotika...)
 - Krankheitserreger
 - Mikroplastik, Weichmacher
 - PCDD/F, PAK, Tenside
 - Endokrine Disruptoren: Eingriffe in das Hormonsystem



Thermische Verwertung von Klärschlamm
Thomas Hord
Sitzung 4 & 8, Folie 18, Oktober 2017



Unterschätzte Gefahr: Mikroplastik auf dem Trockenen

Kleinste Plastikteilchen stellen auch für Lebewesen an Land eine Bedrohung dar und können dort sogar schädlicher wirken als in Meeren. Forschende vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) und Berliner Kolleginnen warnen: Die Auswirkungen von Mikroplastik in Böden, Sedimenten und Binnengewässern könnten terrestrische Ökosysteme auf der ganzen Welt dauerhaft negativ beeinflussen.



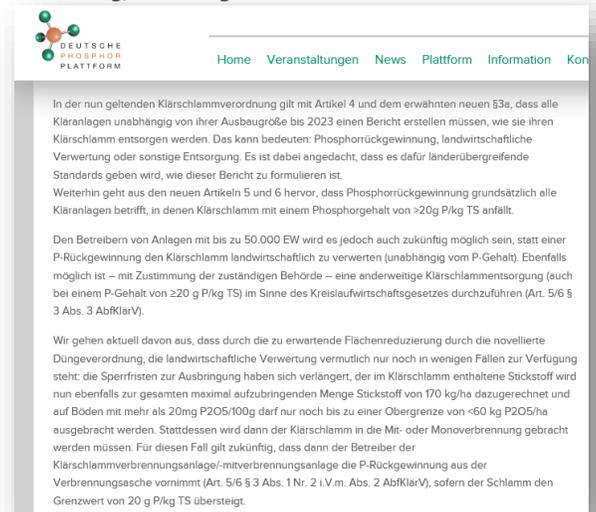
...Untersuchungen weisen darauf hin, dass Klärschlamm eine Senke für Mikroplastik ist und die weitere Handhabung des Klärschlammes für eine potentielle Verbreitung entscheidend ist...Text **BAWP 2017**

Klärschlamm als Rohstoff für die Phosphorrückgewinnung...

NOV. 17, 2017 Phosphorrückgewinnung und kleine Kläranlagen – Stand der Dinge

...In der **nun geltenden Klärschlammverordnung** gilt mit Artikel 4 und dem erwähnten neuen §3a, **das alle Kläranlagen unabhängig von ihrer Ausbaugröße bis 2023 einen Bericht erstellen müssen, wie sie ihren Klärschlamm entsorgen werden...**

Wir gehen aktuell davon **aus, dass durch die zu erwartende Flächenreduzierung durch die novellierte Düngeverordnung, die landwirtschaftliche Verwertung vermutlich nur noch in wenigen Fällen zur Verfügung steht: die Sperrfristen zur Ausbringung haben sich verlängert, der im Klärschlamm enthaltene Stickstoff wird nun ebenfalls zur gesamten maximal aufzubringenden Menge Stickstoff von 170 kg/ha dazugerechnet...**



DEUTSCHE PHOSPHOR PLATTFORM

Home Veranstaltungen News Plattform Information Kon

In der nun geltenden Klärschlammverordnung gilt mit Artikel 4 und dem erwähnten neuen §3a, dass alle Kläranlagen unabhängig von ihrer Ausbaugröße bis 2023 einen Bericht erstellen müssen, wie sie ihren Klärschlamm entsorgen werden. Das kann bedeuten: Phosphorrückgewinnung, landwirtschaftliche Verwertung oder sonstige Entsorgung. Es ist dabei angedacht, dass es dafür länderübergreifende Standards geben wird, wie dieser Bericht zu formulieren ist.

Weiterhin geht aus den neuen Artikeln 5 und 6 hervor, dass Phosphorrückgewinnung grundsätzlich alle Kläranlagen betrifft, in denen Klärschlamm mit einem Phosphorgehalt von >20g P/kg TS anfällt.

Den Betreibern von Anlagen mit bis zu 50 000 EW wird es jedoch auch zukünftig möglich sein, statt einer P-Rückgewinnung den Klärschlamm landwirtschaftlich zu verwerten (unabhängig vom P-Gehalt). Ebenfalls möglich ist – mit Zustimmung der zuständigen Behörde – eine anderweitige Klärschlamm-entsorgung (auch bei einem P-Gehalt von ≥20 g P/kg TS) im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes durchzuführen (Art. 5/6 § 3 Abs. 3 AbfKlarV).

Wir gehen aktuell davon aus, dass durch die zu erwartende Flächenreduzierung durch die novellierte Düngeverordnung, die landwirtschaftliche Verwertung vermutlich nur noch in wenigen Fällen zur Verfügung steht: die Sperrfristen zur Ausbringung haben sich verlängert, der im Klärschlamm enthaltene Stickstoff wird nun ebenfalls zur gesamten maximal aufzubringenden Menge Stickstoff von 170 kg/ha dazugerechnet und auf Böden mit mehr als 20mg P2O5/100g darf nur noch bis zu einer Obergrenze von <60 kg P2O5/ha ausgebracht werden. Stattdessen wird dann der Klärschlamm in die Mit- oder Monoverbrennung gebracht werden müssen. Für diesen Fall gilt zukünftig, dass dann der Betreiber der Klärschlammverbrennungsanlage/-mitverbrennungsanlage die P-Rückgewinnung aus der Verbrennungssche vomimmt (Art. 5/6 § 3 Abs. 1 Nr. 2 i.V.m. Abs. 2 AbfKlarV), sofern der Schlamm den Grenzwert von 20 g P/kg TS übersteigt.

Prozesskette Klärschlammbehandlung



Entwässerung

Thermische Trocknung

Karbonisierung

Verbrennung

1-3% TS

20-25% TS

90% TS

-40% TS

-70% TS

ca. 12.000 kg

ca. 1.000 kg

ca. 250 kg

ca. 135 kg

ca. 80 kg

PyroDry® Prozess

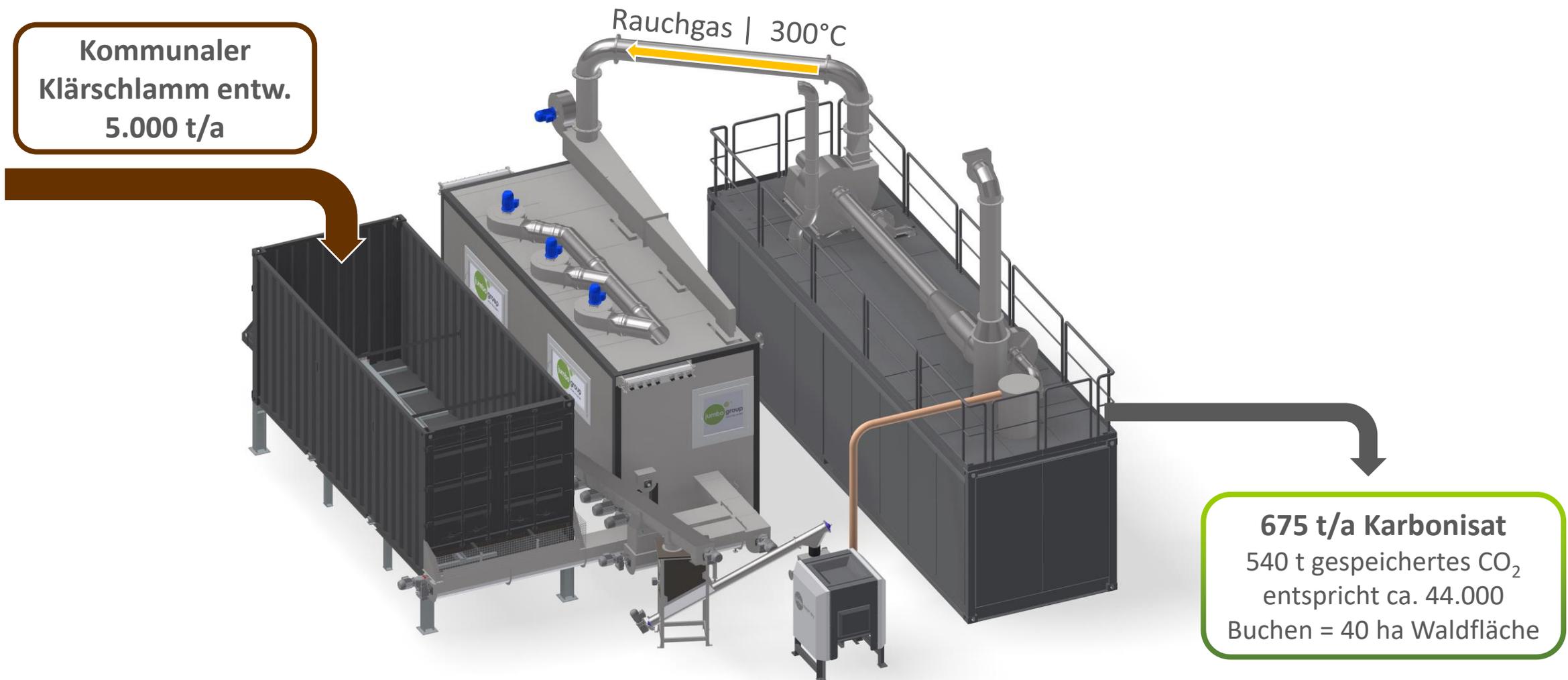
dekontaminierter, P-
und C-angereicherter
Wertstoff...

Demonstrationsanlage in Bissingen

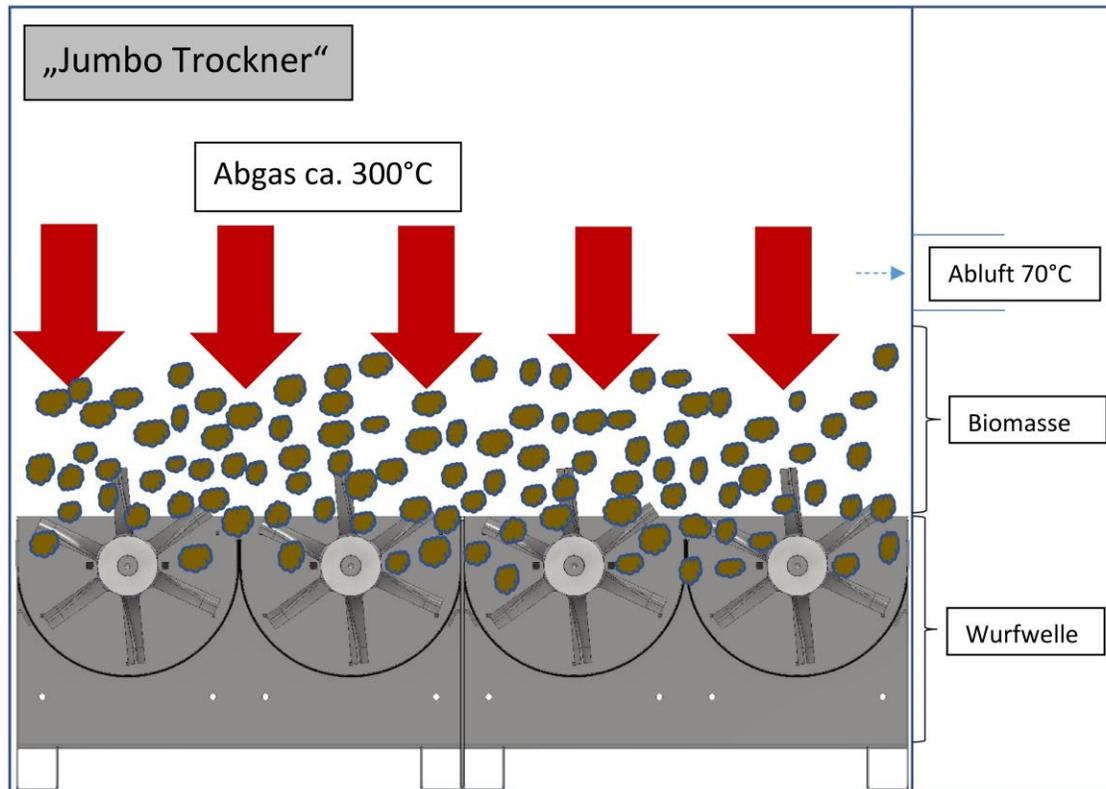
- „**Proof of Concept**“ auf der **Kläranlage in Bissingen** (Bayern) mit ca. 35.000 EW; Testphase von 12/2020 bis Mitte 2021
- Darstellung eines **automatisierten Dauerbetriebes** im Zusammenspiel der aktuellen Trocknerversorgung über das BHKW
- Evaluierung der **betrieblichen Funktionalität** (Durchsatzleistung etc.) inklusiver der **Emissionserfordernisse**
- Nutzung des erzeugten **hochwertigen Karbonisats** für diverse **Anwendungsuntersuchungen**
- Nutzung der gewonnenen Ergebnisse für **up- bzw. down scale Aktivitäten**
- Ermöglichung von **Besuchen für potentielle Interessenten** in Abstimmung mit dem Kläranlagenbetrieb



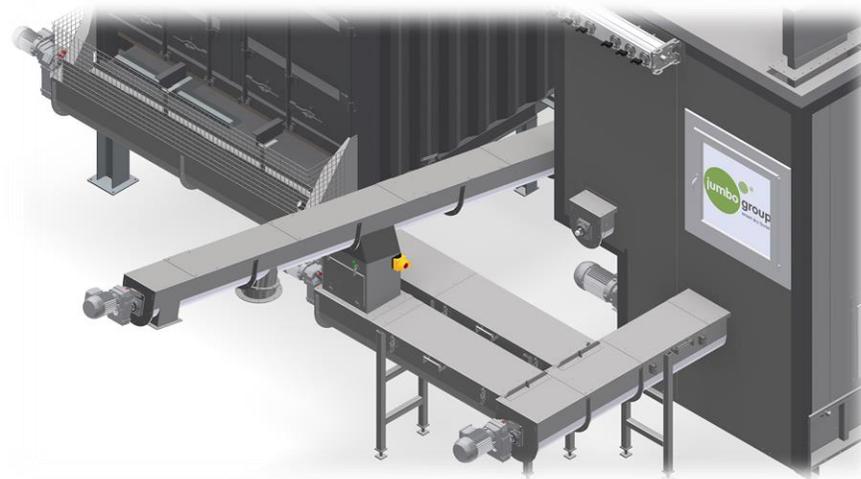
„PyroDry 5000“ – Anlagenübersicht



Trocknungsprinzip des Jumbo Trockners



In die **Materialwolke** wird heißes Abgas mit 300°C geblasen, was zu einem **unmittelbaren Aggregatsübergang** des Wassers führt. Dabei bleibt die beladene Abluft immer **gesichert unter 70°C**

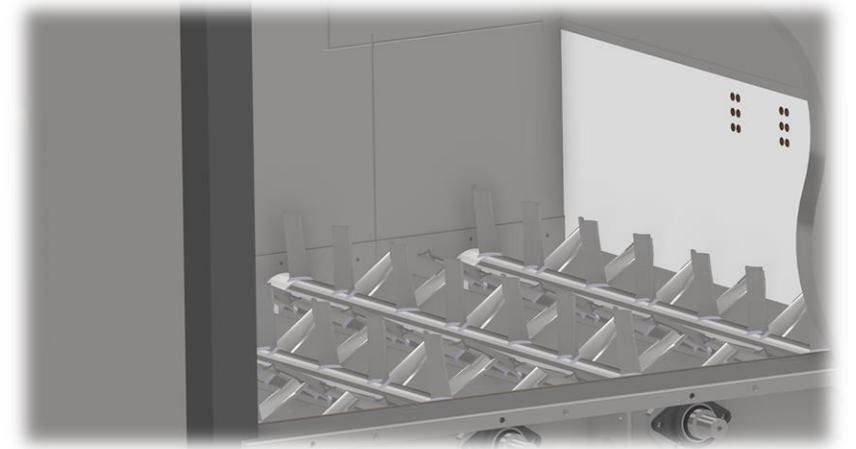


Rückmischzone:

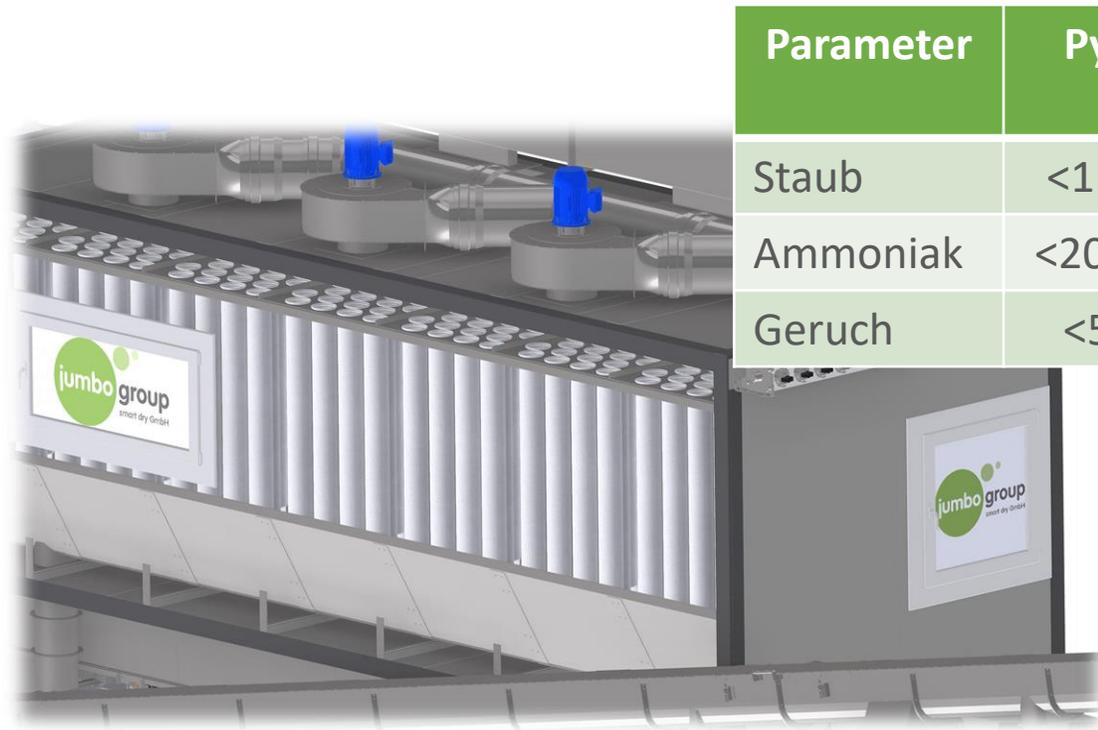
Rückmischen von trockenem zu nassem KS zur **Verhinderung der Leimphase...**

Trocknungszone:

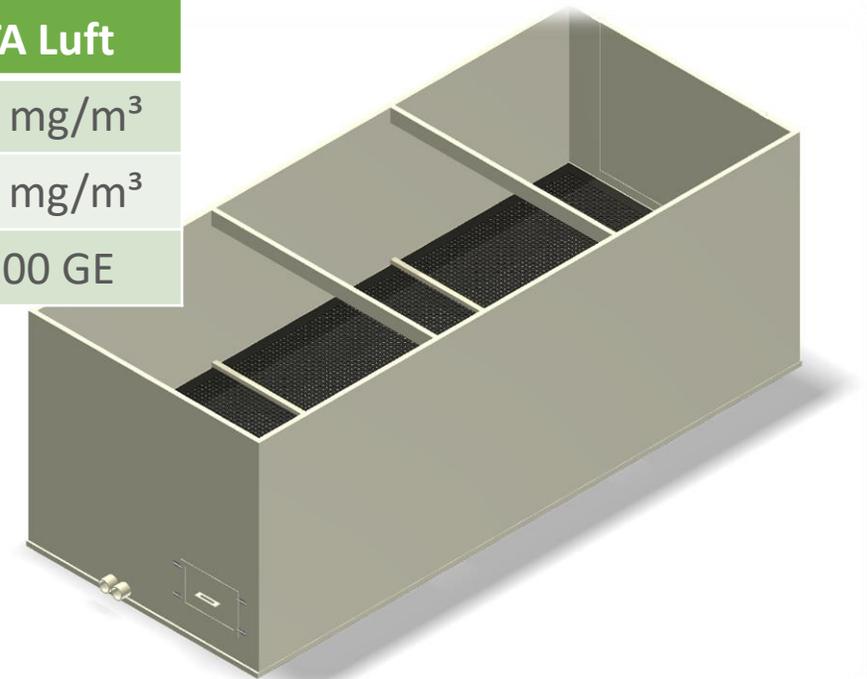
Blick auf die Wurf-schaufeln welche für die **Durchmischung** und den **Transport** sorgen



Abluftbehandlung des Trockners



Parameter	PyroDry	Grenzwert TA Luft
Staub	<1 mg/m ³	10 mg/m ³
Ammoniak	<20 mg/m ³	20 mg/m ³
Geruch	<500 GE	500 GE



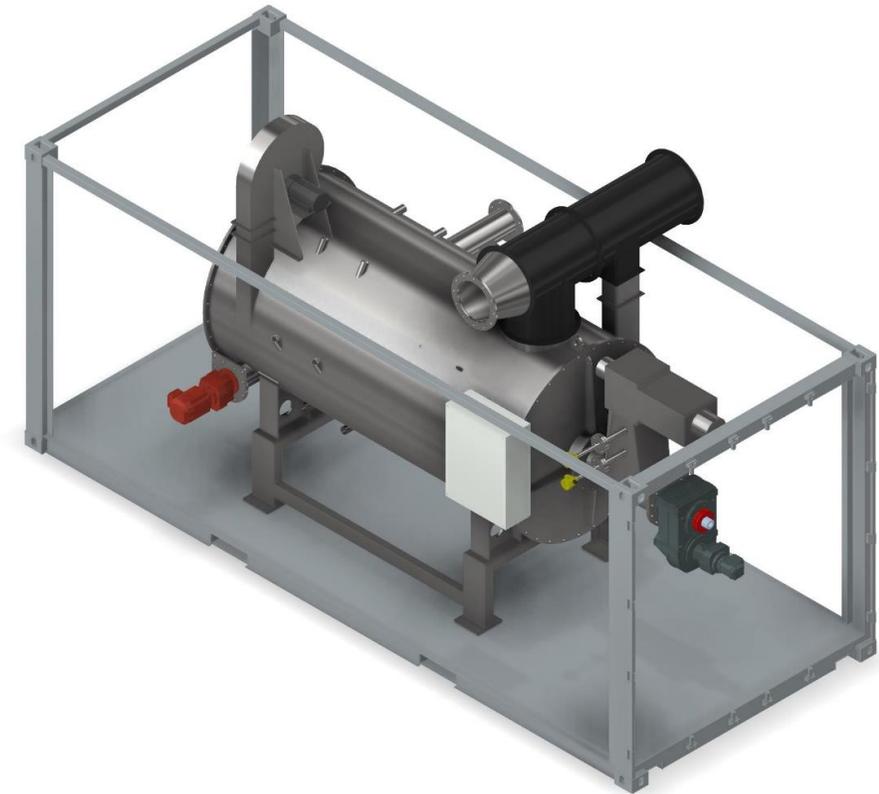
Im Trockner befinden sich Feinstaub Gewebefilter. Dadurch ist ein **Staubgehalt der Abluft < 1 mg/m³** gewährleistet.

Die gesättigte Abluft wird über einen Biofilter geleitet, wo **Restammoniak** und **Geruch** gebunden wird.

Pelletierung und thermische Behandlung



Die **Pelletierung** wurde speziell für Klärschlamm und dessen Besonderheit (hoher mineralischer Anteil) entwickelt und sorgt für ein **uniformes und staubfreies Vorprodukt** für die Karbonisierung

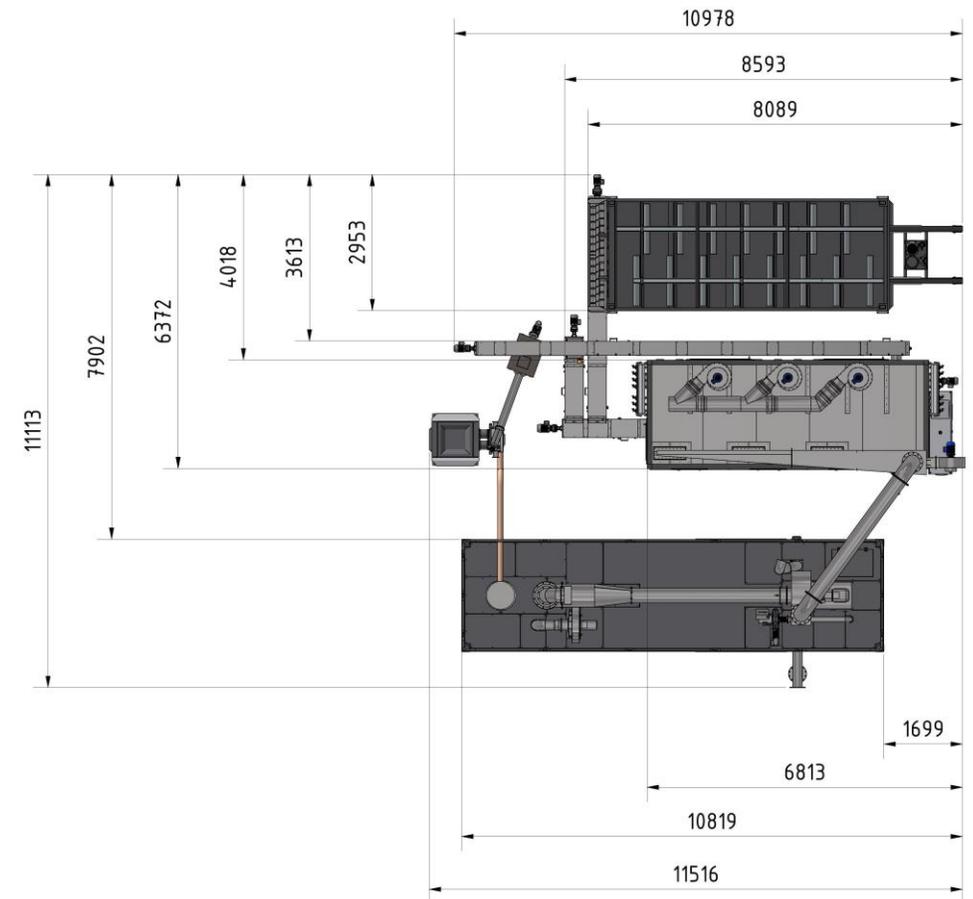
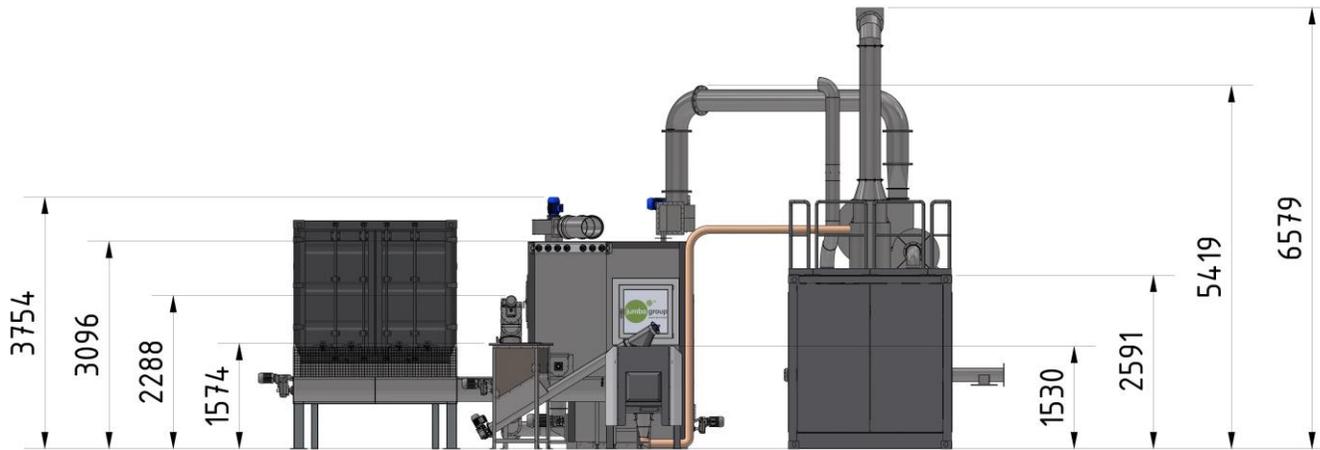


Die **thermische Behandlung** erfolgt im **T:CRACKER®** bei etwa 500-600°C; org. **Kontaminationen** werden sicher **zerstört**. Entstehendes Rauchgas wird dem Trockner rückgeführt und **Karbonisat als fester Wertstoff** gewonnen

PyroDry Baugrößen

PyroDry Serie	Durchsatz[t/a]
5000	3000-5000
3000	1500-2500
1500	750-1400
Micro	150-400

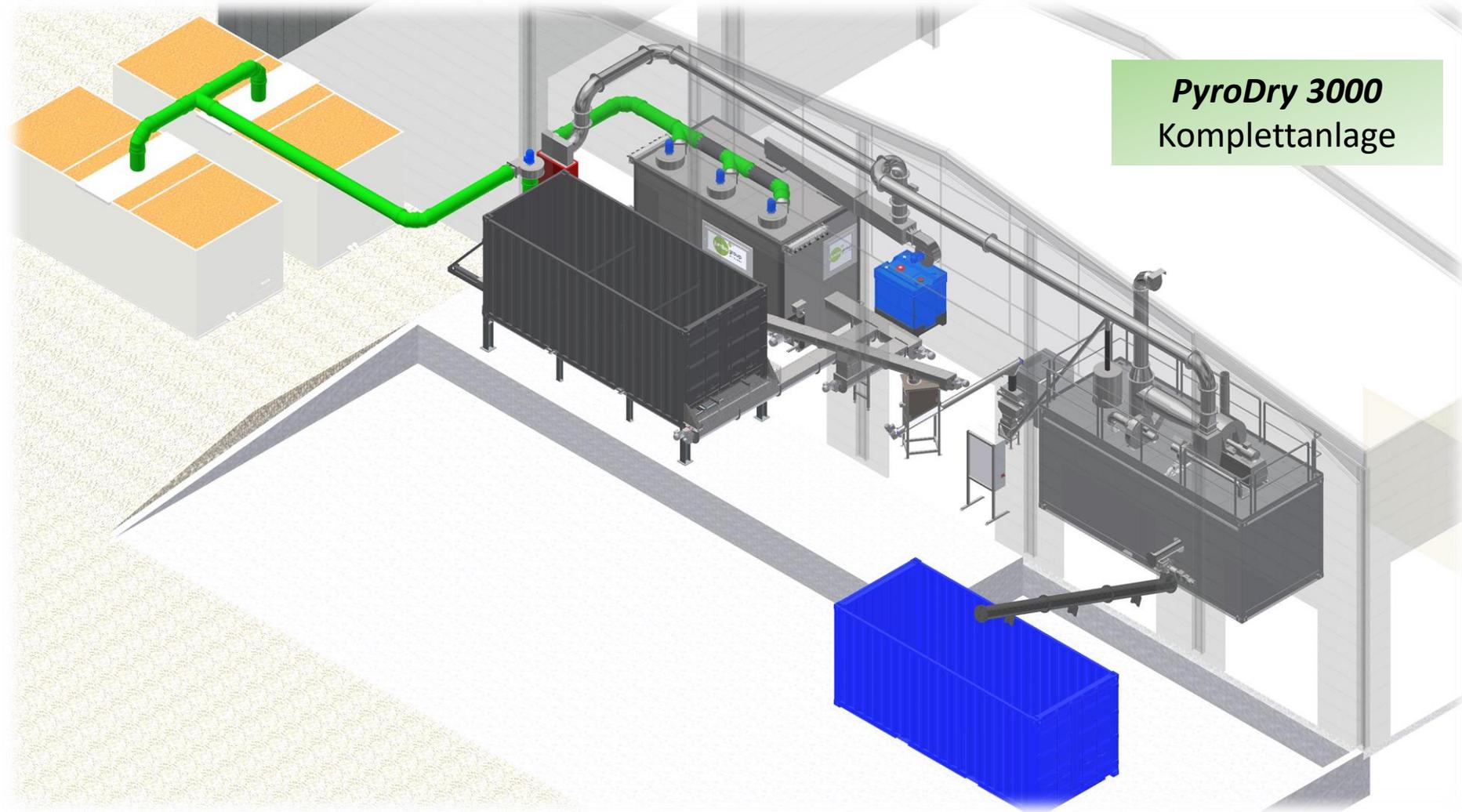
Footprint einer PyroDry 5000 | 15 x 15 x 5 m



Reaktor für PyroDry 3000 ...



Layout Komplettanlage „PYRODRY 3000“



Entwässerter Klärschlamm
Bsp. 5.000 t/a (200-250 LKW Fahrten)



Karbonisat
Bsp. 675 t/a – ca. 1000 BigBags/a
(ca. 50 LKW Fahrten)



Des weiteren passieren
auch folgende Dinge...

UNGLÜCK

Veröffentlicht am: 01.09.2021 - 14:27

**Flörsheim: Lkw verliert Klärschlamm aufder A 66
und löst Chaos aus**

*Auf der rutschigen Fahrbahn ereigneten sich am Dienstagmorgen mehrere Unfälle.
[Flörsheim: Lkw verliert Klärschlamm aufder A 66 und löst Chaos aus | Flörsheim \(fnp.de\)](#)*

Anwendungspotentiale Karbonisat

Additiv für die Erdenherstellung

- Strukturbildner/Wasserretention
- Giftstoffadsorbens
- P-Träger

Aktivkohleersatz

- Tests für 4. Reinigungsstufe vorgesehen

Biogasanlagen – Prozess Stabilisierung

- Fe bzw. Aktiv-C zur H₂S “Entgiftung” | P-Düngeanteil

Rohstoff für das Phosphorrecycling

- Thermische Verfahren incl. C-Quelle | Leaching Verfahren, wobei Reststoff mit Heizwert nutzbar wäre...

CO₂-neutraler Ersatzbrennstoff



- **Komplettbehandlung** (Trocknung und thermische Behandlung) von entwässertem Klärschlamm zu einem Zwischen- bzw. Endprodukt in **kompaktester und energieeffizientester** (thermische Autarkie!) Form.
- Anlagentechnik abgestimmt auf einen **vollautomatisierten Betrieb** einer modernen Kläranlage **ab 10.000 bis 100.000 EW** bzw. eines mittelständischen Entsorgungsbetriebes.
- **Modulare Bauweise** mit stufenweisen Einheitsgröße von **bis zu 5.000 t/a entwässerten Schlamm** bzw. ca. ca. 450 kW_{therm} thermische Leistung der Karbonisierungseinheit;
- **spezifische Trocknungsleistung bei 0,7 kWh/kg** Wasser durch das Jumbo System; gepaart mit höchster Wärmeeffizienz durch **direkte Rauchgasnutzung**
- **Nutzung von prozesstechnischen Synergien** im Bereich der Abluftreinigung – der Trockner fungiert gleichzeitig als Rauchgasreinigung mit **chemischer Abscheidung von SO₂** durch Reaktion von vorhandenem NH₃ aus dem Trocknungsprozess.
- **Kohlenstoffgehalt des Karbonisats** ermöglicht eine **CO₂-Senke** im Bereich von **0,7-0,9 t CO₂ pro t Karbonisat!**
- **Mannigfaltige Möglichkeiten der Weiternutzung** des Karbonisats abgestimmt auf die individuelle Qualität der Kläranlagen (Stichwort: Phosphorrecycling)

Vergleich Klärschlamm – Karbonisat (1)

Allgemeine Daten und Nährstoffe...



Parameter	Einheit	Klärschlamm (TS*)	Karbonisat
Trockenrückstand	%	88,3	99
Glühverlust	%	61,0	18,6
pH Wert		8,0	6,0
Heizwert	MJ/kg	11,6	7,7
N / NH ₄ -N	%	4,3 / 0,08	0,46 / <0,05
P als P ₂ O ₅	%	7,0	13,7
Ca als CaO	%	3,0	5,8

* TS...Trockensubstanz

Analysendaten einer deutschen Kläranlage | 14.05.2021

Vergleich Klärschlamm – Karbonisat (2)

Schwermetalle...



Parameter	Einheit	Klärschlamm (TS)	Karbonisat	Grenzwert (DüMV)
As	mg/kg	9,7	15,1	40
Pb	mg/kg	42,1	38,5	150
Cd	mg/kg	2,1	<0,5	1,5
<i>bezogen auf P₂O₅</i>	<i>mg/kg</i>	<i>30,0</i>	<i>3,7</i>	<i>50</i>
Cr / Cr ^{VI}	mg/kg	210 / <0,1	300 / <0,1	- / 2
Cu	mg/kg	250	440	900
Ni	mg/kg	48	72	80
Hg	mg/kg	0,84	<0,05	1
Zn	mg/kg	1200	1600	4000
Thallium	mg/kg	0,21	<0,1	1

Vergleich Klärschlamm – Karbonisat (3)

Organische Inhaltsstoffe



Parameter	Einheit	Klärschlamm (TS)	Karbonisat	Grenzwert (DüMV)
AOX	mg/kg	160	74,7	400
PCB (180)	mg/kg	<0,002	< NWG	0,1
TE-WHO PCDD/F + dl-PCB	ng TE/kg	4,8	<1,0	30
Perfluorierte Tenside (sum PFT)	µg/kg	8,5	< NWG	100
Summe 16 EPA-PAK	mg/kg	1,2	1,0*	<4 (EBC-Feed Klasse I)
Benzo(a)pyren	mg/kg	0,1	<0,1*	1

* Analysen gemäß der EBC Kriterien (European Biochar Certificate) – nur 3 Institute in Europa sind hierfür zugelassen...



Backup – Karbonisat vs. Kunstdünger

Uran im Kunstdünger – unterschätzte Gefahr!

Parameter	µSv/h	Uran mg/kg
Umgebungsstrahlung	0,13	
Karbonisat	0,13	2,3
Monoasche	0,13	
Rohphosphat	0,15	27
Tripelsuperphosphat (48% P2O5)	0,22	188
NPK Dünger Complex 12/12/17	0,29	
NPK (S)- Dünger 15/15/15/7,5	0,31	

Das macht den Regenwurm sauer...

Parameter	pH-Wert 3g/60ml
Tripelsuperphosphat (48% P2O5)	3,16
Monoasche	8,69
Rohphosphat	8,79
Karbonisat	8,80



Der Phosphatdünger beginnt nicht in Europa...

OCP-Fabrik in Safi/Marokko...

- Feinstaub
- Silikose
- Zahnfluorose
- Giftige Schwermetalle U und Cd
- Luft und Wasserverschmutzung
- ...



Abwässer der Phosphatindustrie werden direkt ins Meer verklappt...



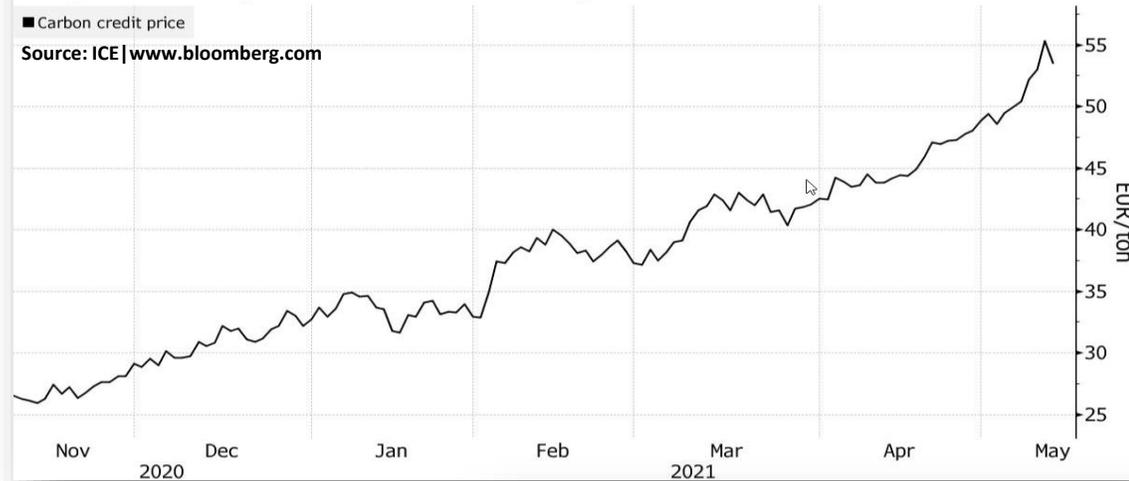
Backup – Bio CCS Potential

Record High

European carbon permits have soared this year

■ Carbon credit price

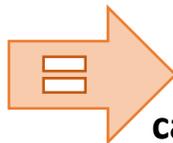
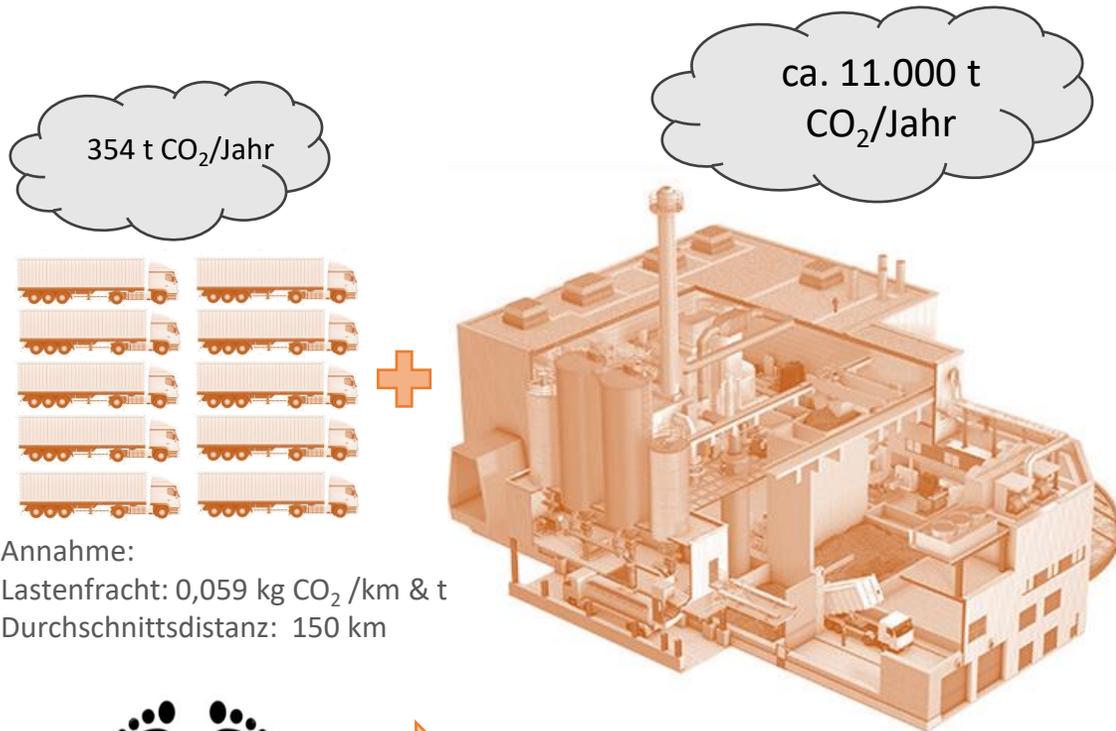
Source: ICE | www.bloomberg.com



Project Name	Date	Price (€/tCO ₂ e)	Sold Quantity (tCO ₂ e)	Total Quantity (tCO ₂ e)
Biochar Q1 2021	30. Januar 2021	119,00	284,70	299,30
Pacific Biochar 2020	10. Dezember 2020	119,00	64,30	74,73
My Ländle Vorarlberg 2020	18. Dezember 2020	-	41,67	41,67
Biochar Q4 2020	22. November 2020	-	163,61	163,61

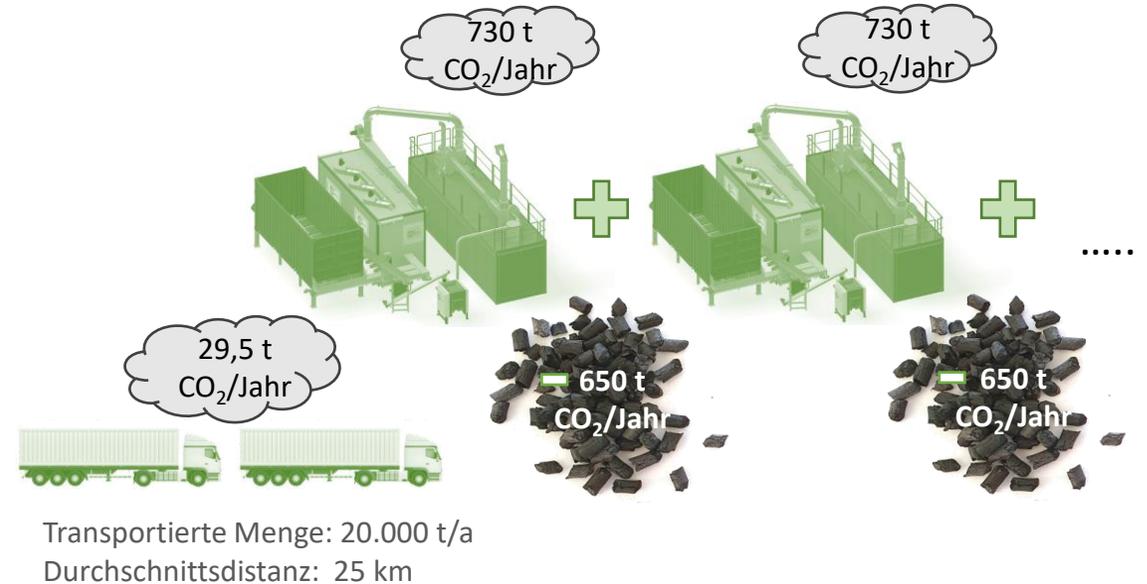
CO₂ Fußabdruck im Vergleich...

Monoverbrennung – 40.000 t/a entw. Schlamm



ca. 11.350 t CO₂/Jahr
ca. 1.500 Bundesbürgern (a 7,5 t/a)

PyroDry® – 8 x 5.000 t/a entw. Schlamm



ca. 670 t CO₂/Jahr
ca. 89 Bundesbürgern

CO₂ Einsparungspotential...



Die Presse Nachrichten Mein

ÖBB-Chef fordert höhere CO₂-Bepreisung im Gütertransport

ÖBB-Chef Andreas Matthä bekräftigt seine Forderung nach einer "Kostenwahrheit" im Gütertransport zwischen Bahn und Straße. Clemens Fabry/Die Presse

Derzeit kostet eine Tonne 50 Euro, die Europäische Investitionsbank will 2030 **dann 250 Euro**. „Ein guter Wert“, findet Andreas Matthä.

Klimapioniere: Schweden
CO₂-Steuer

Ausgewählte Länder mit einer Besteuerung, Jahr der Einführung und Höhe der Steuer in Euro je Tonne

Land	Jahr	Preis in € je Tonne CO ₂
Finnland	1990	63,00
Polen	1990	0,10
Norwegen	1991	52,00
Schweden	1991	115,00
Dänemark	1992	23,00
Slowenien	1996	17,00
Schweiz	2008	86,00
Island	2010	32,00
Japan	2012	2,00
Großbrit.	2013	21,00
Frankreich	2014	45,00
Spanien	2014	15,00
Argentinien	2018	5,00
Kanada	2019	13,00

HANDELSBLATT-GRAFIK

PyroDry® vs. Verbrennung

ΔCO₂ = 267 kg/t entw. Schlamm

Einsparung durch PyroDry® bei unterschiedlichen CO₂ Bepreisungen...

CO ₂ Preis [€/t]	Spez. Einsparung entw. Schlamm	Bei einer 40.000 t/a Anlage
59,39	15,86 €/t	634.400 €/a
115,00	30,71 €/t	1.228.400 €/a
250,00	66,75 €/t	2.670.000 €/a

1 ha Wald binden ca. 6 t/a CO₂	Äquivalentfläche 1.780 ha
--	--------------------------------------

