

# Optimierung von Biogasanlagen durch die Einspeisung von Pyrolysegas

## Aktuelle Situation

Die meisten Betreiber von Biogasanlagen stehen vor wegweisenden Entscheidungen bezüglich der Zukunft ihrer Anlagen. Dies wird speziell durch die anstehenden Minderungen der EEG-Zuschüsse notwendig. In diesem Zusammenhang kann die Erweiterung einer bestehenden Biogasanlage durch eine Pyrolyseanlage sehr sinnvoll sein.



## Pyrolysegas

Die Pyrolyseanlage von Autarkize produzieren aus trockener Biomasse ein hochreines Pyrolysegas. Die genaue Zusammensetzung des Pyrolysegases hängt von der eingesetzten Biomasse ab. Beim Einsatz von Hackschnitzeln ergeben sich z.B. die folgenden Hauptbestandteile dieses Pyrolysegases:

- Kohlenmonoxid (CO): ca. 30%
- Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>): ca. 24%
- Wasserstoff (H<sub>2</sub>): ca. 20%
- Ammoniak (NH<sub>4</sub>): ca. 20%

Das nachfolgende Bild eines Gasanalysegerätes belegt diese Gaszusammensetzung. Eine komplette Gasanalyse ist in der Anlage dargestellt.



### Einspeisung des Pyrolysegases

Das Pyrolysegas wird möglichst feinperlig in die Flüssigphase des Fermenters der Biogasanlage eingedüst. Diese Eindüstung erfolgt möglichst tief unten in Fermenter um eine große Verweildauer des Pyrolysegases in der Flüssigphase zu erreichen. Während die Gasbläschen langsam durch die Flüssigkeit nach oben steigen, werden die Gasbestandteile von den Bakterien verstoffwechselt.

Diese Verstoffwechslung des Pyrolysegases führt zu einer deutlichen Steigerung des Methananteils im Biogas. Abhängig von der Höhe der Flüssigkeitssäule im Fermenter und der Viskosität der Flüssigphase kann der Methangehalt im Biogas um bis zu 10 – 15% gesteigert werden.

Der hohe Anteil von Kohlenmonoxid (CO) im Pyrolysegas erbringt einen zusätzlichen Kohlenstoffeintrag in den Fermenter. Dadurch kann der Kohlenstoffeintrag durch die in der Biogasanlage eingesetzte Biomasse reduziert werden. Mit anderen Worten: der Eintrag von Mais und damit die Kosten der Biomasse für die Produktion von Biogas können reduziert werden.

Die Einspeisung von Pyrolysegas in den Fermenter einer Biogasanlage sorgt somit sowohl für eine Steigerung der Gasmenge als auch des Methanisierungsgrads und reduziert gleichzeitig die Kosten der eingesetzten Biomasse.

Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage deutlich erhöht.

### Technische Kennzahlen der Pyrolyseanlage

Die folgenden Kennzahlen gelten für den Betrieb einer Autarkize M Pyrolyseanlage:

<b>Input</b>	
Input in kg/h (bei 20% Restfeuchte)	300,00
maximale Restfeuchte Inputbiomasse in %	25%
Input in kg/h (trocken)	225,00
Energiegehalt (Heizwert) Rohbiomasse in kWh/kg (bei 80% TS)	3,73
Brennstoffleistung in kW	1.119,13
Betriebsstunden pro Jahr in h	8.000,00
<b>Pflanzenkohle</b>	
Outputverhältnis Pflanzenkohle in % von trockener Biomasse	25%
Output Pflanzenkohle pro Stunde in kg	56,25
Output Pflanzenkohle pro Jahr in t	450,00
Kohlenstoffgehalt Pflanzenkohle in %	80%
Energiegehalt Pflanzenkohle in kWh/kg	8,00
Outputleistung Pflanzenkohle in kW	450,00
In Pflanzenkohle gebundene Energie in kWh/Jahr	3.600.000,00
<b>CDR Bilanz</b>	
Verlustfaktor C-Senken Zertifizierung in %	84%
Zertifizierbares, dauerhaft entzogenes CO <sub>2</sub> in kg/h	171,52
Dauerhaft entzogenes CO <sub>2</sub> pro Jahr in t	1.372,14
<b>Pyrolysegas</b>	
Transmissionsverluste pauschal in %	3%
Transmissionsverluste in kW	33,57
Transmissionsverluste in kWh/Jahr	268.590,60
Brennerleistung in kW	223,83
Brennerenergie im Jahr in kWh	1.790.604,00
Abgasverluste Kamin in %	50%
Abgasleistung in kW	111,91
Abgasenergie im Jahr in kWh	895.302,00
Produktgasleistung in kW	523,64
Produktgasenergie pro Jahr in kWh	4.189.127,40
Brennwert Gas in kWh/Nm <sup>3</sup>	4,20
netto verfügbare Pyrolysegasmenge in Nm <sup>3</sup> /Stunde	124,68
netto verfügbare Pyrolysegasmenge in Nm <sup>3</sup> /Jahr	997.411,29
Gesamtsynthesegasproduktin in Nm <sup>3</sup> /Stunde	151,32
Gesamtsynthesegasproduktin in Nm <sup>3</sup> /Jahr	1.210.578,43
<b>Verstromung des Pyrolysegases im BHKW</b>	
Jahresnutzungsgrad BHKW (in % Betriebsstunden Pyrolyse)	100%
Motowirkungsgrad elektrisch	40%
Motorwirkungsgrad thermisch	45%

Motorleistung elektrisch in kW	209,46
Motorleistung thermisch in kW	235,64
Elektrische Energie genutzt in kWh/Jahr	1.675.650,96
Thermische Energie genutzt in kWh/Jahr	1.885.107,33
Verlust BHKW in kW	78,55
Verlust BHKW in kWh/Jahr	628.369,11
<b>Verbrennung des Pyrolysegases zur Wärmeproduktion</b>	
Jahresnutzungsgrad Wärmeerzeugung (in % Betriebsstunden Pyrolyse)	100%
Wirkungsgrad Wärmeerzeuger Wasser	90%
Wärmeleistung in kW	471,28
Wärmeenergie genutzt in kWh/Jahr	3.770.214,66
Verlust Wärmeenergie in kWh/Jahr	418.912,74
<b>Abgaswärmegewinnung</b>	
Jahresnutzungsgrad Abgaswärme (in % Betriebsstunden Pyrolyse)	100%
Nutzbare Abwärme in %	75%
Nutzbare Abwärme Kamin in kW	83,93
Nutzbare Abwärme Kamin in kWh/Jahr	671.476,50
Verlust Kamin in kW	27,98
Verlust Kamin in kWh/Jahr	223.825,50
Gesamtnutzbare Wärme inkl. BHKW	2.556.583,83
Alternativ: Gesamt nutzbare Wärme inkl. Wärmeerzeuger	4.441.691,16
<b>Abmaße</b>	
Länge in m	3
Breite in m	2,2
Höhe in m	2,4
optional in Containerbau	20 Fuss

### **Biomasse**

Als Eingangsstoff für die Pyrolyse eignen sich unterschiedlichste Biomasse und biogene Reststoffe. Neben Hackschnitzeln oder Waldhackschnitzeln eignen sich z.B. die folgenden Biomassen:

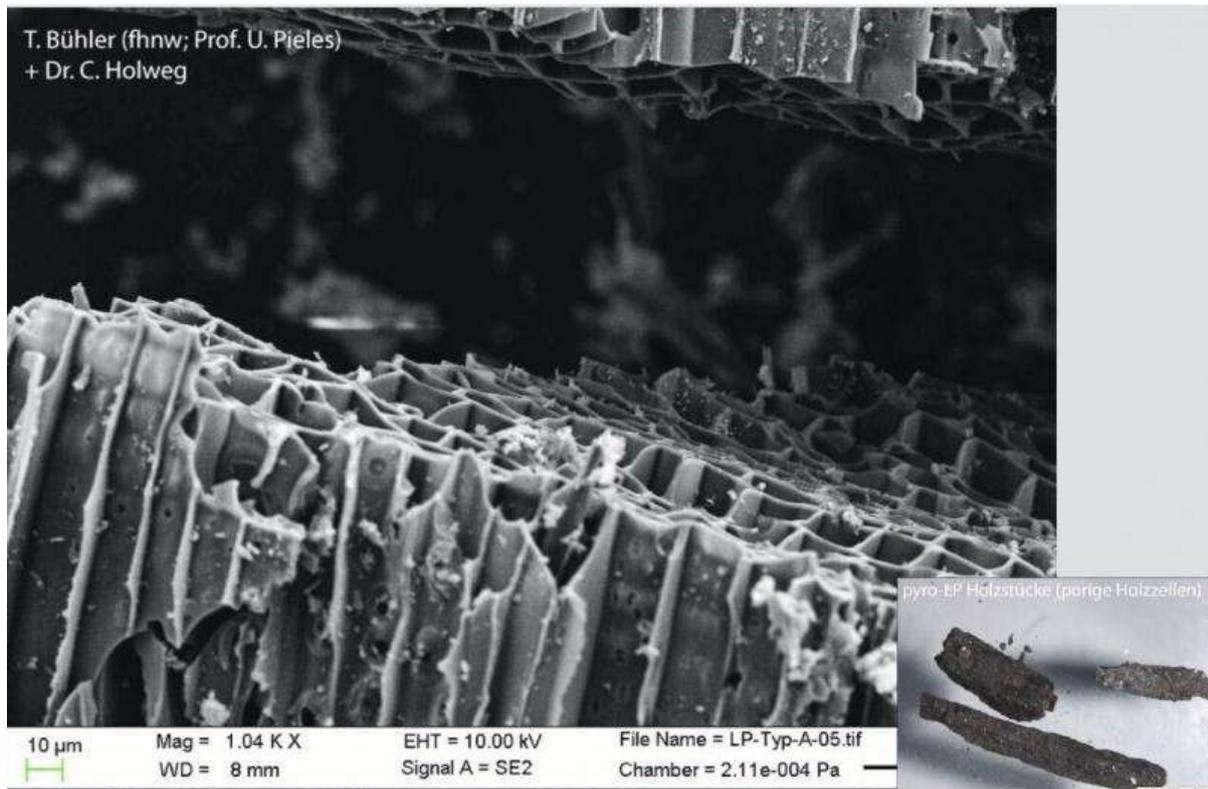
- Holziger und getrockneter Grünschnitt
- Erntereste
- Spelzen
- Kerne oder harte Schalen (Nussschalen, Sonnenblumenkernschalen)
- Siebreste von Kompostierung

Es können auch feste, getrocknete Gärreste als Biomasse für die Pyrolyse genutzt werden. Da die anfallende Menge an festen Gärresten meist nicht ausreicht, um die Pyrolyseanlage ganzjährig zu betreiben, werden die Gärreste aber nur eine Zumischung zur eingesetzten Biomasse sein können.

Eine weitere interessante Alternative ist die Pyrolyse von Pferdemist. Dabei kann durch die schadstofffreie Entsorgung des Pferdemistes sogar noch mit zusätzlichen Einnahmen gerechnet werden.

### Nutzung der Pflanzenkohle im Fermenter

Pflanzenkohle ist sehr porös und besitzt eine hohe spezifische Oberfläche von teilweise über 500m<sup>2</sup> pro Gramm. Somit besitzen ca. 14g unserer Pflanzenkohle eine Oberfläche in der Größe eines Fußballfeldes.



In Studien konnte gezeigt werden, dass diese große Oberfläche der Pflanzenkohle als spezifische, bakterielle Aufwuchsfläche fungiert. Der so zusätzlich geschaffene Lebensraum für Mikroorganismen im Fermenter führt zu einem besseren Austausch sowie effektiveren und schnelleren Abbau der Substrate und Metaboliten. Die Mikroorganismen sind dabei in der Matrix der Pflanzenkohle geschützt und dadurch geringeren Scherkräften ausgesetzt, die die Biozönosen durch das ständige Rühren des Fermenterinhalt immer wieder zerstören. Dies führt zu Erweiterung der mikrobiellen Funktionalität und damit der mikrobiellen Diversität im Gärssystem.

Außerdem kann Pflanzenkohle, ähnlich wie medizinisch eingesetzte Aktivkohle, als Molekularfilter dienen und die Stör- bzw. Hemmsubstanzen aufnehmen. Dadurch wird der Ablauf des Gärungsprozesses optimiert, stabilisiert und störungsresistenter. Die Zugabe von Additiven und Hilfsstoffen zur Steuerung des Gärprozesses wird damit unnötig.

Aktuelle Studien untersuchen zusätzlich in wie weit Pflanzenkohle während des Gärprozesses vorübergehend einige Metaboliten, wie überschüssige Säuren (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> oder H<sub>2</sub>S), die in hohen Konzentrationen für den Gärprozess schädlich sein können, binden.

Auch ein Übermaß an Stickstoff, welcher z.B. durch die Zugabe von HTK und anderen Wirtschaftsdüngern aus der Geflügelhaltung resultieren kann, wird durch die Zugabe von Pflanzenkohle wirkungsvoll gebunden und aus dem Prozess ausgezogen. Der Gärungsprozess wird

dadurch stabilisiert. So wird es möglich, die Stoffzufuhr preisgünstiger Wirtschaftsdünger aus der Güllehaltung zu erhöhen und die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage zu verbessern.

Der relativ hohe Anteil an mineralischen Bestandteilen der Pflanzenkohle sichert durch den Einsatz im Fermenter die Versorgung der Microorganismen mit essentiellen Mikronährstoffen und Spurenelementen. Je nachdem welche Biomasse zur Produktion der Pflanzenkohle eingesetzt wurde, kann der mineralische Anteil in der Pflanzenkohle, also der Ascheanteil, von ca. 15% - 20% betragen. Zwar liegen die Mineralien ungelöst vor, können allerdings durch Konzentrationsgefälle dissoziiert werden und in bioverfügbare Formen übergehen.

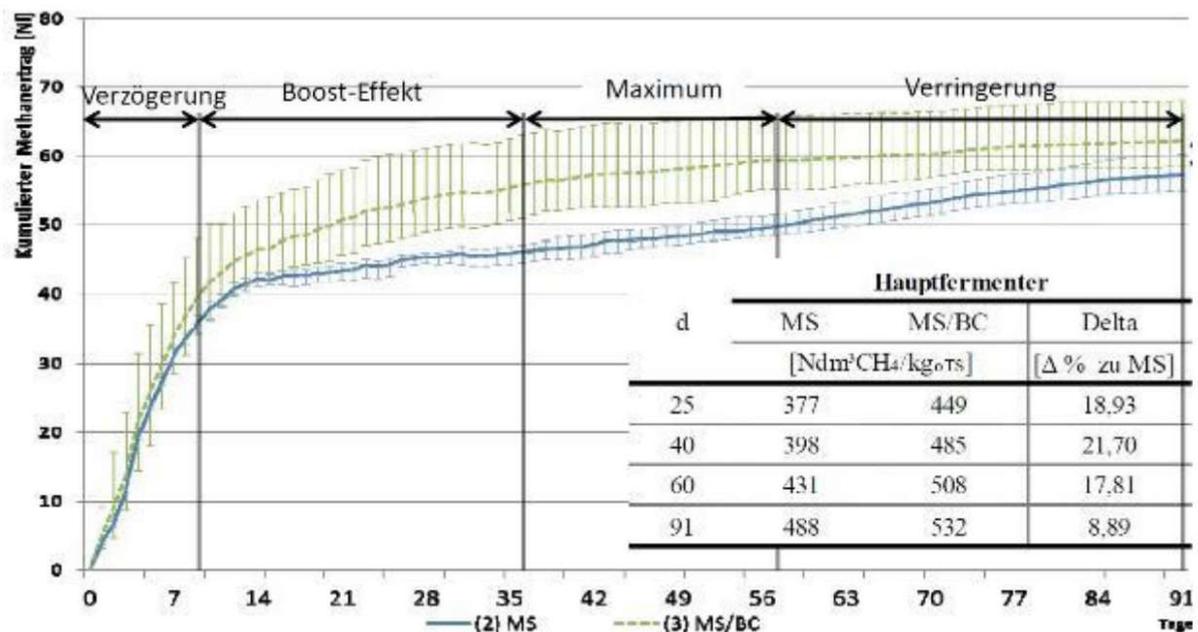
Somit ist für den Einsatz im Hauptfermenter der Einsatz von Pflanzenkohle mit einem hohen Ascheanteil vorteilhaft.

Mehrere Studien kommen, auch bei unterschiedlichen Substratmischungen, auf einen gemeinsamen Optimalwert für die Beimischung von Pflanzenkohle zum Substrat:

Die besten Ertragswerte wurden bei einer Zugabe von Pflanzenkohle im Gewichtsverhältnis von 2,5% der eingesetzten Frischmasse erzielt.

Für die Bewertung der Effektivität des Einsatzes von Pflanzenkohle in Biogasanlagen muss speziell auf die Zeitschiene geachtet werden:

- nach 18 Tagen ein durchschnittlicher Mehrertrag von 18,9%
- nach 40 Tagen ein durchschnittlicher Mehrertrag von 21,7%



### Investition

Bei der Kombination einer Pyrolyseanlage mit einer Biogasanlage fallen neben den Kosten für die Pyrolyseanlage selbst auch Kosten für zusätzliche Materialbunker und Automationstechnik an. Die Investitionen für eine komplette Standard-Anlage setzen sich wie folgt zusammen:

Pyrolyseanlage	850.000,00 €
Abgaswärmetauscher	40.000,00 €
Biomasselager	40.000,00 €
Beschickung	30.000,00 €
Verrohrung, Kamin	70.000,00 €
Pflanzkohleabsackung	25.000,00 €
Eindüsung in Fermenter	60.000,00 €
E-Technik	25.000,00 €
Wasser/Abwasser	15.000,00 €
Automatisierung	50.000,00 €
Projektmanagement, IngenieursDL	50.000,00 €
Zertifizierung Pflanzkohle, CDR	20.000,00 €
<b>Summe:</b>	<b>1.275.000,00 €</b>

Diese Kalkulation muss in jedem Einzelfall angepasst werden, soll also nur als grobe Richtwert dienen.

Alternativ zum Kauf einer Pyrolyseanlage bietet Green Innovations ein Mietmodell an. Dabei wird im Rahmen eines Überlassungsvertrags dem Betreiber der Biogasanlage ein monatliche Mietpauschale für die Nutzung der Pyrolyseanlage berechnet. Der Betrieb der Pyrolyseanlage erfolgt durch den Betreiber der Biogasanlage. Green Innovations übernimmt den Einkauf der Biomasse und den Vertrieb der Pflanzkohle.

Bei der oben berechneten Investition in Höhe von 1.275.000,-€ würde die Jahresmiete ca. 240.000,-€ betragen.

### Wirtschaftlichkeitsberechnung

Bezogen auf eine Jahresmiete von 240.000,-€ kann die folgende Wirtschaftlichkeitsberechnung aufgestellt werden:

Energie im verfügbaren Pyrolysegas bei 8.000 Betriebsstunden pro Jahr: 4.189.127,40 kWh

Energiekosten des Pyrolysegases: 0,057€/kWh.

Bei dieser Wirtschaftlichkeitsberechnung ist die Erhöhung des Brennwertes des Biogases durch die zusätzlich Methanisierung nicht mit einberechnet.

Weitere Informationen:

Green Innovations GmbH  
 Geschäftsführer: Harald Ley  
 Nathan-R.-Preston-Str. 1  
 96052 Bamberg

[www.green-innovations-gmbh.de](http://www.green-innovations-gmbh.de)



**Anlage: Prüfbericht zur Gasanalyse von Pyrolysegas erzeugt mit Hackschnitzeln:**

Prüfbericht: 2437403 19.07.2024

**Probenbezeichnung: 1321-1**  
**Probenahmedatum: 27.06.2024**  
**Labornummer: 2437403-001**  
**Material: Gas**

	Gehalt	Einheit	BG	Methode
Argon	0,1	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Sauerstoff	2,8	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Stickstoff	9,9	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Kohlendioxid	16,2	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Methan	14	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Ethan	1,1	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Ethen + Ethin	2,8	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Propan + Propen	1,3	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
i-Butan	u.d.B.	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
n-Butan	u.d.B.	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
n-Butene	0,6	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Wasserstoff	13,4	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Kohlenmonoxid	37,8	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Heizwert Hi	15410	kJ/Nm <sup>3</sup>		berechnet (DIN EN ISO 6976)
Heizwert Hi	4,28	kWh/Nm <sup>3</sup>		berechnet (DIN EN ISO 6976)
n-Pentan	3000	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Hexan	100	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Heptan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Octan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Nonan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Decan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Undecan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Dodecan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Tridecan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Schwefelwasserstoff	27	mg/m <sup>3</sup>	1	kolorimetrisch
Ammoniak	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	1	kolorimetrisch

Prüfbericht: 2437403 19.07.2024

**Probenbezeichnung:** 1321-1  
**Probenahmedatum:** 27.06.2024  
**Labornummer:** 2437403-001  
**Material:** Gas

	Gehalt	Einheit	BG	Methode
Benzol	6600	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Toluol	3400	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Ethylbenzol	290	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
m-Xylol + p-Xylol	680	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
o-Xylol	240	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
i-Propylbenzol (Cumol)	12	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Propylbenzol	16	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	21	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
1,2,4-Trimethylbenzol (Pseudocum.)	63	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
1,2,3-Trimethylbenzol (Hemellitol)	19	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
m- + p-Ethyltoluol	120	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
o-Ethyltoluol	26	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
i-Propyltoluol	4,1	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Pinen	59	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Limonen	4,3	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Tetramethylsilan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Trimethylsilanol	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Hexamethyldisiloxan (L2)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Octamethyltrisiloxan (L3)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Decamethyltetrasiloxan (L4)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Summe org. Siliciumverbindungen	0	mg/m <sup>3</sup>		berechnet
Summe Silicium	0	mg/m <sup>3</sup>		berechnet

Prüfbericht: 2437403 19.07.2024

**Probenbezeichnung:** 1327-1  
**Probenahmedatum:** 27.06.2024  
**Labornummer:** 2437403-002  
**Material:** Gas

	Gehalt	Einheit	BG	Methode
Argon	0,1	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Sauerstoff	2,9	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Stickstoff	10,6	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Kohlendioxid	16,2	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Methan	13,8	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Ethan	1,2	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Ethen + Ethin	2,5	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Propan + Propen	1,3	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
i-Butan	u.d.B.	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
n-Butan	u.d.B.	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Butene	0,6	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Wasserstoff	13,6	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Kohlenmonoxid	37,2	Vol%	0,1	DIN 51872-4 (GC-WLD)
Heizwert Hi	15170	kJ/Nm <sup>3</sup>		berechnet (DIN EN ISO 6976)
Heizwert Hi	4,21	kWh/Nm <sup>3</sup>		berechnet (DIN EN ISO 6976)
n-Pentan	3300	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Hexan	120	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Heptan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Octan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Nonan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Decan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Undecan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Dodecan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Tridecan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,5	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Schwefelwasserstoff	31	mg/m <sup>3</sup>	1	kolorimetrisch
Ammoniak	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	1	kolorimetrisch

Prüfbericht: 2437403 19.07.2024

**Probenbezeichnung:** 1327-1  
**Probenahmedatum:** 27.06.2024  
**Labornummer:** 2437403-002  
**Material:** Gas

	Gehalt	Einheit	BG	Methode
Benzol	5300	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Toluol	2900	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Ethylbenzol	270	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
m-Xylol + p-Xylol	610	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
o-Xylol	220	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
i-Propylbenzol (Cumol)	13	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
n-Propylbenzol	17	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen)	17	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
1,2,4-Trimethylbenzol (Pseudocum.)	57	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
1,2,3-Trimethylbenzol (Hemellitol)	17	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
m- + p-Ethyltoluol	110	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
o-Ethyltoluol	24	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
i-Propyltoluol	5,4	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Pinen	58	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Limonen	18	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Tetramethylsilan	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Trimethylsilanol	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Hexamethyldisiloxan (L2)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Octamethyltrisiloxan (L3)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Decamethyltetrasiloxan (L4)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	u.d.B.	mg/m <sup>3</sup>	0,1	i.A. VDI 3865 Bl.4 (GC-MS)
Summe org. Siliciumverbindungen	0	mg/m <sup>3</sup>		berechnet
Summe Silicium	0	mg/m <sup>3</sup>		berechnet

BG = Bestimmungsgrenze  
 u.d.B. = unter der Bestimmungsgrenze



C. Raab (Chemietechniker)