

Erzeugung von Holzgas aus Restholz mit Spuren von Polyurethan-Leim und Verwertung in einem Blockheizkraftwerk

im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Auftraggeber

Bezeichnung: Bundesamt für Umwelt, Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien
CH - 3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
www.bafu.admin.ch

Auftragnehmer

Bezeichnung: Prüfstelle für Holzfeuerungen
Adresse: Klosterzelgstrasse 2, CH-5210 Windisch
Verantwortlicher: Tom Strebel
Telefon: +41 56 202 79 16
E-Mail: holzfeuerungen.technik@fhnw.ch
Interne Referenz MP-22226

Projektleiter Peter Bonsack BAFU
Projektbegleitung Rainer Kegel BAFU
Beat Gloor AWEL
BAFU-Vertragsnummer 00.5082.PZ / 17A51823D

Autoren Prof. Dr. Petar Mandaliev
Dr. Horst Matzke
Nemo Lohberger
Tom Strebel

10.06.2026, Windisch
Überarbeitete Fassung

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse eines vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) unterstützten Pilotprojekts zur Untersuchung der Restholzvergasung für Blockheizkraftwerke (BHKW), mit speziellem Fokus auf Polyurethan(PU)-verleimtem Restholz. Das Ziel bestand darin, zu ermitteln, ob die Verwendung von PU-verleimtem Restholz im Vergleich zu naturbelassenem Waldholz zu höheren Emissionen führt und wie diese gemäss der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) zu bewerten sind.

Im Rahmen der Untersuchung wurde die Pilotanlage „LiPRO-HKW50“ der Firma Flück AG betrieben. Die Anlage verarbeitet Holzschnitzel mit einer maximalen Menge von 37.5 kg/h und erreicht dabei eine elektrische Nettoleistung von 50 kW, sowie eine nutzbare thermische Leistung von 97 kW bei einem Gesamtwirkungsgrad von 86 %. Die Anlage verfügt über eine mehrstufige Vergasungstechnologie (LiPRO-HGW200), bei der Holz pyrolytisch umgesetzt und das entstehende Holzgas anschliessend in einem BHKW energetisch verwertet wird.

Vergleichende Emissionsmessungen der Firma NoxaQuant GmbH vom 27. Februar 2024 mit naturbelassenem Waldholz und vom 6. August 2024 mit PU-verleimtem Restholz zeigten, dass beim Betrieb mit PU-verleimtem Holz erhöhte Emissionen von Kohlenmonoxid (CO: $114 \pm 11 \text{ mg/m}^3$ gegenüber $9 \pm 5 \text{ mg/m}^3$ bei naturbelassenem Waldholz) und Ammoniak (NH_3 : $17 \pm 3 \text{ mg/m}^3$ gegenüber $3.1 \pm 0.5 \text{ mg/m}^3$ bei naturbelassenem Waldholz) auftraten. Eine dritte Kontrollmessung am 5. Februar 2025 bestätigte, dass die erhöhten Emissionen nicht dem Brennstoff, sondern technischen Betriebsproblemen (Druckschwankungen im System durch einen undichten Schieber bei der Brennstoffzufuhr und eine fehlerhafte Einstellung der Lambda-Regelung) zuzuschreiben waren. Nach Behebung dieser Probleme wurden keine höheren oder andere Schadstoffemissionen gemessen als beim Betrieb mit naturbelassenem Holz.

Die Analysen des verwendeten Brennstoffs ergaben keine signifikanten Unterschiede in den Schadstoffgehalten zwischen dem PU-verleimten Restholz und dem naturbelassenen Waldholz. In der entstandenen Asche zeigte sich hingegen die erwartete Anreicherung von Schwermetallen (zum Beispiel Nickel mit 3'920 mg/kg, Chrom mit 2'980 mg/kg und Zink mit 2'270 mg/kg) sowie von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (EPA-PAK mit 592 mg/kg). Eine direkte landwirtschaftliche Verwendung der Asche ist daher ausgeschlossen.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die Vergasung von PU-verleimtem Restholz technisch machbar ist und unter korrekten Betriebsbedingungen emissionsseitig unproblematisch verläuft. Die Anlage entspricht einem fortschrittlichen technologischen Entwicklungsstand, sodass eine solche Anwendung aus Sicht der Luftreinhaltung grundsätzlich gerechtfertigt erscheint.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	2
1 EINLEITUNG	4
1.1 Ausgangslage	4
1.2 Vorschriften der Luftreinhalte-Verordnung (LRV)	4
1.3 Zielsetzung	5
2 AUFTRAGSUMFANG	6
3 METHODIK	7
3.1 Grundlagen	7
3.1.1 Anlagenbeschreibung	7
3.1.2 Holzschnitzel Aufbereitung	7
3.1.3 Übersicht Holzheizkraftwerk	8
3.1.4 Thermische Energie	9
3.2 Ablauf der Holzvergasung beim LiPRO-HGW200	10
3.3 Stoff- und Energieflüsse	11
3.3.1 Stofffluss Restholz	11
3.3.2 Betrieb des Holzheizkraftwerks	12
3.4 Emissionen aus naturbelassenem Holz	12
4 ERGEBNISSE	13
4.1 Übersicht	13
4.2 Auswirkungen von Druckschwankungen auf Lambdasonde und Ammoniakbildung und CO-Reduktion im Katalysator	16
4.3 Analyse des Brennstoffs und der Asche	18
4.3.1 Brennstoffanalyse	18
4.3.2 Ascheanalyse	18
4.4 Ergebnisse der Ökobilanz: Restholzvergasung in LiPRO vs. Verbrennung in KVA	20
5 FAZIT UND EMPFEHLUNGEN	21
6 ANHÄNGE	22
6.1 Anhang I: Messbericht 1: Referenzmessung mit naturbelassenem Waldholz (NoxaQuant, 27.2.2024)	24
6.2 Anhang II: Messbericht 2: Emissionsmessung mit PU-verleimtem Restholz (NoxaQuant, 6.8.2024)	43
6.3 Anhang III: Messbericht 3: Emissionsmessung zur Verifikation mit PU-verleimtem Restholz (NoxaQuant, 5.2.2025)	62
6.4 Anhang IV: Brennstoffanalyse 1: Unbehandelte Waldholzschnitzel (Intertek, 4.2024)	93
6.5 Anhang V: Brennstoffanalyse 2: PU-verleimte Restholzschnitzel (Intertek, 23.8.2024)	94
6.6 Anhang VI: Kohle-/Ascheanalysen (Intertek, 28.8.2024)	96
6.7 Anhang VII: Kohle-/Ascheanalysen (Bachema / SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH)	100

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

In der Schweiz fallen jährlich erhebliche Mengen Restholz aus Abbundwerken und Schreinereien an. Dieses enthält häufig den Klebstoff Polyurethan (PU). Die Schweizerische Luftreinhalte-Verordnung (LRV, SR 814.318.142.1) beschränkt derzeit die Verwendung von PU-verleimtem Restholz in Holzkraftwerken, die nach dem Prinzip der Holzvergasung und Kraft-Wärme-Kopplung arbeiten. Bei der Verwendung von Holzgas in einem stationären Verbrennungsmotor (BHKW) darf nur naturbelassenes Holz zur Holzgasherstellung verwendet werden.

Zur Prüfung der grundsätzlichen Eignung von PU-verleimtem Restholz für die energetische Verwertung als Pyrolysegas wurde zwischen Februar und Juni 2024 an der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) eine studentische Projektarbeit durchgeführt¹. Als Fallstudie diente das Holzheizkraftwerk HKW50 der Firma LiPRO im Abbundwerk der Flück AG in Wangen bei Dübendorf. Dieses Kraftwerk besteht aus einer Holzvergaseranlage und einem Blockheizkraftwerk (LiPRO Energy GmbH & Co. KG, 2022b). Untersucht wurden die Eigenschaften des anfallenden Restholzes, die Typen der verwendeten Polyurethanleime, die Prozessabläufe im Kraftwerk, die Emissionen bei der Vergasung und Verbrennung des Restholzes, mögliche Behandlungsmethoden sowie Verwertungsmöglichkeiten für die entstehende Asche.

Die Ergebnisse der studentischen Projektarbeit zeigten, dass die Verwertung von verleimtem Restholz in einem lokalen Holzheizkraftwerk, wie der LiPRO-Anlage der Flück AG, eine vielversprechende sowie ökologisch und ökonomisch sinnvolle Option darstellt. Das anfallende Restholz bestand aus Nadelhölzern (Tanne oder Fichte) und unterscheidete sich von naturbelassenem Waldhackgut hauptsächlich dadurch, dass es frei von Rinde und Kronenmaterial war und keine mineralischen Verunreinigungen oder andere, bei Lagerung und Verarbeitung eingetragene Störstoffe enthielt.

Die Holz-Abbund AG, an deren Standort die LiPRO-Anlage der Flück AG betrieben wird, verarbeitete hauptsächlich Brettschichtholz, Brettsperrholz, Konstruktionsvollholz, Duo-Balkenschichtholz sowie Massivholz- und Mehrschichtplatten aus Fichte und Tanne (jeweils ca. 50 %)¹. Holzwerkstoffe wie OSB-Platten (Oriented Strand Board), Furnierschichtholz, MDF-Platten (Medium Density Fibreboard), Spanplatten oder Weichfaserplatten wurden bei der Holz-Abbund AG dagegen nur selten eingesetzt. Die Letzten enthielten in der Regel deutlich mehr PU-Leim¹. Da bei der Holzverarbeitung der Holz-Abbund AG auch Restholz mit Polyurethan-Klebstoffen anfällt, besteht seitens des Unternehmens Interesse, dieses Material in der eigenen Holzgasanlage zu vergasen und im Blockheizkraftwerk zur Stromerzeugung und Abwärmenutzung zu verwerten.

Am 27. Februar 2024 wurden am Heizkraftwerk Emissionsmessungen mit naturbelassenem Holz durchgeführt. Das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) bewertete die Emissionswerte gemäss den Anforderungen der Luftreinhalte-Verordnung (LRV). Insbesondere die Emissionen von Kohlenmonoxid (CO), Stickoxiden (NO_x) und Staub wurden als eingehalten beurteilt (Beurteilung vom 26. März 2024).

1.2 Vorschriften der Luftreinhalte-Verordnung (LRV)

Die Luftreinhalte-Verordnung (LRV) der Schweiz unterscheidet in Anhang 5 Ziffer 31 Absatz 1 im Wesentlichen zwischen zwei Qualitäten von Holzbrennstoffen:

- **Naturbelassenes Holz (Buchstaben a, b):** Dies umfasst klassisches naturbelassenes Holz sowie rein mechanisch bearbeitetes naturbelassenes Holz oder Holzreste aus der Holzverarbeitung, beispielsweise aus Sägereien oder Schreinereien, sofern diese die Stoffströme von unbehandeltem und behandeltem Holz klar trennen können (siehe Erläuterungen zur LRV-Änderung vom 03.03.2017).
- **Restholz (Buchstabe c, d Ziffer 2):** Hierzu zählen bemaltes, beschichtetes oder verleimtes Holz aus der Holzverarbeitung sowie unbehandelte Einwegpaletten aus Massivholz.

Zusätzlich existiert die Kategorie Altholz gemäss Anhang 5 Ziffer 31 Absatz 2 Buchstabe a, welches nach LRV nicht als Holzbrennstoff, sondern als Abfallholz klassifiziert wird.

Anforderungen an naturbelassenes Holz

¹ Oester, M., Batu, S., Baumann, M., Kamber, S., & Wacker, G. (2024). Holzvergasung von PU-verleimtem Restholz [Hochschule für Technik FHNW].

Naturlasselnes Holz darf lediglich «unerhebliche Verunreinigungen» aufweisen, die durch die Verarbeitung des Holzes entstanden sind. Dies umfasst geringe Mengen an Substanzen wie Schmierfetten, die bei der üblichen mechanischen Bearbeitung ins Holz eingebracht werden. Eine Behandlung des Holzes, beispielsweise durch Verleimung, ist nicht gestattet; andernfalls wird es als Restholz oder – falls es nach der Behandlung genutzt wurde – als Altholz eingestuft.

Regulatorische Vorgaben bei Holzvergasung

Bei der Vergasung von Holz sind die Vorschriften gemäss Anhang 5 Ziffer 41 der LRV zu beachten:

- **Gasbrennstoffe (Absatz 1, Buchstabe d):** Dies bezieht sich auf Gas aus der Vergasung von Holzbrennstoffen nach Ziffer 31 Absatz 1 Buchstaben a, b oder d Ziffer 1 (ausschliesslich naturlasselnes Holz). Wird solches Gas in stationären Verbrennungsmotoren verwendet, gelten die Emissionsgrenzwerte nach Anhang 2 Ziffer 82 der LRV. Bei einer Gasfeuerung sind die Grenzwerte nach Anhang 3 Ziffer 6 der LRV massgebend.
- **Abfallgase (Absatz 2):** Hierunter fallen Gase aus der Vergasung von Restholz, Altholz und ähnlichem. Für Anlagen, in denen Abfallgase verbrannt werden, sind die Vorschriften und Grenzwerte nach Anhang 2 Ziffer 71 der LRV anzuwenden (sogenannte «KVA-Grenzwerte» für Kehrlichtverbrennungsanlagen).

Schlussfolgerung

Holz mit Anteilen von Polyurethan-Klebstoff gilt nicht als naturlasselnes Holz, sondern entspricht Restholz gemäss Anhang 5 Ziffer 31 Absatz 1 Buchstabe c der LRV. Dementsprechend ist das bei dessen Vergasung entstehende Gas als Abfallgas zu klassifizieren.

1.3 Zielsetzung

Das Hauptziel des Projekts bestand darin, nachzuweisen, dass beim Betrieb des Blockheizkraftwerks (BHKW) mit vergastem Restholz der Holz-Abbund AG – unabhängig vom minimalen oder maximalen Anteil an PU-Leim im Restholz – keine deutlich höheren oder anderen Schadstoffemissionen entstehen als beim Betrieb mit naturlasselnem Holz.

Methodik zur Vermeidung von Kreuzkontaminationen

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden die verschiedenen Holzarten separat in die Anlage eingebracht, um Kreuzkontaminationen auszuschliessen. Die Flück AG stellte hierfür die notwendige Fördertechnik bereit. Somit fungierte die Anlage der Flück AG als Pilotanlage zur Untersuchung der Luftschadstoffemissionen bei der energetischen Verwertung von PU-verleimtem Restholz.

Vergleichende Emissionsmessungen

Um einen fundierten Vergleich zwischen naturlasselnen Holzhackschnitzeln und PU-verleimtem Restholz aus dem Abbundbetrieb zu ermöglichen, wurden die gleichen Luftschadstoffe gemessen, die die Firma NoxaQuant GmbH bereits bei der Abnahmemessung mit naturlasselnen Holzhackschnitzeln ermittelt hat. Dabei wurden nicht nur die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte berücksichtigt, sondern es wurden auch umfassendere Analysen mit Emissionswerten für Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA) durchgeführt. Dadurch konnten mögliche zusätzliche Verbrennungsprodukte aus verleimtem Restholz erfasst werden. Die Ergebnisse aus den Messungen der Firma NoxaQuant GmbH sind im Anhang des Berichtes dargestellt.

Projektmotivation und technologische Entwicklung

Die Motivation für dieses Projekt ergab sich aus der kontinuierlichen Weiterentwicklung des Stands der Technik hin zu umweltfreundlicheren Verfahren und Anlagen. Historisch enthielten Holzleime höhere Anteile an umweltschädlichen Substanzen wie Formaldehyd und Lösungsmittel. Aktuell befinden sich neue Verfahren in der Erprobungsphase oder sind teilweise bereits im Einsatz, bei denen Holzteile ohne Verwendung von Klebstoffen allein durch Reibung und hohen Druck miteinander verbunden werden. Diese innovativen Verfahren sind jedoch nicht Gegenstand des vorliegenden Projekts.

Potenzielle Auswirkungen auf die Gesetzgebung

Die Ergebnisse dieses Projekts können dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) als Grundlage dienen, um bei einer möglichen Erweiterung der Ziffern 31 und 41 des Anhangs 5 der LRV PU-verleimtes Restholz aus der Holzverarbeitenden Industrie zur Vergasung in dafür geeigneten Pyrolyseanlagen und Verwertung in einem BHKW dem naturlasselnen Holz gleichzustellen.

2 Auftragsumfang

In Zusammenarbeit mit der Holz-Abbund AG und der vorgesehenen Messfirma NoxaQuant GmbH müssen die erforderlichen Messungen an der Anlage gemäss Auftrag vorbereitet werden. Die Messfirma muss gemäss Artikel 13a der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) nach dem Qualitätsstandard für Emissionsüberwachung (QSEM) zugelassen sein.

Zu den Aufgaben zählen die Bereitstellung des geeigneten Brennstoffs, die Begleitung der Messungen und das Erstellen eines Abschlussberichts. Dieser muss die Ausgangslage, die Zielsetzung, das detaillierte Vorgehen, die Holzqualitäten inklusive der verwendeten Leimarten, die Brennstoffanalysen sowie die Ergebnisse der Emissions- und gegebenenfalls der Kohleanalysen umfassen. Insbesondere sind mögliche Unterschiede in den Emissionen zwischen den Messungen mit naturbelassenem Holz und PU-verleimtem Holz unter Berücksichtigung der jeweiligen Messunsicherheiten zu diskutieren. Ein Entwurf des Abschlussberichts muss dem BAFU und dem AWEL zur Verfügung gestellt und anschliessend diskutiert werden.

Gemäss Auftrag müssen die weiteren Messungen mit PU-verleimtem Holz stattfinden. Dabei muss zunächst die Messung mit der höchsten zu erwartenden PU-Leim-Konzentration im Brennstoff erfolgen. Optional kann eine weitere Messung mit geringeren Konzentrationen durchgeführt werden. Dabei werden dieselben Messparameter überprüft wie bei der Abnahmemessung¹.

Zudem müssen in Abstimmung mit der Auftraggeberin Projektbesprechungen im Rahmen einer Begleitgruppe stattfinden, an denen Vertreter des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), der Messfirma, des AWEL und gegebenenfalls der Holz-Abbund AG teilnehmen.

¹ Die Messungen mit naturbelassenem Holz einschliesslich Brennstoffanalyse wurden im Rahmen einer von der Luftreinhaltefachstelle des Kantons Zürich (AWEL) veranlassten Abnahmemessung bereits durchgeführt. Diese Emissionsmessungen wurden ebenfalls von der Firma NoxaQuant GmbH vorgenommen. Sie umfassten die Parameter für stationäre Verbrennungsmotoren (Anhang 2 Ziffer 82 LRV) und für Abfallverbrennungsanlagen (Anhang 2 Ziffer 714 LRV) sowie weitere für die Fragestellung relevante Parameter (siehe Anhang des Berichtes).

3 Methodik

3.1 Grundlagen

Beschreibung des bei der Flück AG in Wangen installierten LiPRO-HKW50.

3.1.1 Anlagenbeschreibung

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Kennwerte des Holz-Heizkraftwerkes LiPRO-HKW50:

Tabelle 1: Kennwerte Holz-Heizkraftwerk LiPRO-HKW50

Anlage	Holz-Heizkraftwerk HKW50 bestehend aus: Holzgaswerk HGW200 und Blockheizkraftwerk HGM50
Hersteller	LiPRO Energy GmbH & Co. KG D-26203 Wardenburg
Holzgaswerk HGW200	
Baujahr	2023
Brennstoffwärmeleistung	197 kW
Holzgasleistung	174 kW
Blockheizkraftwerk HGM50	
Elektrische Leistung	50 kW (brutto 53 kW, Eigenbedarf 3 kW)
Thermische Leistung	97 kW
Brennstoff	Holzgas aus Holzschnitzel naturbelassen
Motor	AGCO Power
Typ	Gas-Ottomotor, 6 Zylinder 8.4 L Hubraum
Serien Nr.	-
Baujahr	2023
Generator	Leroy-Somer
Typ	LSA 44.3
Serien Nr.	-
Baujahr	2023
Zusatzinstallationen	Katalysator, Wärmetauscher
Messstelle	100 mm-Messstutzen
Eignung gemäss Messempfehlung	Geeignet (Platz knapp für den geforderten Messumfang)
Betriebsweise	Ganzjahresbetrieb

3.1.2 Holzschnitzel Aufbereitung

Aktuelle Nutzung von Waldholzhackschnitzeln

Es werden vorgetrocknete Waldholzhackschnitzel zugekauft. Diese enthalten Rindenbestandteile mit anhaftenden Sandteilen. Die Waldholzhackschnitzel werden aus dem Hauptsilo über eine Schrägschneckenaustragung zur Zellenradschleuse transportiert. Diese schliesst das Material staubdicht ab und führt es dosiert dem Feinanteilabscheider zu (siehe Abbildung 1). Bei Störungen an den Motoren wird die Anlage automatisch abgeschaltet, um Schäden zu vermeiden. Der Feinanteilabscheider trennt die Feinanteile, wie beispielsweise Sägemehl, mithilfe eines Siebs von den Hackschnitzeln. Eine Förderschnecke transportiert die Hackschnitzel anschliessend vom Feinanteilabscheider zur Eintragsschleuse des Vergasers.



Abbildung 1: 1. Schneckenaustragung des Hauptsilos, 2. Feinanteilabscheider, 3. Förderschnecke

Angestrebte Nutzung von PU-beschichtetem Restholz

Das PU-verleimte Restholz soll gesammelt und in einem Hacker auf die für die LiPRO-Anlage vorgegebene Stückgrösse zerkleinert werden. Danach soll es durch einen Metallabscheider von magnetischen Eisenanteilen befreit werden. Anschliessend soll das Material mittels eines Ventilators, der über einen zwischengeschalteten Zyklon als Feinstaubabscheider verfügt, dem Hauptsilo zugeführt werden. Der weitere Prozess soll wie bei Waldholzhackschnitzeln ablaufen. Die Feianteile sollen separat gesammelt und zusammen mit den im Abbundwerk anfallenden Feianteilen zu Pellets verpresst werden, die in der betriebseigenen, bewilligten Restholz-Pellettheizung thermisch genutzt werden. Die abgesiebten Feianteile sollen über einen Radialventilator in ein Zwischensilo gefördert werden (siehe Abbildung 2). Auch hier soll die Anlage bei einem Motorschaden automatisch abgeschaltet werden. Hat das Zwischensilo seinen maximalen Füllstand erreicht, sollen die Feianteile nach vorheriger Behandlung mit einer Hammermühle in ein zusätzliches Silo überführt werden. Von hier aus sollen die Feianteile einer Pelletpresse zugeführt werden.



Abbildung 2: Zwischensilo

3.1.3 Übersicht Holzheizkraftwerk

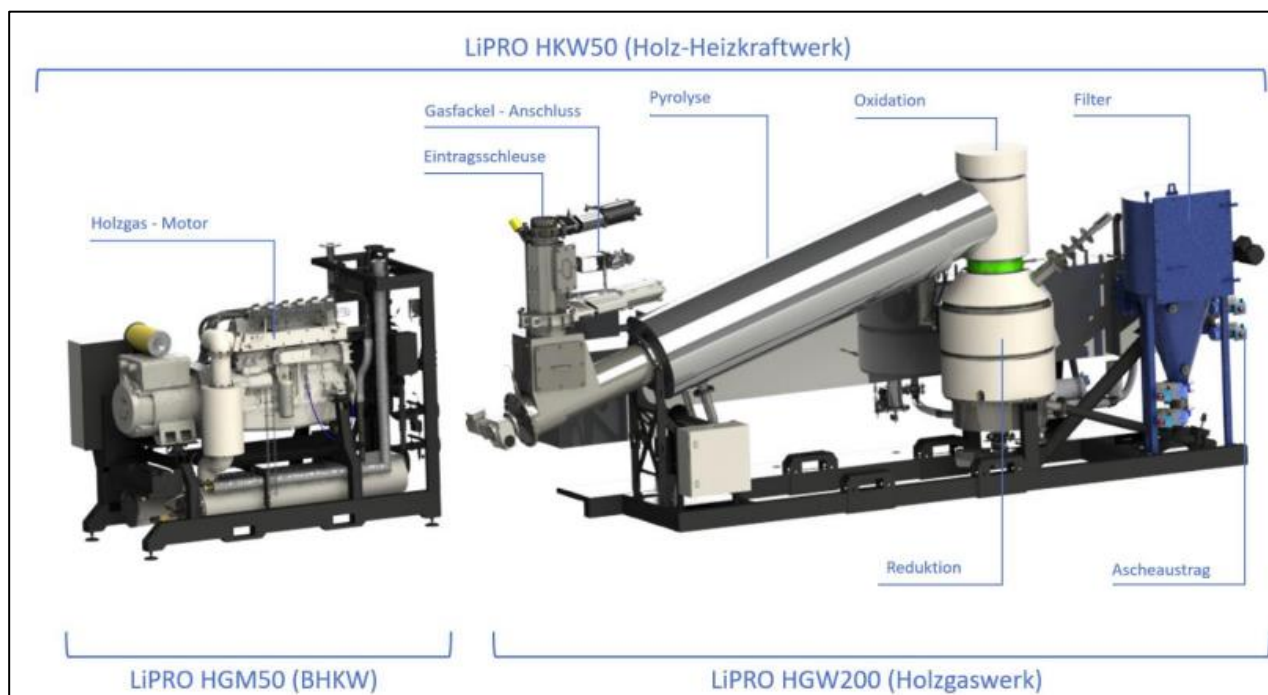


Abbildung 3: LiPRO-HKW50

Die Anlage setzt sich aus einem Holzgaswerk (HGW) und einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zusammen. Dabei kommen die Produkte LiPRO-HGW200 und LiPRO-HGM50 zum Einsatz (siehe Abbildung 3). Im LiPRO-HGW200 werden die Holzschnitzel mit geringer und genau kontrollierter Luftzufuhr pyrolysiert und mithilfe einer thermischen Nachbehandlung von unerwünschten Begleitsubstanzen wie beispielsweise Teerölen befreit. So entsteht ein „sauberes“ Holzgas, das direkt einem Verbrennungsmotor zur Strom- und Wärmeerzeugung zugeführt wird (HGM50).

Die Holzvergaseranlage LiPRO-HGW 200 zeichnet sich durch einen mehrstufigen Vergasungsprozess aus. Durch die verfahrenstechnische Trennung der einzelnen Prozessstufen ist eine stabile Prozessführung möglich. In einem ersten Prozessschritt erfolgt die Pyrolyse, auf die in einem nachgeschalteten Prozess eine Oxidation und Reduktion folgt. Bei der Pyrolyse handelt es sich um ein thermisch-chemisches Verfahren, bei dem durch eine spezielle Kombination von Druck und hoher Temperatur eine Strukturveränderung der Biomasse unter Austritt von Pyrolysegasen erfolgt. Nach der Pyrolyse werden die komplexen Kohlenwasserstoffmoleküle im Pyrolysegas durch Oxidation bei etwa 1'050 °C aufgespalten, während die Pyrolysekohle direkt in die Reduktion geleitet wird. Die separate Oxidation verhindert das Eindringen von Teerverbindungen in das Produktgas, sodass dieses ohne aufwendige Reinigung in Verbrennungsmotoren verwendet werden kann. Bei der anschliessenden Reduktion werden restliche, für das Produktgas wertvolle Stoffe aus dem festen Koks gelöst. Durch die konstant niedrige Temperaturführung während der Reduktion und eine spezielle Rostgeometrie wird die Bildung von Glasasche reduziert und eine hohe Betriebssicherheit gewährleistet. Als Neben-/Abfallprodukt entsteht Asche. Das entstehende Produktgas wird über eine Trockenfilteranlage mit pneumatischer Abreinigung dem BHKW zugeführt, welches einen Synchrongenerator zur Stromerzeugung antreibt. Der LiPRO HGM50 erreicht bei 100 % Vollast unter optimalen Bedingungen einen Gesamtwirkungsgrad von 86 % (30,5 % elektrisch und 55,5 % thermisch, Angaben LiPRO). Somit generiert der LiPRO-HGM50 eine nutzbare thermische Leistung von 97 kW und eine elektrische Brutto-Nennleistung von 53 kW bei einem elektrischen Eigenbedarf von 3 kW (Angaben von LiPRO).

Nach dem Starten des Kraftwerks muss während einiger Minuten das anfallende «minderwertige Gas» abgefackelt werden. Dieses wird gefasst und unter Zumischung von Propangas in einer Gasfackel verbrannt (s. Abbildung 4). Sobald die Pyrolyse Gas produziert, das im Motor verwertet werden kann, wird umgeschaltet und das Holzgas dem BHKW zugeführt.

Das HKW verfügt über Sicherheitseinrichtungen wie CO-Sensoren, Rauchmelder und automatische Abschaltungen bei erhöhten CO-Werten. Nebst Alarmmeldungen, welche bei Störungen infolge automatischer Abschaltung von alleine schrittweise die vorinstallierten Rufnummern anrufen, verfügt die Anlage über Fernzugriff via VPN und eine Videoüberwachung.

Die gesamten Steuer- und Regelungsfunktionen des Holzgaswerks und des BHKW lassen sich über einen Schaltschrank mit Touch-Bedienfeld und separatem Steuerungscomputer, welcher eine intelligente Steuer- und Regelungssoftware für vollautomatische An- und Abfahrvorgänge besitzt, steuern.



Abbildung 4: Gasfackel

3.1.4 Thermische Energie

Die erzeugte thermische Energie wird in drei Wasser-Speichern mit einer Gesamtspeicherkapazität von ca. 13'000 Liter gespeichert. Von den Speichern aus können die Bezüger, die zurzeit aus den Gruppen Werkhalle / Nebenräume und Büroräume bestehen, individuell versorgt werden. Bei zu viel produzierter Wärme wird die Anlage über das Heizsystem auf 60 % der Leistung heruntergeregelt. Überschüssige Wärme, wie sie gerade im Sommerbetrieb anfällt, kann zukünftig zur Trocknung von Holzhackschnitzeln externer Firmen genutzt werden. Bei einer Störung oder einer geplanten Abschaltung der Anlage z. B. bei Servicearbeiten, erfolgt die vorüber-



**Abbildung 5: Pelletheizung
(Purowin, Windhager)**

gehende Wärmeerzeugung über eine separate Pelletheizung der Firma Windhager¹ (siehe Abbildung 5) mit einer Wärmeleistung von 100 kW.

3.2 Ablauf der Holzvergasung beim LiPRO-HGW200

Bei dem Holzheizkraftwerk der Firma LiPRO werden die einzelnen Prozesse mittels bewegter Pyrolyse räumlich getrennt (siehe Abbildung 6). Dieses Verfahren bewirkt eine Trennung der thermochemisch ablaufenden Prozesse. Mittels Prozesssteuerung werden die einzelnen Prozessparameter automatisch geregelt. Dadurch wird eine durchgehend hohe Qualität des Produktgases, neben der Sicherheit der Anlage, gewährleistet.

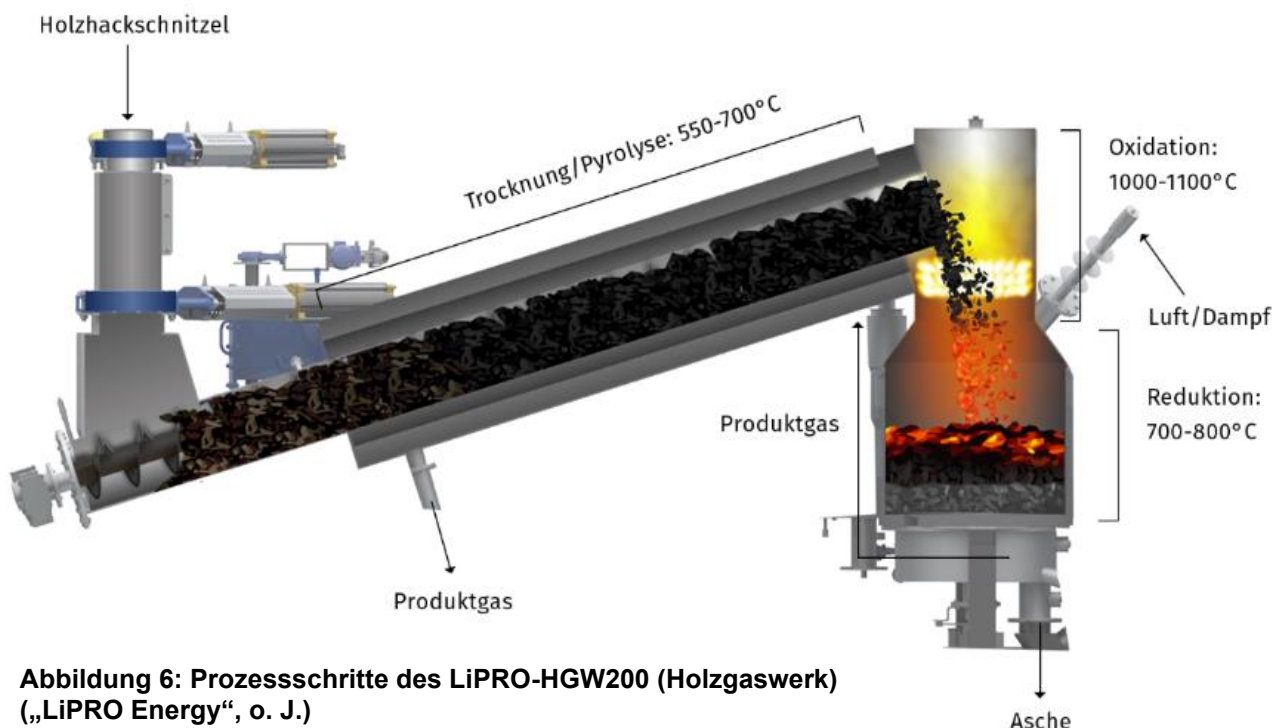


Abbildung 6: Prozessschritte des LiPRO-HGW200 (Holzgaswerk)
(„LiPRO Energy“, o. J.)

In der ersten Phase, der Aufheizphase, werden Holz-Hackschnitzel weiter getrocknet. Dabei entweicht bei ca. 100 °C bis 150 °C das gebundene Wasser, sodass der vollkommen trockene Brennstoff zurückbleibt. Danach folgt die pyrolytische Zersetzung, bei der das getrocknete Holz Temperaturen von ca. 200 °C bis 700 °C ausgesetzt ist. Hierbei werden die organischen Makromoleküle der festen Biomasse (wie Lignin, Zellulose, Hemizellulosen, etc.) durch externe Wärmezufuhr aufgebrochen, wodurch Pyrolyseöle, Koks und gasförmige, langkettige Kohlenwasserstoffverbindungen entstehen, die als flüchtige Bestandteile die Brennstoffmatrix verlassen.

Die entstandenen Komponenten kommen im Anschluss in die nächste Phase, welche sich aus Oxidation und Reduktion zusammensetzt: es erfolgt zunächst eine Teiloxidation der erzeugten Pyrolysegase; die Reduktion der teiloxidierten Pyrolysegase erfolgt dann über die Kohleschüttung. Der Kohlenstoff wird vergast und reduziert dabei H_2O und CO_2 , welche hier das Vergasungsmittel sind. Dieses Gasgemisch wird dem BHKW zur Strom- oder Wärmeerzeugung zugeführt.

Die festen Koksbestandteile werden in der nachfolgenden Vergasungszone durch Reaktionen mit H_2O und CO_2 teilweise vergast. Die entstandenen Gase werden anhand eines Katalysators, der Luft im unterstöchiometrischen Verhältnis zuführt, aufoxidiert. Es handelt sich um eine unvollständige Oxidation, bei der vor allem Kohlenstoffmonoxid (CO) und andere nicht- oder teiloxidierte höhere Kohlenstoffverbindungen entstehen. Gleichzeitig werden die zyklischen Moleküle der Harze aufgebrochen («geknackt»). Dadurch wird ein Filter für Harzrückstände vor dem Blockheizkraftwerk überflüssig. Im Gegensatz zu den vorgängigen endothermen Prozessschritten ist die Stufe der Oxidation stark exotherm. Dabei entstehen Temperaturen von ca. 700 °C bis 1050 °C und die freigesetzte Wärme dient als Quelle für die benötigte thermische Energie der vorherigen endothermen Prozesse. Nach der Oxidation gelangen die Gase zu dem festen Koks in die «kalte» Zone, in der die Temperatur «nur»

¹ <https://www.windhager.com/de-ch/produkte/hackschnitzelheizung/purowin/>

noch etwa 700 °C bis 800 °C beträgt. Bei diesen Temperaturen wird mit geringer Beifügung von Luft und Wasserdampf beim festen Koks eine Vergasungsreaktion ausgelöst. Es finden «Teiloxidationsreaktionen» statt, bei welchen brennbare Gase wie Kohlenstoffmonoxid aus dem festen Koks entweichen und sich mit den bereits vorhandenen Gasen zu einem Produktgas mischen. Als Nebenprodukt aus der Reduktion entsteht eine Asche, welche zu einer Austragsschleuse weiter transportiert wird. Die Flugasche wird durch einen sich automatisch reinigenden Feinstofffilter abgeschieden und der Asche zugeführt. Die Asche wird nach der Filteranlage ausgetragen und in einem Behälter aufgefangen.

3.3 Stoff- und Energieflüsse

Die gesamten Prozesse mit Stoff- und Energieflüssen können der studentischen Arbeit der FHNW vom Juni 2024 mit dem Titel „Oester, M., Batu, S., Baumann, M., Kamber, S. & Wacker, G. (2024). Holzvergasung von PU-verleimtem Restholz [Hochschule für Technik FHNW] (Projektnummer P-EUT-P2-24FS)“ entnommen werden.

3.3.1 Stofffluss Restholz

Die Holzelemente, welche im Betrieb der Flück AG von diversen Firmen zur mechanischen Bearbeitung angeliefert werden (siehe Abbildung 7: Angeliefertes Holz in der Flück AG), stammen mehrheitlich aus Deutschland, Österreich und der Schweiz. Die bei der Bearbeitung anfallenden Reststücke (siehe Abbildung), müssen aktuell mit Lastwagen zu einer Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) transportiert und dort entsorgt werden.

Derzeit müssen daher die bei der Flück AG anfallenden, potentiellen Brennstoffe, also PU verleimte Resthölzer und zum Teil auch unverleimte Resthölzer (siehe Abbildung 8), in einer KVA entsorgt wer-



Abbildung 7: Angeliefertes Holz in der Flück AG



Abbildung 8: Restholz in der Mulde

den, während frische Waldholzhackschnitzel der Anlage als Brennstoff zugeführt werden müssen. Zukünftig möchte die Flück AG aufgrund ökologischer und ökonomischer Überlegenheiten das vor Ort anfallende Restholz als Brennstoff in ihrer Holzvergasungsanlage nutzen (siehe Abbildung 9). Damit entfallen Transportwege, Energie zum Trocken von Waldholz, Entsorgungskosten und Kosten für den Einkauf trockener Waldholzhackschnitzel.

Zudem wird Waldholz durch anfallendes Restholz substituiert. Das Unternehmen besitzt bereits eine Anlage zur Aufarbeitung des Restholzes als Brennstoff. Diese zerkleinert die Resthölzer zu Hackschnitzeln und befördert sie über das Hauptsilo zur Holzvergasungsanlage. Vor der Holzvergasungsanlage befinden sich Anlagenteile, die mittels FE-Abscheider magnetische Metallteile und mittels Filter Feinteile herausfiltern (siehe Abbildung 10). Die Feianteile werden in einem Zwischensilo gespeichert und anschliessend zu Pellets verpresst. Diese könnten dann zusammen mit dem gehackten Restholz in der Pyrolyseanlage verwertet werden.

3.3.2 Betrieb des Holzheizkraftwerks

Zurzeit wird das Holzgaswerk der Flück AG mit zugekauften Waldholzhackschnitzeln gespeist. Das im Jahr 2023 gebaute Holzgaswerk LiPRO-HGW200 verarbeitet bei maximaler Leistung 37.5 Kilogramm Holzhackschnitzel pro Stunde (Angabe bezogen auf Holzhackschnitzel der Normgrösse P45 mit einem Feinanteil von unter 5 % und einem Wassergehalt von unter 10 %, bezogen auf die Masse). Bei einer jährlichen Laufzeit der Anlage von 8'000 Stunden ergibt sich ein Bedarf von 300 Tonnen Holzhackschnitzeln.



Abbildung 10: FE-Abscheider

Die bei der Holzgasanlage entstehende Schlacke/Asche wird in einem Behälter mit einem Volumen von einem Kubikmeter aufgefangen. Die Menge der anfallenden Schlacke/Asche beträgt ca. 0.5 Kilogramm bzw. 0.0016 Kubikmeter pro Stunde. Bei einer jährlichen Laufzeit der Anlage von 8'000 Stunden ergibt



Abbildung 9: Bearbeiteter Balken, die anfallenden Reststücke davon enthalten in diesem Beispiel keinen Leim

sich eine jährliche Menge von 4 Tonnen Schlacke/Asche. Durch die Rindenanteile bei den Waldholzhackschnitzeln gelangt auch Sand in die Anlage, was zu einer Gewichtserhöhung beiträgt.

Für den Betrieb des BHKW wird eine elektrische Leistung von 3 kW benötigt. Für die Belüftung beziehungsweise Kühlung des BHKW werden bei einer Umgebungstemperatur von 0 bis 40 °C ca. 7'000 Kubikmeter Luft pro Stunde benötigt, die dabei um 10 °C erwärmt werden. Bei der Verbrennung des Gases im BHKW entstehen 280 bis 350 Kilogramm Abgas pro Stunde. Die elektrische Nettoleistung beläuft sich auf 50 kW, die nutzbare thermische Leistung auf 97 kW.

Je nach anfallender Holzmenge kann der Verbrauch und somit auch die elektrische Nettoleistung auf bis zu 30 kW reduziert werden. Bei naturbelassenen Holzhackschnitzeln kann mit einem Brennstoffheizwert von 18.8 Megajoule pro Kilogramm gerechnet werden, wodurch ein Gesamtwirkungsgrad von 86 % erreicht wird (Quelle: persönliche Kommunikation mit der LiPRO Energy GmbH & Co. KG, November 2024).

Die anfallende thermische Energie reicht aus, um den gesamten Heizbedarf des Gebäudes der Flück AG in Wangen zu decken. Im Sommer wird die überschüssige Wärme genutzt, um Waldholz-Hackschnitzel für Dritte zu trocknen. Durch die lokale Nutzung der Energie wird das Stromnetz entlastet und ein Beitrag zur Versorgungssicherheit geleistet. Bei der Flück AG werden Pläne zur Speicherung oder Nutzung der elektrischen Energie für eigene batteriebetriebene Lastwagen und Kräne geprüft.

3.4 Emissionen aus naturbelassenem Holz

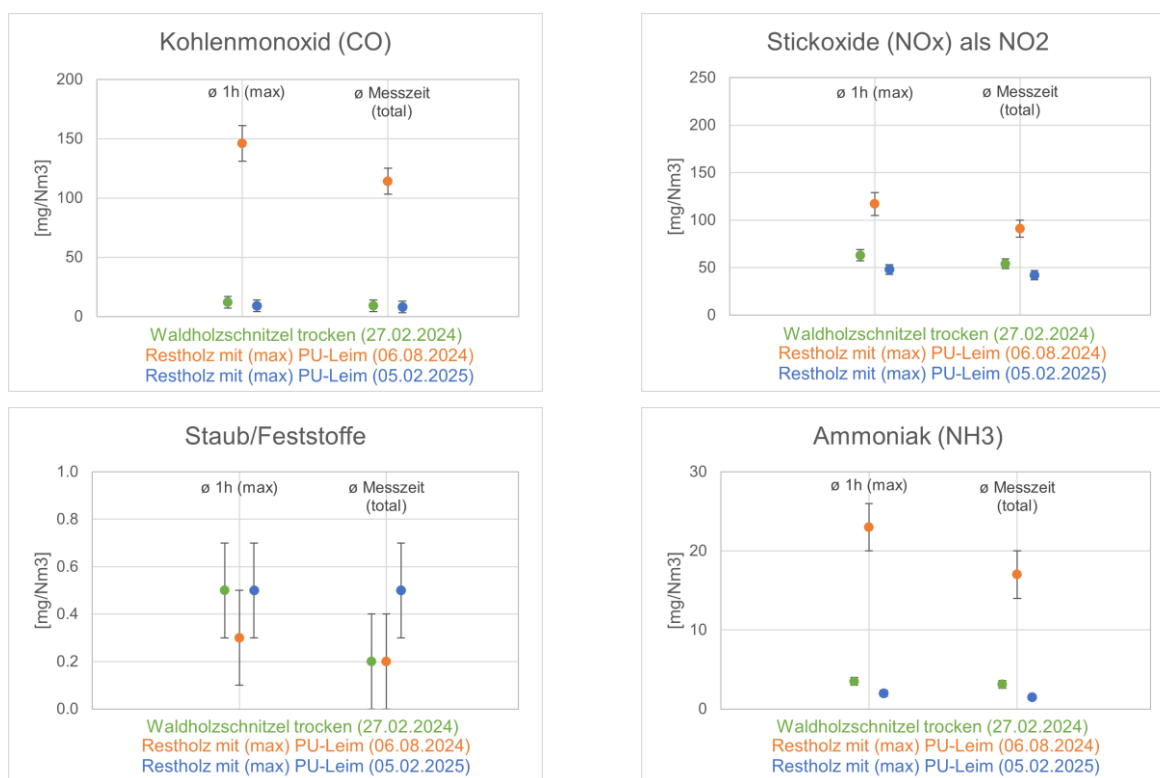
Die Messung der Emissionen von naturbelassenen Waldholzhackschnitzeln und PU-verleimten Resthölzern wurden vorgängig mit dem AWEL besprochen. Die von der LRV bei der Verwendung von Gasbrennstoffen aus naturbelassenem Holz (Waldholzhackschnitzel) in stationären Verbrennungsmotoren verlangten Parameter wurden in Absprache mit dem AWEL erweitert, um allfällige Auffälligkeiten bei der Nutzung vom PU-verleimten Restholz im Vergleich zu Waldholzhackschnitzeln dokumentieren zu können. Für die Emissionsmessungen wurde die Firma NoxaQuant GmbH beauftragt (durch QSEM zugelassen für die Messkategorien 1 – 8). Die Berichte der Emissionsmessungen am 27. Februar 2024 mit naturbelassenem Waldholz und am 6. August 2024 mit aus PU-verleimten Resthölzern, sind im Anhang des Berichtes aufgeführt. Die Messungen am 27. Februar 2024 wurden im Routinebetrieb durchgeführt. Für die Messungen mit PU-verleimtem Restholz wurde die Anlage im Sommer 2024 mit einer provisorischen, separaten Brennstoffzufuhr eingerichtet.

4 Ergebnisse

4.1 Übersicht

Die folgende Tabelle 2 basiert auf einer Referenzmessung mit naturbelassenem Waldholz sowie auf Probemessungen mit PU-verleimten Resthölzern der Gruppe I (unter anderem Konstruktionsvollholz, Brettschichtholz, 3- und 5-lagiges Kreuzlagenholz, Dreischicht- und Massivholzplatten) und den Messberichten der NoxaQuant GmbH. Die Prüfreste wurden so zusammengestellt, dass eine möglichst hohe, aber praxisübliche PU-Belastung abgedeckt ist (kein unrealistisches Worst-Case-Szenario). Die angesetzten Klebstoffmengen (l/m^3) je Holzart sind der oben auf Seite 11 referenzierten studentischen Projektarbeit zu entnehmen.

Alle Grenzwerte für stationäre Motoren werden gut eingehalten. Bei der Messung vom 6. August 2024 waren die Werte für Kohlenmonoxid (CO) und Ammoniak gegenüber naturbelassenem Holz bzw. gegenüber den Grenzwerten der LRV für die Abfallverbrennung deutlich erhöht. Dies war jedoch nicht auf den Brennstoff zurückzuführen, sondern auf einen undichten Schieber während des Sonderbetriebs, wodurch es zu Druckschwankungen im System kam. Diese führten zu einer zu fetten Verbrennung im Motor. Dadurch konnte im 3-Wege-Katalysator aufgrund von Sauerstoffmangel weniger CO oxidiert werden und es entstand durch Wasserstoffüberschuss NH_3 (siehe dazu Kap. 4.2). LIPRO hat dies erkannt und die Anlage für den Dauerbetrieb entsprechend angepasst. Dies ist bei der Messung vom 5. Februar 2025 erkennbar: Die Emissionskonzentrationen von CO und NO_x waren gegenüber naturbelassenem Holz nicht mehr erhöht und die Grenzwerte wurden deutlich eingehalten. Alle anderen Messwerte sind erwartungsgemäss niedrig und liegen deutlich unter den Grenzwerten der LRV. Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse der Messungen grafisch. Tabelle 2 enthält die Ergebnisse der Messungen.



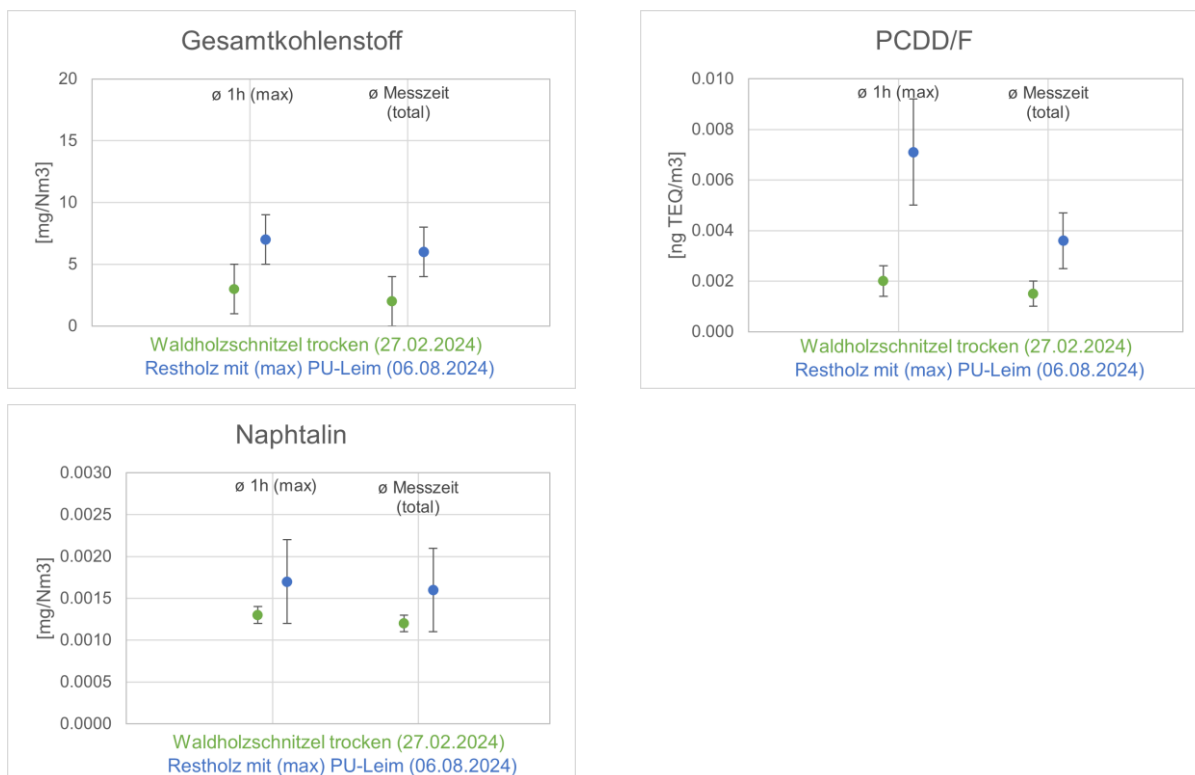


Abbildung 51: Graphische Darstellung der Ergebnisse aus den Messungen der Firma NoxaQuant GmbH

Tabelle 2 Ergebnisse der Messungen von NoxaQuant GmbH

Schadstoffe	Einheit	naturbelasse- nes Waldholz		PU-verleimtes Restholz				LRV-Grenzwerte	
		27.02.2024		06.08.2024		05.02.2025		Stat. Motoren* Anh. 2 Ziff. 82	KVA*** Anh. 2 Ziff. 71
Kohlenmonoxid CO	[mg/m³]	9	± 5	114	± 11	8	± 5	650	44
	[g/h]	2.2		27		2.1			
Stickoxide / NOx als NO2	[mg/m³]	54	± 5	91	± 9	42	± 5	250	71
	[g/h]	13		22		11			
Gesamtkohlenstoff (gas- / dampfförmig)	[mg/m³]	2	± 2	6	± 2	-		-	18
	[g/h]	0.55		1.6					
Staub/Feststoffe	[mg/m³]	0.2	± 0.2	0.2	± 0.2	0.5	± 0.2	10	8.9
	[g/h]	0.055		0.04		0.1			
Ammoniak + Ammonium- verb.	[mg/m³]	3.1	± 0.5	17	± 3	1.5	± 0.3	30**	4.4
	[g/h]	0.73		4.2		0.4			
Chlorverbindungen als HCl	[mg/m³]	< 0.1	-	< 0.1	-	-		-	18
	[mg/h]	< 1.8		< 1.8					
Fluorverbindungen als HF	[mg/m³]	< 0.1	-	< 0.1	-	-		-	1.8
	[mg/h]	< 1.8		< 1.8					
Bromverbindungen als HBr	[mg/m³]	< 0.1	-	< 0.1	-	-		-	5 ab 50 g/h
	[mg/h]	< 1.8		< 1.8					Anh. 1 Ziff 62
	[mg/m³]	< 0.1	-	< 0.1	-	-		-	4.4

Schadstoffe	Einheit	naturbelasse- nes Waldholz		PU-verleimtes Restholz				LRV-Grenzwerte	
Gasförmige Cyanide als HCN	[mg/h]	< 1.8		< 1.8					
Schwefeloxide als SO2	[mg/m3]	170	± 26	11	± 2	-		-	44
	[g/h]	41		2.5					
Blei und Zink als Summe Pb/Zn	[mg/m3]	< 0.058	-	< 0.077	-	-		-	0.9
	[mg/h]	14		18					
PCDD /PCDF***	[pg /m3]	1.5	± 0.5	3.6	± 0.5	-		-	89
	[ng/h]	0.37		0.85					
PAK:									
Naphthalin	[ng/m3]	1.2	± 0.1	1.6	± 0.1	-		-	20'000 ab 100 g/h
	[mg/h]	0.3		0.3					Anh.1 Ziff. 71
Benzo(a)pyren	[ng/m3]	< 0.1	-	< 0.1	-	-		-	100 ab 0.5 g/h
	[mg/h]	< 0.02		< 0.02					Anh.1 Ziff. 81
Dibenz(a,h/a,c)anthracen	[ng/m3]	< 0.1	-	< 0.1	-	-		-	100 ab 0.5 g/h
	[mg/h]	< 0.02		< 0.02					Anh.1 Ziff. 81
Sämtliche Konzentrationen sind normiert auf 0 °C/ 1'013 mbar und bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 5 % V/V angegeben									
* LRV-Grenzwerte für stationäre Motoren (Anh. 2 Ziff. 82) mit Gasbrennstoffen (Anh. 5 Ziffer 41) aus Vergasung aus Holzbrennstoffen (Anh.5 Ziffer 31)									
** Gilt nur wenn eine SCR-Entstickungs-Anlage verbaut ist, was hier nicht der Fall ist.									
*** Wenn nicht anders angegeben: LRV-Grenzwerte für die Verbrennung von Abfällen gemäss Anh. 2 Ziff. 71 (mit Bezugs-O2-Gehalt von 3 %: Anh. 2 Ziff. 713 Abs. 1 Bst. a) umgerechnet auf ein Bezugs-O2-Gehalt von 5 %. Zu beachten ist zudem, dass gemäss Anh. 2 Ziffer 718 LRV eine thermische Verwertung von Abfällen in Kleinanlagen mit FWL unter 350 kW verboten ist: dieses BHKW hat eine FWL von 197 kW.									

4.2 Auswirkungen von Druckschwankungen auf Lambdasonde und Ammoniakbildung und CO-Reduktion im Katalysator

Bei der LIPRO-HKW50-Anlage im Abbundwerk der Flück AG in Wangen handelt es sich um eine Holzvergasungsanlage, bei der keine ammoniakhaltigen Substanzen zugegeben werden. Die Holzgase werden zur energetischen Nutzung einem BHKW zugeführt. Bei den hohen Temperaturen im Motor entstehen zusätzlich zu den durch den Brennstoff-Stickstoff gebildeten Stickoxiden sogenannte thermische Stickoxide aus dem Luft-Stickstoff und -Sauerstoff. Daher ist das BHKW mit einem 3-Wege-Katalysator mit Lambda-Regelung ausgestattet, um die NO_x-Konzentration im Abgasstrom zu reduzieren.

Der Drei-Wege-Katalysator reagiert sehr sensibel auf Änderungen des Lambda-Wertes. Wenn das Gas-Luft-Gemisch im Motor zu «mager» ist, steigt die thermische NO_x-Konzentration an, da im Motor überschüssiger Sauerstoff vorhanden ist (Sauerstoffüberschuss = $\lambda > 1$). Ist das Gemisch zu «fett», «fehlt» im Katalysator Sauerstoff, um CO zu CO₂ und H₂ zu H₂O zu oxidieren. Unter Sauerstoffmangel werden gleichzeitig NO_x-Verbindungen durch H₂ und CO reduziert, wobei Ammoniak (NH₃) entsteht.

Deshalb ist das optimale Lambda-Fenster in der Regel sehr eng (z. B. λ 0.99–1.01). Druckschwankungen im System können dazu führen, dass diese engen Grenzen überschritten werden. Um diesen Effekt möglichst klein zu halten, sollte die Anlage in einem kontinuierlichen Betrieb gefahren werden, um Druckschwankungen an der Lambda-Sonde zu vermeiden. Die Anlage im Abbundwerk der Flück AG ist für den Dauerbetrieb ausgelegt und nicht für Versuchsreihen. Die Anlage wurde daher unter Praxisbedingungen gefahren.

Bei Umbauten und Anpassungen kommt es zu Betriebsunterbrechungen, die in der Anlage zu Kondensatbildung und entsprechenden Ablagerungen führen können. Dies war auch bei der Anlage der Flück AG bei der Messung am 6. August 2024 der Fall. Der Schieber der Brennstoffzufuhr wies während der Messphase Undichtigkeiten auf, die zu leichten Druckschwankungen im gesamten System führten (siehe Abbildungen 12 und 13). Eine Reinigung und Justierung des Schiebers hätte einen Betriebsunterbruch zur Folge gehabt, wodurch die Messungen in diesem Zeitfenster nicht mehr möglich gewesen wären. Dies erklärt die bei der Messung mit Restholz aufgetretenen Schwankungen und die damit einhergehenden erhöhten NH₃- und CO-Konzentrationen im Abgas des BHKW. Die Aufzeichnungen der Lambda-Werte für die beiden Versuche zeigen deutlich grössere Schwankungen beim Versuch mit Restholz als im regulären Betrieb mit naturbelassenem Holz.

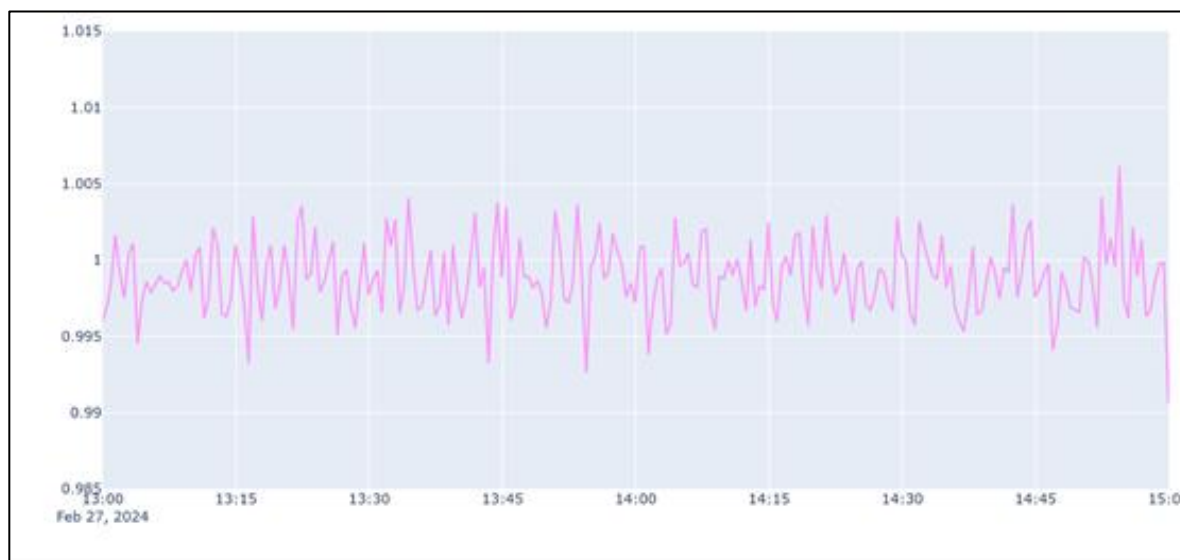


Abbildung 12: Lambda-Wert über repräsentatives Intervall beim Versuch mit naturbelassenem Holz

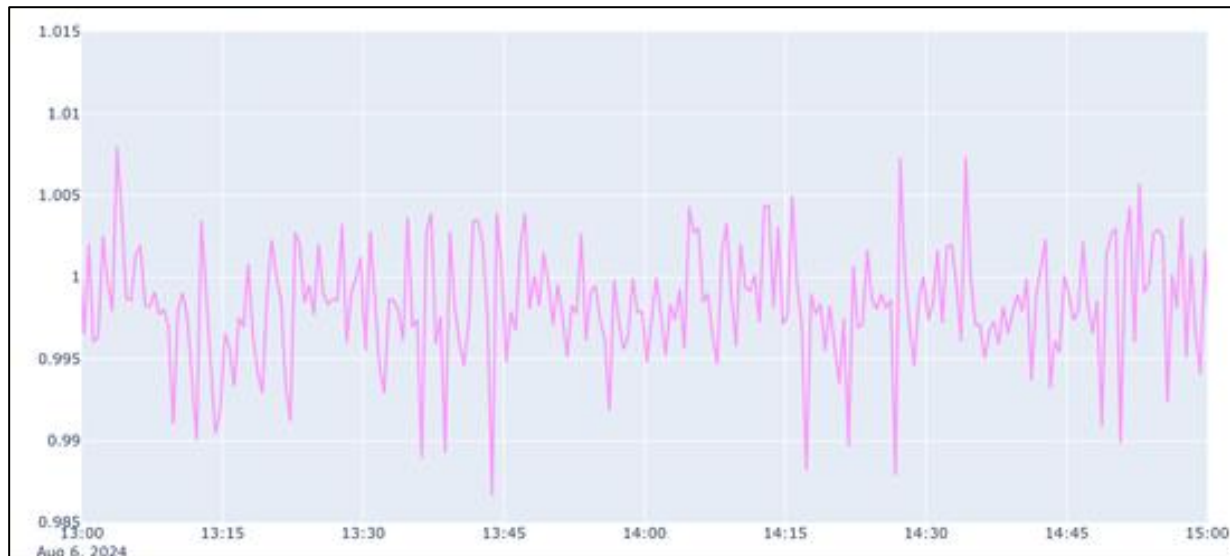


Abbildung 13: Lambda-Wert über repräsentatives Intervall beim Versuch mit Restholz

Parameter	Mean	Max	Min	StdDeviation
Lambda Messung 1	0.9989	1.0061	0.9906	0.0023
Lambda Messung 2	0.9983	1.0080	0.9866	0.0036

Gemäss Informationen von LiPRO:

Bezüglich der NH_3 Emissionen gehen wir aktuell davon aus, dass hier durch den undichten Schieber der Synthesegaskvordruck am BHKW nicht konstant gehalten werden konnten und der Lambdaeregler somit deutlich stärker geschwankt hat als üblich. Hierzu haben wir im Rahmen des Forschungsvorhabens GasAsh (FKZ: 03KB139A) bereits Messungen gemacht, welche die Bildung von NH_3 über einen Drei-Wege-Katalysator zeigen. Der nachfolgende Abbildung 14 zeigt die gemessenen NH_3 Emissionen nach einem 3-Wege-Katalysator bei einem Lambda von 0.9900 bis 0.9975 auf einem HKW 50 mit naturbelassenen Holzhackschnitzeln. Dieser Effekt ist hinreichend bekannt und wird auch in der Literatur detailliert beschrieben¹.

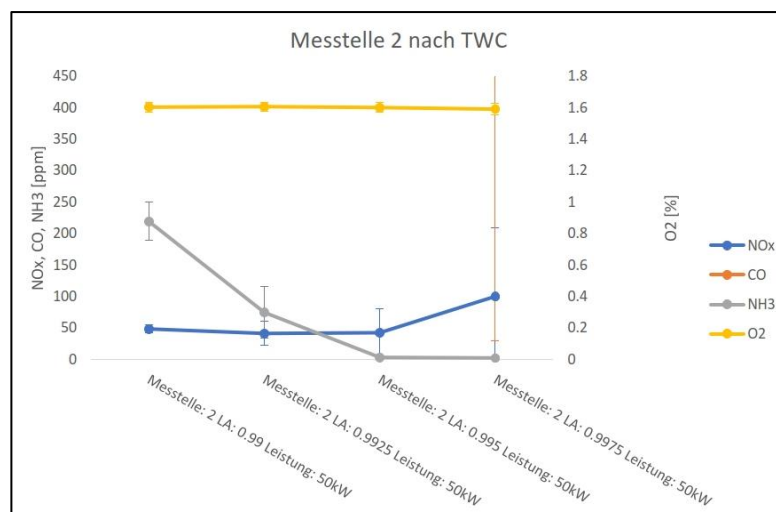


Abbildung 14: Emissionen nach TWC und Luft-Eindüsung bei LA 0,9975 mit Fokus auf NH_3 (Quelle: LiPRO Energy GmbH, persönliche Kommunikation).

¹ Nevalainen, P.; Kinnunen, N.; Kirveslahti, A.; Kallinen, K.; Maunula, T.; Keenan, M.; Suvanto, M. Formation of NH_3 and N_2O in a modern natural gas three-way catalyst designed for heavy-duty vehicles: the effects of simulated exhaust gas composition and ageing, Applied Catalysis A: General, Volume 552, 2018, 30-37.

4.3 Analyse des Brennstoffs und der Asche

4.3.1 Brennstoffanalyse

Tabelle 3 Ergebnisse der Brennstoffanalyse

Parameter	Einheit	PU-verleimt	Naturbelassen	Grenzwerte/Spezifikation*	Prüfmethode
Wassergehalt (eingesandt)	% (m/m)	9.5	–	≤ 15	ISO 18134-2 ¹
Wassergehalt (analysenfeucht)	% (m/m)	9.0	6.2	–	ISO 18134-2
Aschegehalt bei 550 °C (wasserfrei)	% (m/m)	0.30	0.44	≤ 3.0	ISO 18122
Brennwert (eingesandt)	MJ/kg	18.543	–	–	ISO 18125
Brennwert (analysenfeucht)	MJ/kg	18.640	–	–	ISO 18125
Brennwert (wasserfrei)	MJ/kg	20.490	–	–	ISO 18125
Heizwert (eingesandt)	MJ/kg	17.135	–	–	ISO 18125
Heizwert (analysenfeucht)	MJ/kg	17.250	–	–	ISO 18125
Heizwert (wasserfrei)	MJ/kg	19.190	–	–	ISO 18125
Schwefel (TS)	% (m/m)	< 0.005	< 0.005	≤ 0.04	EN ISO 16994
Chlor (TS)	% (m/m)	< 0.005	< 0.005	≤ 0.03	EN ISO 16994
Stickstoff (TS)	% (m/m)	0.20	0.10	≤ 0.7	EN ISO 16948
Arsen (TS)	mg/kg	< 0.8	< 0.8	≤ 1	EN ISO 16968
Blei (TS)	mg/kg	< 2	< 2	≤ 10	EN ISO 16968
Cadmium (TS)	mg/kg	< 0.2	< 0.2	≤ 0.5	EN ISO 16968
Chrom (TS)	mg/kg	1	6	≤ 10	EN ISO 16968
Kupfer (TS)	mg/kg	2	1	≤ 10	EN ISO 16968
Nickel (TS)	mg/kg	< 1	3	≤ 10	EN ISO 16968
Zink (TS)	mg/kg	9	9	≤ 100	EN ISO 16968
Quecksilber (TS)	mg/kg	< 0.05	< 0.05	≤ 0.1	EN ISO 16968

* SN EN ISO 17225-3:2021, Holzbriketts, Eigenschaftsklasse A2

Die naturbelassenen Holzreste waren trockener als die PU-verleimten und der Wassergehalt lag analysenfeucht bei 6.2 % gegenüber 9.0 %. Beim Aschegehalt zeigten beide Proben sehr niedrige Werte: die PU-verleimten Holzreste liegen mit 0.30 % wasserfrei unter den naturbelassenen Holzresten mit 0.44 %. Schwefel und Chlor waren in beiden Fällen jeweils unter 0.005 % enthalten. Kalorimetrische Daten wurden nur für die PU-verleimten Holzreste bestimmt. Der Heizwert betrug analysenfeucht 17'250 MJ/kg.

Der markanteste chemische Unterschied betraf den Stickstoffgehalt. Die naturbelassenen Holzreste weisen 0.10 %, die PU-verleimten Holzreste 0.20 % Stickstoff auf. Diese Differenz von 0.10 %-punkten ist konsistent mit einem geringen Anteil stickstoffhaltigen PU-Leims in der trockenen Probe. Unter der Annahme eines typischen Stickstoffgehalts von mehreren % im PU-Leim erklärt ein Leimanteil von etwa ein bis drei % der Trockenmasse bereits den beobachteten Wert. Dabei hängt die genaue Einordnung vom tatsächlichen Stickstoffgehalt des eingesetzten Leims und der Messunsicherheit ab.

Die Spurenelementprofile waren in beiden Proben niedrig und ähnelten sich stark. Zink betrug in beiden Fällen 9 mg/kg, Quecksilber lag jeweils unter 0,05 mg/kg. Unterschiede zeigten sich punktuell, etwa bei Chrom und Nickel, die in den naturbelassenen Holzresten höher waren als in den PU-verleimten Holzresten.

Im Bericht von Intertek (Schweiz) AG zu den naturbelassenen Holzresten wurden die Ergebnisse zusätzlich einer A2-Spezifikation nach SN EN ISO 17225-3 gegenübergestellt, für die PU-verleimten Holzreste war hingegen keine Klassenzuordnung aufgeführt, die Grenzwerte können allerdings übernommen werden.

4.3.2 Ascheanalyse

Es wurden die Aschen einer Probe naturbelassener und einer Probe PU-verleimter Holzreste bei der Firma Bachema (naturbelassene Holzreste) und der Intertek (Schweiz) AG (PU-verleimte Holzreste) analysiert. Die Ergebnisse der Brennstoffanalyse sind zusammen mit den WBC-Guidelines² für die drei

¹ Wassergehalt (M), % (m/m), ISO 18134-2

² WBC (2023): *World Biochar Certificate – Guidelines for a Sustainable Production of Biochar and its Certification*. Carbon Standards International, Frick, Switzerland, Version 1.0 vom 15. September 2023.

WBC-Zertifizierungsklassen für Pflanzenkohle (Premium, Agro und Material) in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 4 Ergebnisse der Ascheanalyse¹

Parameter	Einheit	Asche aus naturbelassenem Holz	Asche aus PU-verleimte Holzreste	WBC-Guidelines (Premium / Agro / Material; Intertek AG)	Basis/Hinweis
Feuchte	% (m/m)	—	7.2	Deklaration*	Intertek: Probenzustand; Bachema: nicht ausgewiesen
pH (CaCl ₂)	—	—	3.0	Deklaration	stark alkalisch
Elektrische Leitfähigkeit	mS/cm	—	410–730	Deklaration	Messung bei unterschiedlichen Pressdrücken
Asche bei 550 °C	% (m/m)	—	61.4	—	sehr hoher Mineralanteil
Kohlenstoff (C)	% (m/m)	17	38.7	Corg deklarieren; H/Corg < 0.7 (Premium < 0.4)	Bezugsbasis unterschiedlich
Wasserstoff (H)	% (m/m)	—	0.6	—	
Sauerstoff (O, berechnet)	% (m/m)	—	15.5	—	
Stickstoff (N)	% (m/m)	—	0.09	Deklaration	
Schwefel (S)	% (m/m)	—	0.28	—	
Carbonat-CO ₂ (TIC)	% (m/m)	—	19.2	—	DIN 51726
PAK – Σ 16 EPA	mg/kg	390	592	6 / Deklaration / Deklaration	*Bachema-Summe methodisch nicht spezifiziert
PAK – Σ 8 EFSA	mg/kg	—	23.5	1 / 1 / 4	massgeblich für WBC
Benzo(a)pyren	mg/kg	1.2	3.2	—	Leitparameter, kein WBC-Grenzwert
PCB – Summe	mg/kg	< 0.10	—	≤ 0.20 (DM) (Erstprüfung)	Bachema
PCDD/F – TEQ	ng/kg	5.67 (WHO-TEQ)	—	≤ 20 (I-TEQ OMS, DM) (Erstprüfung)	Bachema extern
Cadmium (Cd)	mg/kg	7.3	17.5	≤ 1.5 / ≤ 5 / —	
Chrom (Cr)	mg/kg	2'300	2'980	≤ 100 / ≤ 200 / —	
Nickel (Ni)	mg/kg	1'600	3'920	≤ 50 / ≤ 100 / —	
Kupfer (Cu)	mg/kg	180	209	≤ 140 / ≤ 200 / —	
Blei (Pb)	mg/kg	20	50	≤ 120 / ≤ 300 / —	
Zink (Zn)	mg/kg	570	2'270	≤ 420 / ≤ 1'000 / —	
Quecksilber (Hg)	mg/kg	< 0.02	< 0.07	≤ 1 / ≤ 2 / —	
Arsen (As)	mg/kg	—	1.3	≤ 13 / ≤ 20 / —	
Mangan (Mn)	mg/kg	—	14'900	Deklaration	als Nährstoff zu deklarieren

*Deklarationspflicht: Für diesen Parameter gibt es nach den WBC-Guidelines keinen Grenzwert, er muss aber transparent angegeben werden. Es ist also eine Auskunftspflicht, keine Limit-Prüfung.

In der Asche aus naturbelassenem Holz beträgt die Summe der PAK 390 Milligramm pro Kilogramm TS, der Wert für Benzo(a)pyren liegt bei 1.2 Milligramm pro Kilogramm TS. Die PCB-Einzelkongenere liegen unter der Bestimmungsgrenze. Die PCB-Summe liegt unter 0.10 Milligramm pro Kilogramm TS. Dioxine und Furane liegen bei 5.67 Nanogramm pro Kilogramm TS, wobei die Bestimmungsgrenzen nicht berücksichtigt wurden. Die Metalle liegen im Bereich von etwa 2'300 Milligramm pro Kilogramm TS für Chrom. Nickel liegt bei etwa 1'600 Milligramm pro Kilogramm TS. Zink liegt bei etwa 570 Milligramm pro Kilogramm TS. Cadmium liegt bei 7.3 Milligramm pro Kilogramm TS. Quecksilber liegt unter 0.02 Milligramm pro Kilogramm TS.

Die Asche aus PU-verleimten Holzresten zeigt ein stark mineralisches Profil. Der Aschegehalt beträgt 61.4 % (wasserfrei). Der pH-Wert liegt bei 3.0 und die elektrische Leitfähigkeit reicht je nach Druck von 410 bis 730 mS/cm. Der Wassergehalt beträgt 7.2 %. Elementar liegen 38.7 % Kohlenstoff, 0.6 % Wasserstoff, 15.5 % Sauerstoff und 0.09 % Stickstoff vor. Das berechnete H/C-Verhältnis von 0.2 weist auf eine stark verkohlte Matrix hin.

Die PAK-Werte der Asche aus PU-verleimten Holzresten liegen deutlich über den WBC-Grenzwerten. Die EFSA-Summe von 23.5 Milligramm pro Kilogramm überschreitet die 1-Milligramm-Grenze der Klassen Premium und Agro sowie die 4-Milligramm-Grenze der Materialklasse. Die EPA-Summe von 592 Milligramm pro Kilogramm überschreitet die 6-Milligramm-Grenze von Premium ebenfalls deutlich.

¹ Gehalte sind direkt vergleichbar, weil beide Labore (Bachema AG und Intertek AG) die Werte auf Trockensubstanzbasis angeben.

Doch auch das naturbelassene Holz weist bei einigen Parametern viel zu hohe Werte auf. Eine Bodenausbringung dieser Materialien wäre daher nicht zu empfehlen.

4.4 Ergebnisse der Ökobilanz: Restholzvergasung in LiPRO vs. Verbrennung in KVA

Im Rahmen einer externen Untersuchung der Carbotech AG wurde die ökologische Wirkung unterschiedlicher Verwertungswege für Restholz aus der Holzverarbeitung analysiert. Im Zentrum stand der Vergleich zwischen der thermischen Nutzung in einer klassischen Kehrriechtverwertungsanlage (KVA) und der Vergasung in der LiPRO-Anlage. Ziel war es, die Klimabilanz der beiden Technologien unter realitätsnahen Betriebsbedingungen zu bewerten.

Die Grundlage der Analyse bildete die Methodik der Ökobilanzierung mit dem Fokus auf den Treibhausgasausstoss in CO₂-Äquivalenten (CO₂e), berechnet nach dem IPCC-Standard GWP100 (2021). Für die Modellierung wurde die Software openLCA verwendet. Die verwendeten Daten stammten sowohl aus dem Betrieb der Flück AG als auch aus Berechnungen und Erhebungen der FHNW.

Untersucht wurden drei Varianten:

- **Variante 0:** In der ersten, als Referenz betrachteten Variante 0, wird das gesamte anfallende Restholz in der KVA verbrannt. Die dabei entstehende Energie wird sowohl zur Stromproduktion als auch zur Fernwärmeversorgung genutzt. Die LiPRO-Anlage müsste in diesem Fall mit naturbelassenem Holz betrieben werden.
- **Variante 1:** In Variante 1 wird das Restholz ganzjährig in der LiPRO-Anlage genutzt. Der dabei entstehende Strom wird ins Netz eingespeist, während die Wärme im Winterhalbjahr zur Gebäudeheizung der Flück AG genutzt wird. Im Sommerhalbjahr wird sie zur Holz Trocknung verwendet, wodurch sich der Brennwert des Holzes erhöht. Dies setzt allerdings voraus, dass ein solcher Betrieb vom kantonalen Amt bewilligt wird.
- **Variante 2:** Variante 2 kombiniert beide Verwertungswege. Im Winter wird das Restholz in der LiPRO-Anlage verwertet und im Sommer in der KVA-Hagenholz verbrannt.

Ein wesentlicher Bestandteil der Analyse war die Systemerweiterung. Dabei wurde berücksichtigt, dass durch die Nutzung von Restholz in der LiPRO-Anlage Frischholz eingespart wird. Dieses kann somit anderweitig energetisch oder stofflich genutzt werden. Zusätzlich führt die Trocknung des Holzes im Sommer zu einem höheren Energiegehalt, was ebenfalls zu einer Reduktion des Frischholzbedarfs beiträgt.

Die Ergebnisse zeigen, dass der ganzjährige Betrieb der LiPRO-Anlage (Variante 1) gegenüber der Referenzvariante (KVA) zu einer Einsparung von rund 277 Tonnen CO₂e pro Jahr führt. Im Vergleich zur Variante 2 ergibt sich ebenfalls eine deutliche Reduktion der Klimabelastung um etwa 134 Tonnen CO₂e. Diese Unterschiede lassen sich vor allem auf die vollständige Vermeidung des Frischholzeinsatzes sowie die bessere energetische Nutzung des Restholzes zurückführen. Ohne Berücksichtigung der Systemerweiterung – also ohne den Einspareffekt durch das Frischholz – sind die ökologischen Unterschiede zwischen den Varianten hingegen im Rahmen der Unsicherheiten der Methode als vernachlässigbar einzustufen.

Insgesamt belegt die Analyse, dass die konsequente Verwertung von Restholz in der LiPRO-Anlage eine klimaschonende Alternative zur herkömmlichen Verbrennung in einer KVA darstellt. Durch die Substitution von Frischholz und die zusätzliche Nutzungseffizienz in der Holz Trocknung wird eine signifikante Reduktion der Treibhausgasemissionen erreicht. Die ganzjährige Nutzung der LiPRO-Technologie kann somit einen wirkungsvollen Beitrag zur klimafreundlichen Energiegewinnung aus Restholz leisten.

5 Fazit und Empfehlungen

Ziel der Untersuchung war es festzustellen, ob sich die Emissionswerte von PU-verleimtem Restholz signifikant von denen von naturbelassenem Waldholz unterscheiden und ob die Grenzwerte der LRV eingehalten werden.

Die von der NoxaQuant GmbH durchgeführten Messungen zeigten zunächst bei der zweiten Messung am 6. August 2024 deutliche Erhöhungen der Schadstoffkonzentrationen für Kohlenmonoxid (CO: $114 \pm 11 \text{ mg/m}^3$ im Vergleich zu $9 \pm 5 \text{ mg/m}^3$ bei naturbelassenem Waldholz) und Ammoniak (NH_3 : $17 \pm 3 \text{ mg/m}^3$ im Vergleich zu $3.1 \pm 0.5 \text{ mg/m}^3$ bei naturbelassenem Waldholz).

Eine sorgfältige technische Ursachenanalyse ergab jedoch, dass die erhöhten Emissionswerte durch einen undichten Schieber bei der Brennstoffzufuhr verursacht wurden. Durch diese Undichtigkeit kam es zu Druckschwankungen im System, sodass der Motor zeitweise mit einem zu fetten Brennstoff-Luft-Gemisch betrieben wurde. Aufgrund des dadurch erweiterten Lambda-Bereichs konnte die auf den Betrieb mit naturbelassenem Holz eingestellte Lambda-Regelung diese Abweichungen nicht mehr ausreichend kompensieren, was in erhöhten CO- und NH_3 -Emissionen resultierte.

Eine Nachmessung am 5. Februar 2025 bestätigte, dass nach der technischen Behebung der Druckschwankungen und der Optimierung der Lambda-Regelung keine signifikanten Unterschiede mehr in den Emissionswerten zwischen PU-verleimtem Restholz und naturbelassenem Holz bestanden. Somit konnte gezeigt werden, dass die erhöhten Emissionen während der zweiten Messung nicht auf die Zusammensetzung des Brennstoffs, sondern auf betriebstechnische Bedingungen zurückzuführen waren. Sämtliche relevanten LRV-Grenzwerte für stationäre Motoren (siehe Tabelle 2) konnten eingehalten werden.

Analysen des verwendeten PU-verleimten Restholzes bestätigten, dass dieses nicht höhere Konzentrationen von Schadstoffen aufweist als naturbelassenes Holz. Die entstandene Asche wies bei beiden Holzqualitäten zu einer Anreicherung von Schwermetallen, sowie von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen auf. Eine direkte landwirtschaftliche Verwendung der Asche ist daher ausgeschlossen.

Die Ergebnisse dieses Pilotprojekts belegen insgesamt, dass die Vergasung von PU-verleimtem Restholz – im vorliegenden Fall in einer LiPRO-Anlage – technisch machbar ist. Zudem ist sie emissionsseitig kontrollierbar und somit sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll.

6 Anhänge

- 6.1 Anhang I: Messbericht 1: Referenzmessung mit naturbelassenem Waldholz (NoxaQuant, 27.2.2024)**
- 6.2 Anhang II: Messbericht 2: Emissionsmessung mit PU-verleimtem Restholz (NoxaQuant, 6.8.2024)**
- 6.3 Anhang III: Messbericht 3: Emissionsmessung zur Verifikation mit PU-verleimtem Restholz (NoxaQuant, 5.2.2025)**
- 6.4 Anhang IV: Brennstoffanalyse 1: Unbehandelte Waldholzschnitzel (Intertek, 4.2024)**
- 6.5 Anhang V: Brennstoffanalyse 2: PU-verleimte Restholzschnitzel (Intertek, 23.8.2024)**
- 6.6 Anhang VI: Kohle-/Ascheanalysen (Intertek, 28.8.2024)**
- 6.7 Anhang VII: Kohle-/Ascheanalysen (Bachema / SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH)**

6.1 Anhang I: Messbericht 1: Referenzmessung mit naturbelassenem Waldholz (NoxaQuant, 27.2.2024)



Bericht 2024.02.27.G

NoxaQuant GmbH
Dorfstrasse 38
8194 Hüntwangen

Flück AG Betrieb 2, Wangen bei Brüttisellen

Erweiterte Emissionsmessungen beim Betrieb mit trockenen Waldholzschnitzeln

Messauftrag: Um den Betrieb des Holzvergaser-BHKW mit Restholz aus dem Abbundwerk bewilligungsfähig zu machen, sind vertiefte Abklärungen und Emissionsmessungen nötig. Die vorliegenden Messungen stellen eine «Nullmessung» dar, womit das Emissionsniveau im Betrieb mit herkömmlichen Waldholz bestimmt werden soll.

Messdatum: 27. Februar 2024

Auftraggeber: Flück AG Betrieb 2
Pünten 6
8602 Wangen-Brüttisellen

Anlagestandort: Flück AG Betrieb 2
Pünten 6
8602 Wangen-Brüttisellen

Seitenzahl: 19

Beilagen: Technisches Datenblatt HKW50

Verteiler: Auftraggeber
AWEL

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung Emissionsmessung nach LRV.....	3
1. Beteiligte Institutionen	4
1.1. Auftraggeber und zuständige Behörde	4
1.2. Messfirma und Analysenlabors	4
2. Angaben zur Anlage	5
2.1. Anlagen- und Prozessbeschreibung	5
2.2. Messstellen.....	5
3. Grundlagen.....	6
3.1. Messparameter und verwendete Geräte.....	6
3.2. Messprogramm	7
3.3. Messdatum, Wetter, Anlagen- und Betriebszustand.....	7
3.4. Prüfgase.....	8
4. Messungen zur Überprüfung der geltenden Emissionsgrenzwerte	8
4.1. Allgemeine Bemerkungen	8
4.2. Abgasvolumenstrom	8
4.3. Emissionen von Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Gesamt-C.....	9
4.4. Emissionen von Staub, Ammoniak, Chlor-/Fluorverbindungen und Schwefeloxiden	10
4.5. Emissionen von Schwermetallen.....	12
4.6. Emissionen von polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen	14
4.7. Emissionen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK).....	15
4.8. Massenströme/Frachten	16
5. Vergleich mit LRV-Grenzwerten und Bewertung	17
5.1. Vergleich der Messwerte mit LRV-Grenzwerten.....	17
5.2. Beurteilung durch die Messfirma	18
6. Anhang 1: Messtrends	19

Zusammenfassung Emissionsmessung nach LRV

Tabelle 0.1: Übersicht Messresultate

Schadstoffe	Einheit	Messwert			
		Max 1h-Mittel		Mittel gesamte Messzeit	
Kohlenmonoxid CO	[mg/m ³]	12 2.9 g/h	± 5	9 2.2 g/h	± 5
Stickoxide / NO _x als NO ₂	[mg/m ³]	63 15 g/h	± 6	54 13.0 g/h	± 5
Gesamtkohlenstoff (gas- und dampfförmige org. Stoffe)	[mg/m ³]	3 0.73 g/h	± 2	2 0.55 g/h	± 2
Staub/Feststoffe	[mg/m ³]	0.5 0.11 g/h	± 0.2	0.2 0.055	± 0.2
Ammoniak + Ammoniumverb.	[mg/m ³]	3.5 0.82 g/h	± 0.5	3.1 0.73 g/h	± 0.5
Chlorverbindungen als HCl	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Fluorverbindungen als HF	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Bromverbindungen als HBr	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Gasförmige Cyanide als HCN	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Schwefeloxide als SO ₂	[mg/m ³]	246 59 g/h	± 37	170 41 g/h	± 26
Blei als Pb	[mg/m ³]	< 0.0094 < 0.0023 g/h	-	< 0.0093 < 0.0022 g/h	-
Zink als Zn	[mg/m ³]	< 0.050 < 0.012 g/h	-	< 0.049 < 0.012 g/h	-
Blei und Zink als Summe Pb/Zn	[mg/m ³]	< 0.059 < 0.014 g/h	-	< 0.058 < 0.014 g/h	-
PCDD /PCDF	[ng TEQ/m ³]	0.0020 0.00049 µg TEQ/h	± 0.0006	0.0015 0.00037 µg TEQ/h	± 0.0005
PAK: - Naphtalin	[mg/m ³]	0.0013 0.0003 g/h	± 0.0001	0.0012 0.0003 g/h	± 0.0001
- Benzo(a)pyren	[mg/m ³]	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-
- Dibenz(a,h/a,c)anthracen	[mg/m ³]	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-

Sämtliche Konzentrationen sind normiert auf 0 °C / 1'013 mbar und bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 5 % V/V angegeben.

1. Beteiligte Institutionen

1.1. Auftraggeber und zuständige Behörde

Auftraggeber	Flück AG Betrieb 2 Pünten 6 8602 Wangen-Brüttisellen
Kontaktpersonen	Hans Flück, Eigentümer 044 325 10 10 flueck@flueck.ag Manuel Peter, Projektleiter 079 258 42 34 peter@flueck.ag
Wissenschaftl. Begleitung	FHNW Institut für Biomasse und Ressourceneffizienz IBRE Klosterzelgstrasse 2 5210 Windisch
Kontaktperson	Prof. Dr. Petar Mandaliev 076 411 48 81 petar.mandaliev@fhnw.ch
Zuständige Amtsstelle	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) Stampfenbachstrasse 12 8090 Zürich
Kontaktpersonen	Beat Gloor, Sachbearbeiter Industrie / Gewerbe 043 259 43 47 beat.gloor@bd.zh.ch

1.2. Messfirma und Analysenlabors

Messfirma	NoxaQuant GmbH Dorfstrasse 38 8194 Hüntwangen 043 536 67 06	Durch QSEM zugelassen für die Messkategorien 1-8
Messverantwortlicher	Christian Sprecher, Chemiker FH csp@noxaquant.ch	Messung, Auswertung und Bericht
Analysenlabore	NIUTEC AG Labor für Industrie und Umwelt Else-Züblin Str. 11 8404 Winterthur mas analytical solutions gmbh Wilhelm-Schickard-Strasse 5 D-48149 Münster	akkreditiert nach EN 17025 akkreditiert nach EN 17025

2. Angaben zur Anlage

2.1. Anlagen- und Prozessbeschreibung

Anlagebeschreibung

Anlage	Holz-Heizkraftwerk HKW50 bestehend aus: Holzgaswerk HGW200 und Blockheizkraftwerk HGM50
Hersteller	LiPRO Energy GmbH & Co. KG D-26203 Wardenburg
Holzgaswerk HGW200	
Baujahr	2023
Brennstoffwärmeleistung	197 kW
Holzgasleistung	174 kW
Blockheizkraftwerk HGM50	
Elektrische Leistung	50 kW (brutto 53 kW, Eigenbedarf 3 kW)
Thermische Leistung	97 kW
Brennstoff	Holzgas aus Holzschnitzel naturbelassen
Motor	AGCO Power
Typ	Gas-Ottomotor, 6 Zylinder 8.4 L Hubraum
Serien Nr.	-
Baujahr	2023
Generator	Leroy-Somer
Typ	LSA 44.3
Serien Nr.	-
Baujahr	2023
Zusatzinstallationen	Katalysator, Wärmetauscher
Messstelle	100 mm-Messstutzen
Eignung gemäss Messempfehlung	Geeignet (Platz knapp für den geforderten Messumfang)
Betriebsweise	Ganzjahresbetrieb

Für eine detailliertere Beschreibung des Prozesses und der Anlagenkomponenten sei an dieser Stelle auf das technische Datenblatt (beiliegend) verwiesen.

2.2. Messstellen

Messstelle Reingas

Position in der Anlage	Am Kamin
Ausgestaltung	Auf dem Flachdach über der Anlage Ebenerdig zugänglich durch die Holzbearbeitungshalle
Messöffnungen	Stutzen 100 mm
Kanalquerschnitt an Messstelle	rund d= 0.13 m
An- / Abströmstrecke;	ca. 2 m / 5 m
Eignung	Strömungstechnisch für Probenahmen aller Art geeignet. Platzverhältnisse beengt

3. Grundlagen

3.1. Messparameter und verwendete Geräte

Tabelle 3.1.1 Hilfsparameter

Hilfsparameter	Einheit	Methode / Messgerät	Geräte-Nr.
Sauerstoff O ₂ (Reingas)	[mg/m ³]	Paramagnetismus, Horiba PG-350E Messbereich: 0- 25 % V/V	NQG.132
Rauchgastemperatur	[°C]	Thermoelement, MRU MFplus	NQG.117
Wassergehalt H ₂ O	[% V/V]	Gravimetrisch über abgesaugte Luftmenge	
Strömungsgeschwindigkeit (v)	[m/s]	Prandtl-Staurohr, MRU MFplus	NQG.129
Kamindurchmesser (d)	[m]	Metermass	-
Volumenstrom ($\dot{V}$)	[m ³ /h]	berechnet aus v und d	-

Tabelle 3.1.2: Schadstoffe

Schadstoffe	Einheit	Methode / Messgerät	Geräte-Nr.
Kohlenmonoxid CO (Reingas)	[mg/m ³]	NDIR, Horiba PG-350E Messbereich: 0- 500 ppm	NQG.132
Stickoxide / NO _x als NO ₂ (Reingas)	[mg/m ³]	Chemilumineszenz, Horiba PG-350E Messbereich: 0- 250 ppm	NQG.132
Gesamtkohlenstoff (gas- und dampfförmige org. Stoffe)	[mg/m ³]	Flammenionisationsdetektor, TESTA iFID mobile Messbereich: 0- 100 ppm	NQG.123
Staub/Feststoffe	[mg/m ³]	Sonde/Planfilter Gothe; Pumpstand Digitel	NQG.112
Ammoniak + Ammoniumverb.	[mg/m ³]	Sonde Gothe, GWF, Pumpstand Koneth	NQG.41
Chlorverbindungen als HCl	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Fluorverbindungen als HF	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Schwefeloxide als SO ₂	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Quecksilber als Hg	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Cadmium als Cd	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Blei und Zink als Summe Pb/Zn	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
PCDD /PCDF	[ng TEQ/m ³]	Gekühltes Absaugrohr, Koneth Pumpstand	NQG.42

3.2. Messprogramm

Der Messumfang richtet sich nach dem von AWEL und FHNW bestätigten Angebot 24.007 vom 24.01.2024:

Messparameter	Messdauer	Messweise
O ₂ , CO, NO _x , Gesamt-C,	3 x 3h	Kontinuierlich, direkt anzeigend
Staub,Pb, Zn (staubgebunden)	9x 1h	Anreichernd, Glasfaserfilter
Pb , Zn (filtergängig), SO ₂ , HCl, HBr, HCN, NH ₃	9x 1h	Anreichernd, Gaswaschflaschen
PCDD/PCDF, PAK	3x 3h	Anreichernd, gekühltes Absaugrohr + Festbettabsorber

Gemäss Vorschlag H. Matzke wurden von den Pb, Zn, SO₂, HCl, HBr, HCN und NH₃-Proben jeweils eine Probe pro 3 h analysiert (insgesamt je 3) die übrigen 6 Proben wurden zurückgestellt und stehen für allfällige nachträgliche Analysen noch bis zum 31.12.2024 zur Verfügung.

3.3. Messdatum, Wetter, Anlagen- und Betriebszustand

Messdatum	27. Februar 2024
Wetter	Bewölkt
Aussentemperatur	8 - 10 °C
Luftdruck	958 mbar
Anlagenzustand	Normalzustand
Betriebszustand	Betrieb mit trockenen Waldholzschnitzeln. Durch die FHNW wurden Brennstoffproben gezogen.
(allfällige Störungen)	Die Anlage wurde vor Beginn des Messbetriebs durch einen Servicetechniker von Lipro überprüft und optimal eingestellt. Detailinformationen über diese Einstellungen sind bei Lipro zu beziehen. Keine Betriebsstörungen

Die Angaben über den Anlagen- und Betriebszustand stützen sich auf die Aussagen des Anlagebetreibers.

3.4. Prüfgase

Vor und nach der Messung werden die Messgeräte für kontinuierliche Messungen jeweils mit Prüfgasen beaufschlagt. Dies ermöglicht eine genaue Kalibration der Signale unter Berücksichtigung der Signaldrift. Folgenden Prüfgase wurden zur Kalibration der Messgeräte verwendet.

Tabelle 3.4.1 Prüfgase

Typ	Hersteller	Komponenten	Träger	Genauigkeit
Gasgemisch	Messer	O ₂ 00.0 % CO 150.9 ppm CO ₂ 12.02 % NO 150.7 ppm	N ₂	± 2 % rel.
Gasgemisch	Messer	C ₃ H ₈ 50.7 ppm	synth. Luft	± 2 % rel.
Umgebungsluft	-	O ₂ 20.9 % CO 00.0 ppm CO ₂ 00.04 % NO 00.0 ppm	-	-

4. Messungen zur Überprüfung der geltenden Emissionsgrenzwerte

4.1. Allgemeine Bemerkungen

Alle Messresultate werden gemäss LRV bezogen auf trockenes Gas im Normzustand (0 °C, 1013 mbar) angegeben. Zudem ist notiert, ob die Werte auf 5 % Sauerstoff bezogen sind.

4.2. Abgasvolumenstrom

Die Netzmessung der Abgasgeschwindigkeit wurde zu Beginn der Messungen noch vor dem Einführen aller anderen Sonden mit dem Prantl- Staurohr an beiden Messachsen des Hauptkamins durchgeführt.

Während den Messungen konnte das Staurohr aus Platzmangel nicht im Abgaskanal belassen werden.

Tabelle 4.2.1 Resultate Bestimmung Volumenstrom

Messung	v [m/s]	T [°C]	F [%]	V _R [m ³ /h]	V _{n,f} [m ³ /h]	V _{n,tr} [m ³ /h]
	6.8 ± 0.7	108 ± 2	17.4 ± 1.7	325 ± 60	221 ± 41	183 ± 34

Für die Berechnung der Schadstoff-Massenströme wird der normierte trockene Abluftvolumenstrom (V_{n,tr}) benutzt.

4.3. Emissionen von Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Gesamt-C

Die Resultate der kontinuierlichen Messungen von Gesamtkohlenstoff, Stickoxiden NO_x als NO₂, Kohlenmonoxid CO und Sauerstoff O₂ sind in der untenstehenden Tabelle aufgeführt. Die Messwerte sind als Stundenmittelwerte dargestellt. Weiter ist ein Mittelwert über die gesamte Messzeit von 11 Stunden angegeben.

Für alle Parameter erfolgen die Angaben mit und ohne Sauerstoffbezug. Der Emissionsverlauf ohne Sauerstoffbezug ist in Anhang 1 grafisch dargestellt.

Tabelle 4.3.1: Resultate Emissionen von Stickoxiden, Kohlenmonoxid, Gesamt-C

M	Zeit	O ₂	CO ₂	CO		NO _x als NO ₂		Ges-C	
		[%]	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
1)	09:40 - 10:40	0.0 ± 0.2	20.4 ± 0.2	15 ± 5	12 ± 5	70 ± 7	53 ± 5	3 ± 2	2 ± 2
2)	10:40 - 11:40	0.0 ± 0.2	20.4 ± 0.2	8 ± 5	6 ± 5	58 ± 6	44 ± 5	2 ± 2	2 ± 2
3)	11:40 - 12:40	0.0 ± 0.2	20.3 ± 0.2	13 ± 5	10 ± 5	78 ± 8	59 ± 5	2 ± 2	2 ± 2
4)	12:40 - 13:40	0.0 ± 0.2	20.3 ± 0.2	10 ± 5	7 ± 5	69 ± 7	53 ± 5	3 ± 2	2 ± 2
5)	13:40 - 14:40	0.0 ± 0.2	20.4 ± 0.2	12 ± 5	9 ± 5	70 ± 7	53 ± 5	3 ± 2	2 ± 2
6)	14:40 - 15:40	0.0 ± 0.2	20.5 ± 0.2	14 ± 5	11 ± 5	82 ± 8	63 ± 6	3 ± 2	2 ± 2
7)	15:40 - 16:40	0.0 ± 0.2	20.5 ± 0.2	10 ± 5	7 ± 5	79 ± 8	60 ± 6	3 ± 2	2 ± 2
8)	16:40 - 17:40	0.0 ± 0.2	20.5 ± 0.2	11 ± 5	9 ± 5	76 ± 8	58 ± 6	3 ± 2	2 ± 2
9)	17:40 - 18:40	0.0 ± 0.2	20.7 ± 0.2	16 ± 5	12 ± 5	70 ± 7	53 ± 5	3 ± 2	2 ± 2
10)	18:40 - 19:40	0.0 ± 0.2	20.7 ± 0.2	11 ± 5	8 ± 5	65 ± 7	49 ± 5	3 ± 2	2 ± 2
11)	19:40 - 20:40	0.0 ± 0.2	20.7 ± 0.2	14 ± 5	11 ± 5	63 ± 6	48 ± 5	4 ± 2	3 ± 2
MW	09:40-20:40	0.0 ± 0.2	20.5 ± 0.2	12 ± 5	9 ± 5	71 ± 7	54 ± 5	3 ± 2	2 ± 2

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.4. Emissionen von Staub, Ammoniak, Halogenverbindungen, Cyaniden und Schwefeloxiden

In den folgenden Tabellen finden sich die Messwerte für die anreichernden Messungen von Staub, Ammoniak, Chlor- / Fluor- / Bromverbindungen, Cyaniden und Schwefeloxiden.

Es wurden insgesamt 9 Staubbmessungen durchgeführt und ausgewertet. Für Ammoniak, Chlor-/Fluorverbindungen und Schwefeloxide wurden 9 Probenahmen durchgeführt, es wurden jedoch nur 3 Probensets analysiert und ausgewertet. Die zurückgestellten Proben sind noch bis 31.12.2024 vorrätig.

Tabelle 4.4.1: Mittelwerte für Staub, Ammoniak, Schwefeloxide

Messzeit	O ₂	Staub		Ammoniak		SO ₂	
	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
09:46 – 10:46	0.0 ± 0.2	0.6 ± 0.2	0.5 ± 0.2	-	-	-	-
11:03 – 12:03	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	3.3 ± 0.5	2.5 ± 0.4	323 ± 49	246 ± 37
12:15 – 13:15	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	-	-	-	-
13:48 – 14:48	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.2	<0.2	-	-	-	-
15:06 – 16:06	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	4.5 ± 0.7	3.5 ± 0.5	201 ± 30	154 ± 23
16:16 – 17:16	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	-	-	-	-
17:45 – 18:45	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.2	< 0.2	-	-	-	-
19:02 – 20:02	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	4.3 ± 0.6	3.3 ± 0.5	145 ± 22	111 ± 17
20:21 – 21:21	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	-	-	-	-
Mittelwert	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	4.0 ± 0.6	3.1 ± 0.5	223 ± 34	170 ± 26

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

Tabelle 4.4.2: Mittelwerte für HCl, HF HBr und HCN

Messzeit	O ₂	HCl		HF		HBr		HCN	
	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
09:46 – 10:46	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
11:03 – 12:03	0.0 ± 0.2	0.1 ± 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
12:15 – 13:15	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
13:48 – 14:48	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
15:06 – 16:06	0.0 ± 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
16:16 – 17:16	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
17:45 – 18:45	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
19:02 – 20:02	0.0 ± 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
20:21 – 21:21	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
Mittelwert	0.0 ± 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.5. Emissionen von Schwermetallen

Die Konzentrationen von Schwermetallen finden sich in der Tabelle 4.5.1. In der letzten Spalte sind die Konzentrationen für Blei und Zink addiert, wie für den Vergleich mit dem LRV-Grenzwert benötigt.

Tabelle 4.5.1: Stundenmittelwerte Schwermetalle, summarisch

Messzeit	O ₂	Pb		Zn		Pb + Zn	
	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
09:46 – 10:46	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
11:03 – 12:03	0.0 ± 0.2	< 0.0124	< 0.0094	< 0.065	< 0.050	< 0.077	< 0.059
12:15 – 13:15	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
13:48 – 14:48	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
15:06 – 16:06	0.0 ± 0.2	< 0.0123	< 0.0094	< 0.065	< 0.049	< 0.077	< 0.059
16:16 – 17:16	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
17:45 – 18:45	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
19:02 – 20:02	0.0 ± 0.2	< 0.0120	< 0.0091	< 0.063	< 0.048	< 0.075	< 0.057
20:21 – 21:21	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
Mittelwert	0.0 ± 0.2	< 0.0122	< 0.0093	< 0.064	< 0.049	< 0.076	< 0.058

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

Der Vollständigkeit halber sind in der nachfolgenden Tabelle die Einzelwerte der Schwermetallbestimmungen eingetragen. Die Spalte „Staub“ zeigt den Schwermetallanteil, welcher auf dem Staubfilter zurückgehalten wurde. In der Spalte „WF“ sind die in den Waschflaschen aufgefangenen filtergängigen Schwermetallanteile aufgeführt. Die Einzelwerte aus den beiden hintereinander geschalteten Waschflaschen stehen jeweils übereinander.

Tabelle 4.5.2: Einzelresultate Schwermetallbestimmungen

Messzeit	Pb		Zn	
	Staub [mg/m ³]	WF [mg/m ³]	Staub [mg/m ³]	WF [mg/m ³]
09:46 – 10:46	-	- -	-	- -
11:03 – 12:03	< 0.001	< 0.006 < 0.005	0.007	< 0.032 < 0.026
12:15 – 13:15	-	- -	-	- -
13:48 – 14:48	-	- -	-	- -
15:06 – 16:06	< 0.001	< 0.006 < 0.005	0.007	< 0.032 < 0.026
16:16 – 17:16	-	- -	-	- -
17:45 – 18:45	-	- -	-	- -
19:02 – 20:02	< 0.001	< 0.006 < 0.005	0.007	< 0.032 < 0.024
20:21 – 21:21	-	- -	-	- -

4.6. Emissionen von polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen

Es wurden drei PCDD/PCDF Messungen durchgeführt. Die Probenahmen dauerten jeweils rund dreieinhalb Stunden.

Tabelle 4.6.1: Konzentrationen von Dioxinen und Furanen

Messdauer		27.02.2024 09:46 – 13:20		27.02.2024 13:47 – 17:16		27.02.2024 17:45 – 21:21	
	I-TEF	Konz.	Verteilg.	Konz.	Verteilg.	Konz.	Verteilg.
Dioxin-Kongenere		[ng TEQ/m³]	[%]	[ng TEQ/m³]	[%]	[ng TEQ/m³]	[%]
2378-TetraCDD	1	0.00027	10.1%	< 0.00023	13.1%	< 0.00024	15.2%
12378-PentaCDD	0.5	0.00040	15.3%	< 0.00023	13.1%	< 0.00024	15.2%
123478-HexaCDD	0.1	< 0.00008	2.8%	< 0.00007	3.9%	< 0.00007	4.6%
123678-HexaCDD	0.1	0.00010	3.6%	< 0.00007	3.9%	< 0.00007	4.6%
123789-HexaCDD	0.1	0.00009	3.5%	< 0.00007	3.9%	< 0.00007	4.6%
1234678-HeptaCDD	0.01	< 0.00004	1.4%	< 0.00004	2.0%	< 0.00004	2.3%
12346789-OctaCDD	0.001	< 0.00001	0.4%	< 0.00001	0.6%	< 0.00001	0.7%
Furan-Kongenere							
2378-TetraCDF	0.1	0.00015	5.6%	0.00009	5.0%	0.00006	3.8%
12378-PentaCDF	0.05	0.00008	2.8%	0.00006	3.2%	0.00004	2.2%
23478-PentaCDF	0.5	0.00085	32.1%	0.00048	26.6%	0.00038	23.4%
123478-HexaCDF	0.1	0.00013	5.0%	0.00010	5.4%	< 0.00007	4.6%
123678-HexaCDF	0.1	0.00016	5.9%	0.00011	6.2%	< 0.00007	4.6%
123789-HexaCDF	0.1	< 0.00008	2.8%	< 0.00007	3.9%	< 0.00007	4.6%
234678-HexaCDF	0.1	0.00014	5.4%	0.00008	4.7%	< 0.00007	4.6%
1234678-HeptaCDF	0.01	0.00004	1.4%	0.00004	2.0%	< 0.00004	2.3%
1234789-HeptaCDF	0.01	< 0.00004	1.4%	< 0.00004	2.0%	< 0.00004	2.3%
12346789-OctaCDF	0.001	< 0.00001	0.4%	< 0.00001	0.6%	< 0.00001	0.7%
Summe PCDD /PCDF [ng TEQ/m³]		0.0027 ± 0.0008		0.0018 ± 0.0006		0.0014 ± 0.0005	
mittlere O₂-Konzentration [% V/V]		0.0		0.0		0.0	
Summe PCDD /PCDF (N) [ng TEQ/m³]		0.0020 ± 0.0006		0.0013 ± 0.0005		0.0011 ± 0.0004	
Wiederfindung Probenahmestandard							
Wiederfindung 13C12-12378-PentaCDF [%]			87	91		86	
Wiederfindung 13C12-123789-HexaCDF [%]			99	107		101	
Wiederfindung 13C12-1234789-HeptaCDF [%]			91	99		97	
				Summe PCDD /PCDF [ng TEQ/m³]		Summe PCDD /PCDF (N) [ng TEQ/m³]	
Mittelwert aller drei Messungen				0.0020 ± 0.0006		0.0015 ± 0.0005	

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.7. Emissionen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)

Die Bestimmung der PAK erfolgte in allen drei PCDD/PCDF-Proben. Fett gedruckt sind in der untenstehenden Tabelle die drei PAK für die spezifische LRV-Grenzwerte existieren.

Tabelle 4.7.1: Konzentrationen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)

	27.02.2024 09:46 – 13:20		27.02.2024 13:47 – 17:16		27.02.2024 17:45 – 21:21		Mittelwerte aller Messungen	
	Konzentration		Konzentration		Konzentration		Konzentration	
	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
Naphthalin	0.0014	0.0011	0.0016	0.0012	0.0018	0.0013	0.0016	0.0012
Acenaphthylen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Acenaphthen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Fluoren	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Phenanthren	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Anthracen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Fluoranthen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Pyren	0.0001	0.0001	0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0001	< 0.0001
Benz(a)anthracen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Chrysen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(b/j)fluoranthen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(k)fluoranthen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(a)pyren	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Dibenz(a,h/a,c)anthracen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(ghi)perylene	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Indeno(1,2,3-cd)pyren	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.8. Massenströme/Frachten

Im Sinne einer Worst-case Betrachtung werden die Schadstoff-Massenströme/-Frachten durch Multiplikation des trockenen, normierten Volumenstromes mit dem höchsten gemessenen Stundenmittelwert jedes Parameters (ohne Sauerstoffbezug) berechnet. Ist die Schadstoffkonzentration unterhalb der Nachweisgrenze (< ...) wird bei der Berechnung die Nachweisgrenze eingesetzt. Die Werte werden auf zwei geltende Ziffern gerundet.

Tabelle 4.8.1: Schadstoff-Massenströme

Parameter	Massenstrom pro Stunde
Kohlenmonoxid CO [g/h]	2.9
Stickoxide NO _x als NO ₂ [g/h]	15
Gasförmige organische Stoffe / Gesamtkohlenstoff als C [g/h]	0.73
Staub/Feststoffe [g/h]	0.11
Ammoniak und Ammoniumverbindungen als NH ₃ [g/h]	0.82
Gasförmige anorganische Chlorverbindungen als HCl [g/h]	0.018
Gasförmige anorganische Fluorverbindungen als HF [g/h]	< 0.018
Gasförmige anorganische Bromverbindungen als HBr [g/h]	< 0.018
Gasförmige Cynide als HCN [g/h]	< 0.018
Schwefeloxide als SO ₂ [g/h]	59
Blei als Pb [g/h]	< 0.0023
Zink als Zn [g/h]	< 0.012
Blei und Zink als Summe Pb/Zn [g/h]	< 0.014
PCDD/PCDF [µg TEQ /h]	0.00037
Naphtalin (übrige PAK) [g/h]	0.00033 (< 0.00002)

5. Vergleich mit LRV-Grenzwerten und Bewertung

5.1. Vergleich der Messwerte mit LRV-Grenzwerten

Bei Emissionsmessungen zur Überprüfung von LRV-Grenzwerten werden an dieser Stelle die Messwerte den geltenden LRV-Grenzwerten gegenübergestellt und eine kurze Bewertung aus Sicht der Messfirma gemacht.

Die vorliegenden Messungen dienen einem anderen Zweck. Es soll das Emissionsniveau der Anlage für eine Vielzahl von Parametern gezeigt werden. Für die allermeisten Parameter existieren gar keine LRV-Grenzwerte für den gemessenen Anlagentyp. Daher werden an dieser Stelle im Sinne einer Zusammenfassung für jeden Parameter jeweils der höchste gemessene Stundenmittelwert sowie der Mittelwert über die gesamte Messzeit aufgeführt. Ebenfalls aufgeführt werden die dazu gehörigen Massenströme.

Tabelle 5.1.1: Zusammenfassung Messresultate

Schadstoffe	Einheit	Messwert			
		Max 1h-Mittel		Mittel gesamte Messzeit	
Kohlenmonoxid CO	[mg/m ³]	12 2.9 g/h	± 5	9 2.2 g/h	± 5
Stickoxide / NO _x als NO ₂	[mg/m ³]	63 15 g/h	± 6	54 13.0 g/h	± 5
Gesamtkohlenstoff (gas- und dampfförmige org. Stoffe)	[mg/m ³]	3 0.73 g/h	± 2	2 0.55 g/h	± 2
Staub/Feststoffe	[mg/m ³]	0.5 0.11 g/h	± 0.2	0.2 0.055	± 0.2
Ammoniak + Ammoniumverb.	[mg/m ³]	3.5 0.82 g/h	± 0.5	3.1 0.73 g/h	± 0.5
Chlorverbindungen als HCl	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Fluorverbindungen als HF	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Bromverbindungen als HBr	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Gasförmige Cyanide als HCN	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Schwefeloxide als SO ₂	[mg/m ³]	246 59 g/h	± 37	170 41 g/h	± 26
Blei als Pb	[mg/m ³]	< 0.0094 < 0.0023 g/h	-	< 0.0093 < 0.0022 g/h	-
Zink als Zn	[mg/m ³]	< 0.050 < 0.012 g/h	-	< 0.049 < 0.012 g/h	-
Blei und Zink als Summe Pb/Zn	[mg/m ³]	< 0.059 < 0.014 g/h	-	< 0.058 < 0.014 g/h	-

Tabelle 5.1.2: Zusammenfassung Messresultate (Fortsetzung)

PCDD /PCDF	[ng TEQ/m ³]	0.0020 0.00049 µg TEQ/h	± 0.0006	0.0015 0.00037 µg TEQ/h	± 0.0005
PAK: - Naphtalin	[mg/m ³]	0.0013 0.0003 g/h	± 0.0001	0.0012 0.0003 g/h	± 0.0001
- Benzo(a)pyren	[mg/m ³]	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-
- Dibenz(a,h/a,c)anthracen	[mg/m ³]	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-

Sämtliche Konzentrationen sind normiert auf 0 °C / 1'013 mbar und bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 5 % V/V angegeben.

5.2. Beurteilung durch die Messfirma

Die Messungen erfolgten ohne Probleme, die Resultate sind plausibel.

Wie zu erwarten war, wurden von den meisten untersuchten Schadstoffen nur sehr geringe Mengen gefunden. Insbesondere die PCDD/F-Konzentrationen und die PAK-Konzentrationen lagen für die meisten Einzelsubstanzen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Von den untersuchten Schwermetallen Blei und Zink konnte nur staubförmiges Zink in geringen Mengen gefunden werden. Die angegebenen Schwellenwerte für Blei und Zink (< ...) werden stark durch die deutlich höheren Bestimmungsgrenzen für filtergängiges Blei und Zink bestimmt.

Die massgebliche Beurteilung der Messresultate obliegt der zuständigen kantonalen Behörde.

Hüntwangen 27.05.2024

NoxaQuant GmbH



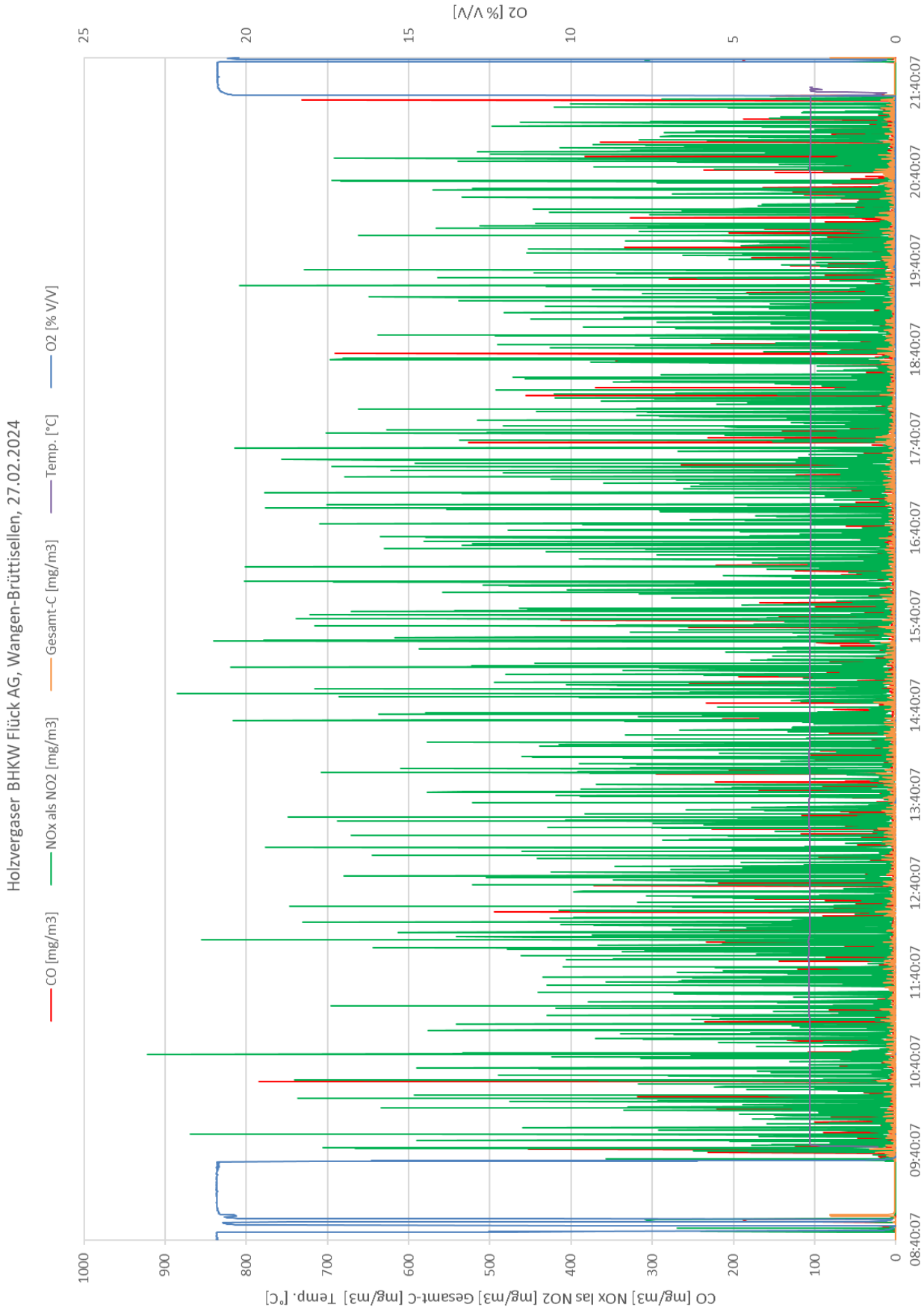
Christian Sprecher
Messverantwortlicher

Anhang und Beilagen

Anhang 1: Messtrends

Beilage 2: technisches Datenblatt HKW50

6. Anhang 1: Messtrends





NoxaQuant GmbH
Dorfstrasse 38
8194 Hüntwangen

Flück AG Betrieb 2, Wangen bei Brüttisellen

Erweiterte Emissionsmessungen beim Betrieb mit Restholz aus dem Abbundbetrieb

Messauftrag: Um den Betrieb des Holzvergaser-BHKW mit Restholz aus dem Abbundwerk bewilligungsfähig zu machen, sind vertiefte Abklärungen und Emissionsmessungen nötig. Die vorliegenden Messungen erfolgten im Betrieb mit Restholz aus dem Abbundbetrieb, was dem Brennstoff entspricht, welcher zukünftig im Regelbetrieb des BHKW eingesetzt werden soll.

Messdatum: 06. August 2024

Auftraggeber: Flück AG Betrieb 2
Pünten 6
8602 Wangen-Brüttisellen

Anlagestandort: Flück AG Betrieb 2
Pünten 6
8602 Wangen-Brüttisellen

Seitenzahl: 19

Beilagen: Technisches Datenblatt HKW50

Verteiler: Auftraggeber
AWEL

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung Emissionsmessung nach LRV.....	3
1. Beteiligte Institutionen	4
1.1. Auftraggeber und zuständige Behörde	4
1.2. Messfirma und Analysenlabors	4
2. Angaben zur Anlage	5
2.1. Anlagen- und Prozessbeschreibung	5
2.2. Messstellen.....	5
3. Grundlagen.....	6
3.1. Messparameter und verwendete Geräte.....	6
3.2. Messprogramm	7
3.3. Messdatum, Wetter, Anlagen- und Betriebszustand.....	7
3.4. Prüfgase.....	8
4. Messungen zur Überprüfung der geltenden Emissionsgrenzwerte	8
4.1. Allgemeine Bemerkungen	8
4.2. Abgasvolumenstrom	8
4.3. Emissionen von Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Gesamt-C.....	9
4.4. Emissionen von Staub, Ammoniak, Chlor-/Fluorverbindungen und Schwefeloxiden	10
4.5. Emissionen von Schwermetallen.....	12
4.6. Emissionen von polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen	14
4.7. Emissionen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK).....	15
4.8. Massenströme/Frachten	16
5. Vergleich mit LRV-Grenzwerten und Bewertung	17
5.1. Vergleich der Messwerte mit LRV-Grenzwerten.....	17
5.2. Beurteilung durch die Messfirma	18
6. Anhang 1: Messtrends	19

Zusammenfassung Emissionsmessung nach LRV

Tabelle 0.1: Übersicht Messresultate

Schadstoffe	Einheit	Messwert			
		Max 1h-Mittel		Mittel gesamte Messzeit	
Kohlenmonoxid CO	[mg/m ³]	146 35 g/h	± 15	114 27 g/h	± 11
Stickoxide / NO _x als NO ₂	[mg/m ³]	117 28 g/h	± 12	91 22 g/h	± 9
Gesamtkohlenstoff (gas- und dampfförmige org. Stoffe)	[mg/m ³]	7 1.8 g/h	± 2	6 1.6 g/h	± 2
Staub/Feststoffe	[mg/m ³]	0.3 0.05 g/h	± 0.2	0.2 0.04 g/h	± 0.2
Ammoniak + Ammoniumverb.	[mg/m ³]	23 5.6 g/h	± 3	17 4.2 g/h	± 3
Chlorverbindungen als HCl	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Fluorverbindungen als HF	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Bromverbindungen als HBr	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Gasförmige Cyanide als HCN	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Schwefeloxide als SO ₂	[mg/m ³]	13 3.3 g/h	± 2	11 2.5 g/h	± 2
Blei als Pb	[mg/m ³]	< 0.0134 < 0.0032 g/h	-	< 0.0116 < 0.0028 g/h	-
Zink als Zn	[mg/m ³]	< 0.074 < 0.018 g/h	-	< 0.065 < 0.016 g/h	-
Blei und Zink als Summe Pb/Zn	[mg/m ³]	< 0.088 < 0.021 g/h	-	< 0.077 < 0.018 g/h	-

Sämtliche Konzentrationen sind normiert auf 0 °C / 1'013 mbar und bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 5 % V/V angegeben.

1. Beteiligte Institutionen

1.1. Auftraggeber und zuständige Behörde

Auftraggeber	Flück AG Betrieb 2 Pünten 6 8602 Wangen-Brüttisellen
Kontaktpersonen	Hans Flück, Eigentümer 044 325 10 10 flueck@flueck.ag Manuel Peter, Projektleiter 079 258 42 34 peter@flueck.ag
Wissenschaftl. Begleitung	FHNW Institut für Biomasse und Ressourceneffizienz IBRE Klosterzelgstrasse 2 5210 Windisch
Kontaktperson	Prof. Dr. Petar Mandaliev 076 411 48 81 petar.mandaliev@fhnw.ch
Zuständige Amtsstelle	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) Stampfenbachstrasse 12 8090 Zürich
Kontaktpersonen	Beat Gloor, Sachbearbeiter Industrie / Gewerbe 043 259 43 47 beat.gloor@bd.zh.ch

1.2. Messfirma und Analysenlabors

Messfirma	NoxaQuant GmbH Dorfstrasse 38 8194 Hüntwangen 043 536 67 06	Durch QSEM zugelassen für die Messkategorien 1-8
Messverantwortlicher	Christian Sprecher, Chemiker FH csp@noxaquant.ch	Messung, Auswertung und Bericht
Analysenlabore	NIUTEC AG Labor für Industrie und Umwelt Else-Züblin Str. 11 8404 Winterthur mas analytical solutions gmbh Wilhelm-Schickard-Strasse 5 D-48149 Münster	akkreditiert nach EN 17025 akkreditiert nach EN 17025

2. Angaben zur Anlage

2.1. Anlagen- und Prozessbeschreibung

Anlagebeschreibung	
Anlage	Holz-Heizkraftwerk HKW50 bestehend aus: Holzgaswerk HGW200 und Blockheizkraftwerk HGM50
Hersteller	LiPRO Energy GmbH & Co. KG D-26203 Wardenburg
Holzgaswerk HGW200	
Baujahr	2023
Brennstoffwärmeleistung	197 kW
Holzgasleistung	174 kW
Blockheizkraftwerk HGM50	
Elektrische Leistung	50 kW (brutto 53 kW, Eigenbedarf 3 kW)
Thermische Leistung	97 kW
Brennstoff	Holzgas aus Holzschnitzel naturbelassen
Motor	AGCO Power
Typ	Gas-Ottomotor, 6 Zylinder 8.4 L Hubraum
Serien Nr.	-
Baujahr	2023
Generator	Leroy-Somer
Typ	LSA 44.3
Serien Nr.	-
Baujahr	2023
Zusatzinstallationen	Katalysator, Wärmetauscher
Messstelle	100 mm-Messstutzen
Eignung gemäss Messempfehlung	Geeignet (Platz knapp für den geforderten Messumfang)
Betriebsweise	Ganzjahresbetrieb

Für eine detailliertere Beschreibung des Prozesses und der Anlagenkomponenten sei an dieser Stelle auf das technische Datenblatt (beiliegend) verwiesen.

2.2. Messstellen

Messstelle Reingas

Position in der Anlage	Am Kamin
Ausgestaltung	Auf dem Flachdach über der Anlage Ebenerdig zugänglich durch die Holzbearbeitungshalle
Messöffnungen	Stutzen 100 mm
Kanalquerschnitt an Messstelle	rund d= 0.13 m
An- / Abströmstrecke;	ca. 2 m / 5 m
Eignung	Strömungstechnisch für Probenahmen aller Art geeignet. Platzverhältnisse beengt

3. Grundlagen

3.1. Messparameter und verwendete Geräte

Tabelle 3.1.1 Hilfsparameter

Hilfsparameter	Einheit	Methode / Messgerät	Geräte-Nr.
Sauerstoff O ₂ (Reingas)	[mg/m ³]	Paramagnetismus, Horiba PG-350E Messbereich: 0- 25 % V/V	NQG.132
Rauchgastemperatur	[°C]	Thermoelement, MRU MFplus	NQG.117
Wassergehalt H ₂ O	[% V/V]	Gravimetrisch über abgesaugte Luftmenge	
Strömungsgeschwindigkeit (v)	[m/s]	Prandtl-Staurohr, MRU MFplus	NQG.129
Kamindurchmesser (d)	[m]	Metermass	-
Volumenstrom ($\dot{V}$)	[m ³ /h]	berechnet aus v und d	-

Tabelle 3.1.2: Schadstoffe

Schadstoffe	Einheit	Methode / Messgerät	Geräte-Nr.
Kohlenmonoxid CO (Reingas)	[mg/m ³]	NDIR, Horiba PG-350E Messbereich: 0- 500 ppm	NQG.132
Stickoxide / NO _x als NO ₂ (Reingas)	[mg/m ³]	Chemilumineszenz, Horiba PG-350E Messbereich: 0- 250 ppm	NQG.132
Gesamtkohlenstoff (gas- und dampfförmige org. Stoffe)	[mg/m ³]	Flammenionisationsdetektor, TESTA iFID mobile Messbereich: 0- 100 ppm	NQG.123
Staub/Feststoffe	[mg/m ³]	Sonde/Planfilter Gothe; Pumpstand Digitel	NQG.112
Ammoniak + Ammoniumverb.	[mg/m ³]	Sonde Gothe, GWF, Pumpstand Koneth	NQG.43
Chlorverbindungen als HCl	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Fluorverbindungen als HF	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Schwefeloxide als SO ₂	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Quecksilber als Hg	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Cadmium als Cd	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Blei und Zink als Summe Pb/Zn	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
PCDD /PCDF	[ng TEQ/m ³]	Gekühltes Absaugrohr, Koneth Pumpstand	NQG.42

3.2. Messprogramm

Der Messumfang richtet sich nach dem von AWEL und FHNW bestätigten Angebot 24.007 vom 24.01.2024:

Messparameter	Messdauer	Messweise
O ₂ , CO, NO _x , Gesamt-C,	3 x 3h	Kontinuierlich, direkt anzeigend
Staub,Pb, Zn (staubgebunden)	9x 1h	Anreichernd, Glasfaserfilter
Pb , Zn (filtergängig), SO ₂ , HCl, HBr, HCN, NH ₃	9x 1h	Anreichernd, Gaswaschflaschen
PCDD/PCDF, PAK	3x 3h	Anreichernd, gekühltes Absaugrohr + Festbettabsorber

Gemäss Vorschlag H. Matzke wurden von den Pb, Zn, SO₂, HCl, HBr, HCN und NH₃-Proben jeweils eine Probe pro 3 h analysiert (insgesamt je 3) die übrigen 6 Proben wurden zurückgestellt und stehen für allfällige nachträgliche Analysen noch bis zum 31.12.2024 zur Verfügung.

3.3. Messdatum, Wetter, Anlagen- und Betriebszustand

Messdatum	06. August 2024
Wetter	Sonnig und heiss
Aussentemperatur	19 - 35 °C
Luftdruck	963 mbar
Anlagenzustand	Normalzustand
Betriebszustand	Betrieb mit Restholz aus dem Abbundbetrieb. Eine Mischprobe des Brennstoffs liegt bei NoxaQuant.
(allfällige Störungen)	Die Anlage wurde vor Beginn des Messbetriebs per Fernwartung durch Lipro überprüft und optimal eingestellt. Detailinformationen über diese Einstellungen sind bei Lipro zu beziehen. Keine Betriebsstörungen

Die Angaben über den Anlagen- und Betriebszustand stützen sich auf die Aussagen des Anlagebetreibers.

3.4. Prüfgase

Vor und nach der Messung werden die Messgeräte für kontinuierliche Messungen jeweils mit Prüfgasen beaufschlagt. Dies ermöglicht eine genaue Kalibration der Signale unter Berücksichtigung der Signaldrift. Folgenden Prüfgase wurden zur Kalibration der Messgeräte verwendet.

Tabelle 3.4.1 Prüfgase

Typ	Hersteller	Komponenten	Träger	Genauigkeit
Gasgemisch	Messer	O ₂ 00.0 % CO 50.0 ppm CO ₂ 11.99 % NO 50.3 ppm	N ₂	± 2 % rel.
Gasgemisch	Messer	C ₃ H ₈ 50.5 ppm	synth. Luft	± 2 % rel.
Umgebungsluft	-	O ₂ 20.9 % CO 00.0 ppm CO ₂ 00.04 % NO 00.0 ppm	-	-

4. Messungen zur Überprüfung der geltenden Emissionsgrenzwerte

4.1. Allgemeine Bemerkungen

Alle Messresultate werden gemäss LRV bezogen auf trockenes Gas im Normzustand (0 °C, 1013 mbar) angegeben. Zudem ist notiert, ob die Werte auf 5 % Sauerstoff bezogen sind.

4.2. Abgasvolumenstrom

Die Netzmessung der Abgasgeschwindigkeit wurde zu Beginn der Messungen noch vor dem Einführen aller anderen Sonden mit dem Prantl- Staurohr durchgeführt.

Während den Messungen konnte das Staurohr aus Platzmangel nicht im Abgaskanal belassen werden.

Tabelle 4.2.1 Resultate Bestimmung Volumenstrom

Messung	v [m/s]	T [°C]	F [%]	V _R [m ³ /h]	V _{n,f} [m ³ /h]	V _{n,tr} [m ³ /h]
	7.3 ± 0.7	125 ± 2	17.4 ± 1.7	349 ± 64	227 ± 42	181 ± 33

Für die Berechnung der Schadstoff-Massenströme wird der normierte trockene Abluftvolumenstrom (V_{n,tr}) benutzt.

4.3. Emissionen von Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Gesamt-C

Die Resultate der kontinuierlichen Messungen von Gesamtkohlenstoff, Stickoxiden NO_x als NO₂, Kohlenmonoxid CO und Sauerstoff O₂ sind in der untenstehenden Tabelle aufgeführt. Die Messwerte sind als Stundenmittelwerte dargestellt. Weiter ist ein Mittelwert über die gesamte Messzeit von 11 Stunden angegeben.

Für alle Parameter erfolgen die Angaben mit und ohne Sauerstoffbezug. Der Emissionsverlauf ohne Sauerstoffbezug ist in Anhang 1 grafisch dargestellt.

Tabelle 4.3.1: Resultate Emissionen von Stickoxiden, Kohlenmonoxid, Gesamt-C

M	Zeit	O ₂	CO ₂	CO		NO _x als NO ₂		Ges-C	
		[%]	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
1)	08:08 - 09:08	0.0 ± 0.2	21.0 ± 0.2	116 ± 12	88 ± 9	88 ± 9	67 ± 7	9 ± 2	6 ± 2
2)	09:08 - 10:08	0.0 ± 0.2	21.1 ± 0.2	127 ± 13	96 ± 10	105 ± 11	79 ± 8	10 ± 2	7 ± 2
3)	10:08 - 11:08	0.0 ± 0.2	21.2 ± 0.2	170 ± 17	128 ± 13	129 ± 13	98 ± 10	9 ± 2	7 ± 2
4)	11:08 - 12:08	0.0 ± 0.2	21.2 ± 0.2	139 ± 14	105 ± 11	117 ± 12	88 ± 9	9 ± 2	7 ± 2
5)	12:08 - 13:08	0.0 ± 0.2	21.4 ± 0.2	122 ± 12	92 ± 9	112 ± 11	85 ± 9	8 ± 2	6 ± 2
6)	13:08 - 14:08	0.0 ± 0.2	21.5 ± 0.2	146 ± 15	110 ± 11	155 ± 16	117 ± 12	8 ± 2	6 ± 2
7)	14:08 - 15:08	0.0 ± 0.2	21.5 ± 0.2	144 ± 14	109 ± 11	136 ± 14	102 ± 10	9 ± 2	7 ± 2
8)	15:08 - 16:08	0.0 ± 0.2	21.5 ± 0.2	164 ± 16	124 ± 12	121 ± 12	91 ± 9	8 ± 2	6 ± 2
9)	16:08 - 17:08	0.0 ± 0.2	21.5 ± 0.2	194 ± 19	146 ± 15	129 ± 13	97 ± 10	8 ± 2	6 ± 2
10)	17:08 - 18:08	0.0 ± 0.2	21.5 ± 0.2	185 ± 19	140 ± 14	129 ± 13	98 ± 10	8 ± 2	6 ± 2
11)	18:08 - 19:08	0.0 ± 0.2	21.4 ± 0.2	159 ± 16	120 ± 12	109 ± 11	82 ± 8	8 ± 2	6 ± 2
MW	08:08-19:08	0.0 ± 0.2	21.3 ± 0.2	151 ± 15	114 ± 11	121 ± 12	91 ± 9	9 ± 2	6 ± 2

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.4. Emissionen von Staub, Ammoniak, Halogenverbindungen, Cyaniden und Schwefeloxiden

In den folgenden Tabellen finden sich die Messwerte für die anreichernden Messungen von Staub, Ammoniak, Chlor- / Fluor- / Bromverbindungen, Cyaniden und Schwefeloxiden.

Es wurden insgesamt 9 Staubbmessungen durchgeführt und ausgewertet. Für Ammoniak, Chlor-/Fluorverbindungen und Schwefeloxide wurden 9 Probenahmen durchgeführt, es wurden jedoch nur 3 Probensets analysiert und ausgewertet. Die zurückgestellten Proben sind noch bis 31.12.2024 vorrätig.

Tabelle 4.4.1: Mittelwerte für Staub, Ammoniak, Schwefeloxide

Messzeit	O ₂	Staub		Ammoniak		SO ₂	
	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
08:08 - 09:08	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.2	-	-	-	-
09:23 - 10:23	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	17 ± 2	13 ± 2	18 ± 3	13 ± 2
10:32 - 11:32	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	-	-	-	-
12:14 - 13:14	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.2	-	-	-	-
13:24 - 14:24	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	21 ± 3	16 ± 2	13 ± 2	10 ± 2
14:35 - 15:35	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	-	-	-	-
16:33 - 17:33	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	-	-	-	-
17:46 - 18:46	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	31 ± 5	23 ± 3	12 ± 2	9 ± 1
18:57 - 19:57	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	-	-	-	-
Mittelwert	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	23 ± 3	17 ± 3	14 ± 2	11 ± 2

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

Tabelle 4.4.2: Mittelwerte für HCl, HF HBr und HCN

Messzeit	O ₂	HCl		HF		HBr		HCN	
	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
08:08 - 09:08	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
09:23 - 10:23	0.0 ± 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
10:32 - 11:32	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
12:14 - 13:14	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
13:24 - 14:24	0.0 ± 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
14:35 - 15:35	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
16:33 - 17:33	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
17:46 - 18:46	0.0 ± 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
18:57 - 19:57	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
Mittelwert	0.0 ± 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.5. Emissionen von Schwermetallen

Die Konzentrationen von Schwermetallen finden sich in der Tabelle 4.5.1. In der letzten Spalte sind die Konzentrationen für Blei und Zink addiert, wie für den Vergleich mit dem LRV-Grenzwert benötigt.

Tabelle 4.5.1: Stundenmittelwerte Schwermetalle, summarisch

Messzeit	O ₂	Pb		Zn		Pb + Zn	
	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
08:08 - 09:08	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
09:23 - 10:23	0.0 ± 0.2	< 0.0176	< 0.0134	< 0.098	< 0.074	< 0.115	< 0.088
10:32 - 11:32	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
12:14 - 13:14	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
13:24 - 14:24	0.0 ± 0.2	< 0.0153	< 0.0116	< 0.087	< 0.066	< 0.102	< 0.078
14:35 - 15:35	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
16:33 - 17:33	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
17:46 - 18:46	0.0 ± 0.2	< 0.0128	< 0.0097	< 0.074	< 0.056	< 0.086	< 0.066
18:57 - 19:57	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
Mittelwert	0.0 ± 0.2	< 0.0152	< 0.0116	< 0.086	< 0.065	< 0.101	< 0.077

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

Der Vollständigkeit halber sind in der nachfolgenden Tabelle die Einzelwerte der Schwermetallbestimmungen eingetragen. Die Spalte „Staub“ zeigt den Schwermetallanteil, welcher auf dem Staubfilter zurückgehalten wurde. In der Spalte „WF“ sind die in den Waschflaschen aufgefangenen filtergängigen Schwermetallanteile aufgeführt. Die Einzelwerte aus den beiden hintereinander geschalteten Waschflaschen stehen jeweils übereinander.

Tabelle 4.5.2: Einzelresultate Schwermetallbestimmungen

Messzeit	Pb		Zn	
	Staub [mg/m ³]	WF [mg/m ³]	Staub [mg/m ³]	WF [mg/m ³]
08:08 - 09:08	-	- -	-	- -
09:23 - 10:23	< 0.001	< 0.009 < 0.008	0.014	< 0.046 < 0.038
10:32 - 11:32	-	- -	-	- -
12:14 - 13:14	-	- -	-	- -
13:24 - 14:24	< 0.001	< 0.008 < 0.006	0.015	< 0.042 < 0.030
14:35 - 15:35	-	- -	-	- -
16:33 - 17:33	-	- -	-	- -
17:46 - 18:46	< 0.001	< 0.007 < 0.005	0.014	< 0.035 < 0.025
18:57 - 19:57	-	- -	-	- -

4.6. Emissionen von polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen

Es wurden drei PCDD/PCDF Messungen durchgeführt. Die Probenahmen dauerten jeweils rund dreieinhalb Stunden.

Tabelle 4.6.1: Konzentrationen von Dioxinen und Furanen

Messdauer		06.08.2024 08:09 – 11:35		06.08.2024 12:14 – 15:35		06.08.2024 16:33 – 20:11	
	I-TEF	Konz.	Verteilg.	Konz.	Verteilg.	Konz.	Verteilg.
Dioxin-Kongenere		[ng TEQ/m³]	[%]	[ng TEQ/m³]	[%]	[ng TEQ/m³]	[%]
2378-TetraCDD	1	< 0.00034	3.7%	< 0.00035	13.2%	< 0.00035	14.6%
12378-PentaCDD	0.5	0.00066	7.2%	< 0.00069	13.2%	< 0.00035	14.6%
123478-HexaCDD	0.1	0.00013	1.5%	< 0.00104	4.0%	< 0.00011	4.4%
123678-HexaCDD	0.1	0.00031	3.4%	< 0.00104	4.0%	< 0.00011	4.4%
123789-HexaCDD	0.1	0.00020	2.2%	< 0.00104	4.0%	< 0.00011	4.4%
1234678-HeptaCDD	0.01	0.00024	2.6%	< 0.00520	2.0%	< 0.00005	2.2%
12346789-OctaCDD	0.001	0.00003	0.4%	< 0.01559	0.6%	< 0.00002	0.7%
Furan-Kongenere							
2378-TetraCDF	0.1	0.00051	5.6%	0.00143	5.5%	0.00016	6.7%
12378-PentaCDF	0.05	0.00028	3.0%	0.00136	2.6%	0.00005	2.2%
23478-PentaCDF	0.5	0.00328	35.9%	0.00144	27.5%	0.00056	23.2%
123478-HexaCDF	0.1	0.00070	7.6%	0.00111	4.3%	< 0.00011	4.4%
123678-HexaCDF	0.1	0.00086	9.4%	0.00139	5.3%	0.00011	4.5%
123789-HexaCDF	0.1	0.00024	2.6%	< 0.00104	4.0%	< 0.00011	4.4%
234678-HexaCDF	0.1	0.00091	10.0%	0.00141	5.4%	0.00011	4.5%
1234678-HeptaCDF	0.01	0.00035	3.8%	< 0.00520	2.0%	< 0.00005	2.2%
1234789-HeptaCDF	0.01	0.00008	0.9%	< 0.00520	2.0%	< 0.00005	2.2%
12346789-OctaCDF	0.001	0.00002	0.3%	< 0.01559	0.6%	< 0.00002	0.7%
Summe PCDD /PCDF [ng TEQ/m³]		0.0091 ± 0.0027		0.0026 ± 0.0008		0.0024 ± 0.0007	
mittlere O₂-Konzentration [% V/V]		0.0		0.0		0.0	
Summe PCDD /PCDF (N) [ng TEQ/m³]		0.0071 ± 0.0021		0.0020 ± 0.0006		0.0018 ± 0.0006	
Wiederfindung Probenahmestandard							
Wiederfindung 13C12-12378-PentaCDF [%]			93	96		90	
Wiederfindung 13C12-123789-HexaCDF [%]			105	101		105	
Wiederfindung 13C12-1234789-HeptaCDF [%]			105	101		108	
				Summe PCDD /PCDF [ng TEQ/m³]		Summe PCDD /PCDF (N) [ng TEQ/m³]	
Mittelwert aller drei Messungen				0.0047 ± 0.0014		0.0036 ± 0.0011	

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.7. Emissionen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)

Die Bestimmung der PAK erfolgte in allen drei PCDD/PCDF-Proben. Fett gedruckt sind in der untenstehenden Tabelle die drei PAK für die spezifische LRV-Grenzwerte existieren.

Tabelle 4.7.1: Konzentrationen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)

	06.08.2024 08:09 – 11:35		06.08.2024 12:14 – 15:35		06.08.2024 16:33 – 20:11		Mittelwerte aller Messungen	
	Konzentration		Konzentration		Konzentration		Konzentration	
	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
Naphthalin	0.020	0.015	0.020	0.015	0.022	0.017	0.0021	0.0016
Acenaphthylen	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002
Acenaphthen	0.0001	0.0001	0.0001	< 0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Fluoren	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Phenanthren	0.0008	0.0006	0.0008	0.0006	0.0009	0.0007	0.0008	0.0006
Anthracen	< 0.0001	< 0.0001	0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0001	< 0.0001
Fluoranthen	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Pyren	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benz(a)anthracen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Chrysen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(b/j)fluoranthen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(k)fluoranthen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(a)pyren	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Dibenz(a,h/a,c)anthracen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(ghi)perylene	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Indeno(1,2,3-cd)pyren	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.8. Massenströme/Frachten

Im Sinne einer Worst-case Betrachtung werden die Schadstoff-Massenströme/-Frachten durch Multiplikation des trockenen, normierten Volumenstromes mit dem höchsten gemessenen Stundenmittelwert jedes Parameters (ohne Sauerstoffbezug) berechnet. Ist die Schadstoffkonzentration unterhalb der Nachweisgrenze (< ...) wird bei der Berechnung die Nachweisgrenze eingesetzt. Die Werte werden auf zwei geltende Ziffern gerundet.

Tabelle 4.8.1: Schadstoff-Massenströme

Parameter	Massenstrom pro Stunde
Kohlenmonoxid CO [g/h]	35
Stickoxide NO _x als NO ₂ [g/h]	28
Gasförmige organische Stoffe / Gesamtkohlenstoff als C [g/h]	1.8
Staub/Feststoffe [g/h]	0.05
Ammoniak und Ammonium- verbindungen als NH ₃ [g/h]	5.6
Gasförmige anorganische Chlorverbindungen als HCl [g/h]	< 0.018
Gasförmige anorganische Fluorverbindungen als HF [g/h]	< 0.018
Gasförmige anorganische Bromverbindungen als HBr [g/h]	< 0.018
Gasförmige Cynide als HCN [g/h]	< 0.018
Schwefeloxide als SO ₂ [g/h]	3.2
Blei als Pb [g/h]	< 0.0032
Zink als Zn [g/h]	< 0.018
Blei und Zink als Summe Pb/Zn [g/h]	< 0.021
PCDD/PCDF [µg TEQ /h]	0.00085
Naphtalin (übrige PAK) [g/h]	0.00038 (< 0.0002)

5. Vergleich mit LRV-Grenzwerten und Bewertung

5.1. Vergleich der Messwerte mit LRV-Grenzwerten

Bei Emissionsmessungen zur Überprüfung von LRV-Grenzwerten werden an dieser Stelle die Messwerte den geltenden LRV-Grenzwerten gegenübergestellt und eine kurze Bewertung aus Sicht der Messfirma gemacht.

Die vorliegenden Messungen dienen einem anderen Zweck. Es soll das Emissionsniveau der Anlage für eine Vielzahl von Parametern gezeigt werden. Für die allermeisten Parameter existieren gar keine LRV-Grenzwerte für den gemessenen Anlagentyp. Daher werden an dieser Stelle im Sinne einer Zusammenfassung für jeden Parameter jeweils der höchste gemessene Stundenmittelwert sowie der Mittelwert über die gesamte Messzeit aufgeführt. Ebenfalls aufgeführt werden die dazu gehörigen Massenströme.

Tabelle 5.1.1: Zusammenfassung Messresultate

Schadstoffe	Einheit	Messwert			
		Max 1h-Mittel		Mittel gesamte Messzeit	
Kohlenmonoxid CO	[mg/m ³]	146 35 g/h	± 15	114 27 g/h	± 11
Stickoxide / NO _x als NO ₂	[mg/m ³]	117 28 g/h	± 12	91 22 g/h	± 9
Gesamtkohlenstoff (gas- und dampfförmige org. Stoffe)	[mg/m ³]	7 1.8 g/h	± 2	6 1.6 g/h	± 2
Staub/Feststoffe	[mg/m ³]	0.3 0.05 g/h	± 0.2	0.2 0.04 g/h	± 0.2
Ammoniak + Ammoniumverb.	[mg/m ³]	23 5.6 g/h	± 3	17 4.2 g/h	± 3
Chlorverbindungen als HCl	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Fluorverbindungen als HF	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Bromverbindungen als HBr	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Gasförmige Cyanide als HCN	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Schwefeloxide als SO ₂	[mg/m ³]	13 3.3 g/h	± 2	11 2.5 g/h	± 2
Blei als Pb	[mg/m ³]	< 0.0134 < 0.0032 g/h	-	< 0.0116 < 0.0028 g/h	-
Zink als Zn	[mg/m ³]	< 0.074 < 0.018 g/h	-	< 0.065 < 0.016 g/h	-
Blei und Zink als Summe Pb/Zn	[mg/m ³]	< 0.088 < 0.021 g/h	-	< 0.077 < 0.018 g/h	-

Tabelle 5.1.2: Zusammenfassung Messresultate (Fortsetzung)

PCDD /PCDF	[ng TEQ/m ³]	0.0071 0.0016 µg TEQ/h	± 0.0021	0.0036 0.00085 µg TEQ/h	± 0.0011
PAK: - Naphtalin	[mg/m ³]	0.0017 0.0004 g/h	± 0.0005	0.0016 0.0004 g/h	± 0.0005
- Benzo(a)pyren	[mg/m ³]	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-
- Dibenz(a,h/a,c)anthracen	[mg/m ³]	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-

Sämtliche Konzentrationen sind normiert auf 0 °C / 1'013 mbar und bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 5 % V/V angegeben.

5.2. Beurteilung durch die Messfirma

Die Messungen erfolgten ohne Probleme, die Resultate sind plausibel.

Wie zu erwarten war, wurden von den meisten untersuchten Schadstoffen nur sehr geringe Mengen gefunden. Insbesondere die PCDD/F-Konzentrationen und die PAK-Konzentrationen lagen für die meisten Einzelsubstanzen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Von den untersuchten Schwermetallen Blei und Zink konnte nur staubförmiges Zink in geringen Mengen gefunden werden. Die angegebenen Schwellenwerte für Blei und Zink (< ...) werden stark durch die deutlich höheren Bestimmungsgrenzen für filtergängiges Blei und Zink bestimmt.

Die Konzentrationen von Kohlenmonoxid und Stickoxiden waren gegenüber den Messungen vom 27.02.2024 erhöht, allerdings noch immer deutlich unter den Grenzwerten für gasbetriebene BHKWs.

Bei den mittels anreichernden Probenahmen bestimmten Parametern war Konzentrationsniveau von Ammoniak deutlich höher als im Februar 2024, dafür lag die Schwefeloxid-Konzentration sehr viel tiefer.

Die massgebliche Beurteilung der Messresultate obliegt der zuständigen kantonalen Behörde.

Hüntwangen 02.09.2024

NoxaQuant GmbH



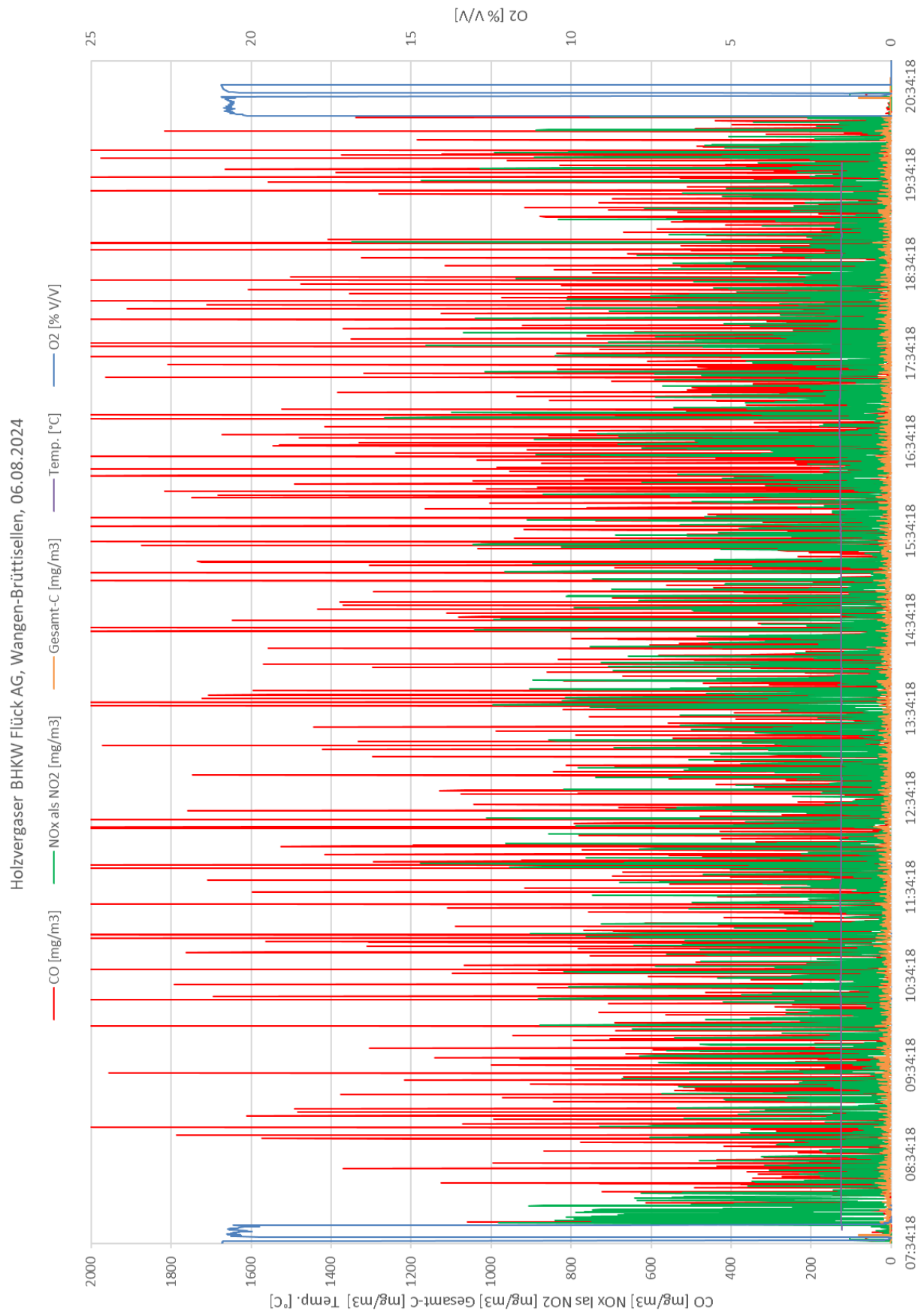
Christian Sprecher
Messverantwortlicher

Anhang und Beilagen

Anhang 1: Messtrends

Beilage 1: technisches Datenblatt HKW50

6. Anhang 1: Messtrends





NoxaQuant GmbH
Dorfstrasse 38
8194 Hüntwangen

Flück AG Betrieb 2, Wangen bei Brüttisellen

Erweiterte Emissionsmessungen beim Betrieb mit Restholz aus dem Abbundbetrieb

Messauftrag: Um den Betrieb des Holzvergaser-BHKW mit Restholz aus dem Abbundwerk bewilligungsfähig zu machen, sind vertiefte Abklärungen und Emissionsmessungen nötig. Die vorliegenden Messungen erfolgten im Betrieb mit Restholz aus dem Abbundbetrieb, was dem Brennstoff entspricht, welcher zukünftig im Regelbetrieb des BHKW eingesetzt werden soll.

Messdatum: 06. August 2024

Auftraggeber:	Flück AG Betrieb 2	Anlagestandort:	Flück AG Betrieb 2
	Pünten 6		Pünten 6
	8602 Wangen-Brüttisellen		8602 Wangen-Brüttisellen

Seitenzahl: 19

Beilagen: Technisches Datenblatt HKW50

Verteiler: Auftraggeber
AWEL

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung Emissionsmessung nach LRV.....	3
1. Beteiligte Institutionen	4
1.1. Auftraggeber und zuständige Behörde	4
1.2. Messfirma und Analysenlabors	4
2. Angaben zur Anlage	5
2.1. Anlagen- und Prozessbeschreibung	5
2.2. Messstellen.....	5
3. Grundlagen.....	6
3.1. Messparameter und verwendete Geräte.....	6
3.2. Messprogramm	7
3.3. Messdatum, Wetter, Anlagen- und Betriebszustand.....	7
3.4. Prüfgase.....	8
4. Messungen zur Überprüfung der geltenden Emissionsgrenzwerte	8
4.1. Allgemeine Bemerkungen	8
4.2. Abgasvolumenstrom	8
4.3. Emissionen von Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Gesamt-C.....	9
4.4. Emissionen von Staub, Ammoniak, Chlor-/Fluorverbindungen und Schwefeloxiden	10
4.5. Emissionen von Schwermetallen.....	12
4.6. Emissionen von polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen	14
4.7. Emissionen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK).....	15
4.8. Massenströme/Frachten	16
5. Vergleich mit LRV-Grenzwerten und Bewertung	17
5.1. Vergleich der Messwerte mit LRV-Grenzwerten.....	17
5.2. Beurteilung durch die Messfirma	18
6. Anhang 1: Messtrends	19

Zusammenfassung Emissionsmessung nach LRV

Tabelle 0.1: Übersicht Messresultate

Schadstoffe	Einheit	Messwert			
		Max 1h-Mittel		Mittel gesamte Messzeit	
Kohlenmonoxid CO	[mg/m ³]	146 35 g/h	± 15	114 27 g/h	± 11
Stickoxide / NO _x als NO ₂	[mg/m ³]	117 28 g/h	± 12	91 22 g/h	± 9
Gesamtkohlenstoff (gas- und dampfförmige org. Stoffe)	[mg/m ³]	7 1.8 g/h	± 2	6 1.6 g/h	± 2
Staub/Feststoffe	[mg/m ³]	0.3 0.05 g/h	± 0.2	0.2 0.04 g/h	± 0.2
Ammoniak + Ammoniumverb.	[mg/m ³]	23 5.6 g/h	± 3	17 4.2 g/h	± 3
Chlorverbindungen als HCl	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Fluorverbindungen als HF	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Bromverbindungen als HBr	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Gasförmige Cyanide als HCN	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Schwefeloxide als SO ₂	[mg/m ³]	13 3.3 g/h	± 2	11 2.5 g/h	± 2
Blei als Pb	[mg/m ³]	< 0.0134 < 0.0032 g/h	-	< 0.0116 < 0.0028 g/h	-
Zink als Zn	[mg/m ³]	< 0.074 < 0.018 g/h	-	< 0.065 < 0.016 g/h	-
Blei und Zink als Summe Pb/Zn	[mg/m ³]	< 0.088 < 0.021 g/h	-	< 0.077 < 0.018 g/h	-

Sämtliche Konzentrationen sind normiert auf 0 °C / 1'013 mbar und bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 5 % V/V angegeben.

1. Beteiligte Institutionen

1.1. Auftraggeber und zuständige Behörde

Auftraggeber	Flück AG Betrieb 2 Pünten 6 8602 Wangen-Brüttisellen
Kontaktpersonen	Hans Flück, Eigentümer 044 325 10 10 flueck@flueck.ag Manuel Peter, Projektleiter 079 258 42 34 peter@flueck.ag
Wissenschaftl. Begleitung	FHNW Institut für Biomasse und Ressourceneffizienz IBRE Klosterzelgstrasse 2 5210 Windisch
Kontaktperson	Prof. Dr. Petar Mandaliev 076 411 48 81 petar.mandaliev@fhnw.ch
Zuständige Amtsstelle	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) Stampfenbachstrasse 12 8090 Zürich
Kontaktpersonen	Beat Gloor, Sachbearbeiter Industrie / Gewerbe 043 259 43 47 beat.gloor@bd.zh.ch

1.2. Messfirma und Analysenlabors

Messfirma	NoxaQuant GmbH Dorfstrasse 38 8194 Hüntwangen 043 536 67 06	Durch QSEM zugelassen für die Messkategorien 1-8
Messverantwortlicher	Christian Sprecher, Chemiker FH csp@noxaquant.ch	Messung, Auswertung und Bericht
Analysenlabore	NIUTEC AG Labor für Industrie und Umwelt Else-Züblin Str. 11 8404 Winterthur mas analytical solutions gmbh Wilhelm-Schickard-Strasse 5 D-48149 Münster	akkreditiert nach EN 17025 akkreditiert nach EN 17025

2. Angaben zur Anlage

2.1. Anlagen- und Prozessbeschreibung

Anlagebeschreibung	
Anlage	Holz-Heizkraftwerk HKW50 bestehend aus: Holzgaswerk HGW200 und Blockheizkraftwerk HGM50
Hersteller	LiPRO Energy GmbH & Co. KG D-26203 Wardenburg
Holzgaswerk HGW200	
Baujahr	2023
Brennstoffwärmeleistung	197 kW
Holzgasleistung	174 kW
Blockheizkraftwerk HGM50	
Elektrische Leistung	50 kW (brutto 53 kW, Eigenbedarf 3 kW)
Thermische Leistung	97 kW
Brennstoff	Holzgas aus verleimtem Konstruktionsholz
Motor	AGCO Power
Typ	Gas-Ottomotor, 6 Zylinder 8.4 L Hubraum
Serien Nr.	-
Baujahr	2023
Generator	Leroy-Somer
Typ	LSA 44.3
Serien Nr.	-
Baujahr	2023
Zusatzinstallationen	Katalysator, Wärmetauscher
Messstelle	100 mm-Messstutzen
Eignung gemäss Messempfehlung	Geeignet (Platz knapp für den geforderten Messumfang)
Betriebsweise	Ganzjahresbetrieb

Für eine detailliertere Beschreibung des Prozesses und der Anlagenkomponenten sei an dieser Stelle auf das technische Datenblatt (beiliegend) verwiesen.

2.2. Messstellen

Messstelle Reingas

Position in der Anlage	Am Kamin
Ausgestaltung	Auf dem Flachdach über der Anlage Ebenerdig zugänglich durch die Holzbearbeitungshalle
Messöffnungen	Stutzen 100 mm
Kanalquerschnitt an Messstelle	rund d= 0.13 m
An- / Abströmstrecke;	ca. 2 m / 5 m
Eignung	Strömungstechnisch für Probenahmen aller Art geeignet. Platzverhältnisse beengt

3. Grundlagen

3.1. Messparameter und verwendete Geräte

Tabelle 3.1.1 Hilfsparameter

Hilfsparameter	Einheit	Methode / Messgerät	Geräte-Nr.
Sauerstoff O ₂ (Reingas)	[mg/m ³]	Paramagnetismus, Horiba PG-350E Messbereich: 0- 25 % V/V	NQG.132
Rauchgastemperatur	[°C]	Thermoelement, MRU MFplus	NQG.117
Wassergehalt H ₂ O	[% V/V]	Gravimetrisch über abgesaugte Luftmenge	
Strömungsgeschwindigkeit (v)	[m/s]	Prandtl-Staurohr, MRU MFplus	NQG.129
Kamindurchmesser (d)	[m]	Metermass	-
Volumenstrom ($\dot{V}$)	[m ³ /h]	berechnet aus v und d	-

Tabelle 3.1.2: Schadstoffe

Schadstoffe	Einheit	Methode / Messgerät	Geräte-Nr.
Kohlenmonoxid CO (Reingas)	[mg/m ³]	NDIR, Horiba PG-350E Messbereich: 0- 500 ppm	NQG.132
Stickoxide / NO _x als NO ₂ (Reingas)	[mg/m ³]	Chemilumineszenz, Horiba PG-350E Messbereich: 0- 250 ppm	NQG.132
Gesamtkohlenstoff (gas- und dampfförmige org. Stoffe)	[mg/m ³]	Flammenionisationsdetektor, TESTA iFID mobile Messbereich: 0- 100 ppm	NQG.123
Staub/Feststoffe	[mg/m ³]	Sonde/Planfilter Gothe; Pumpstand Digitel	NQG.112
Ammoniak + Ammoniumverb.	[mg/m ³]	Sonde Gothe, GWF, Pumpstand Koneth	NQG.43
Chlorverbindungen als HCl	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Fluorverbindungen als HF	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Schwefeloxide als SO ₂	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Quecksilber als Hg	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Cadmium als Cd	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
Blei und Zink als Summe Pb/Zn	[mg/m ³]	Verteiler an Staubsonde, GWF	-
PCDD /PCDF	[ng TEQ/m ³]	Gekühltes Absaugrohr, Koneth Pumpstand	NQG.42

3.2. Messprogramm

Der Messumfang richtet sich nach dem von AWEL und FHNW bestätigten Angebot 24.007 vom 24.01.2024:

Messparameter	Messdauer	Messweise
O ₂ , CO, NO _x , Gesamt-C,	3 x 3h	Kontinuierlich, direkt anzeigend
Staub,Pb, Zn (staubgebunden)	9x 1h	Anreichernd, Glasfaserfilter
Pb , Zn (filtergängig), SO ₂ , HCl, HBr, HCN, NH ₃	9x 1h	Anreichernd, Gaswaschflaschen
PCDD/PCDF, PAK	3x 3h	Anreichernd, gekühltes Absaugrohr + Festbettabsorber

Gemäss Vorschlag H. Matzke wurden von den Pb, Zn, SO₂, HCl, HBr, HCN und NH₃-Proben jeweils eine Probe pro 3 h analysiert (insgesamt je 3) die übrigen 6 Proben wurden zurückgestellt und stehen für allfällige nachträgliche Analysen noch bis zum 31.12.2024 zur Verfügung.

3.3. Messdatum, Wetter, Anlagen- und Betriebszustand

Messdatum	06. August 2024
Wetter	Sonnig und heiss
Aussentemperatur	19 - 35 °C
Luftdruck	963 mbar
Anlagenzustand	Normalzustand
Betriebszustand	Betrieb mit Restholz aus dem Abbundbetrieb. Eine Mischprobe des Brennstoffs liegt bei NoxaQuant.
(allfällige Störungen)	Die Anlage wurde vor Beginn des Messbetriebs per Fernwartung durch Lipro überprüft und optimal eingestellt. Detailinformationen über diese Einstellungen sind bei Lipro zu beziehen. Keine Betriebsstörungen

Die Angaben über den Anlagen- und Betriebszustand stützen sich auf die Aussagen des Anlagebetreibers.

3.4. Prüfgase

Vor und nach der Messung werden die Messgeräte für kontinuierliche Messungen jeweils mit Prüfgasen beaufschlagt. Dies ermöglicht eine genaue Kalibration der Signale unter Berücksichtigung der Signaldrift. Folgenden Prüfgase wurden zur Kalibration der Messgeräte verwendet.

Tabelle 3.4.1 Prüfgase

Typ	Hersteller	Komponenten	Träger	Genauigkeit
Gasgemisch	Messer	O ₂ 00.0 % CO 50.0 ppm CO ₂ 11.99 % NO 50.3 ppm	N ₂	± 2 % rel.
Gasgemisch	Messer	C ₃ H ₈ 50.5 ppm	synth. Luft	± 2 % rel.
Umgebungsluft	-	O ₂ 20.9 % CO 00.0 ppm CO ₂ 00.04 % NO 00.0 ppm	-	-

4. Messungen zur Überprüfung der geltenden Emissionsgrenzwerte

4.1. Allgemeine Bemerkungen

Alle Messresultate werden gemäss LRV bezogen auf trockenes Gas im Normzustand (0 °C, 1013 mbar) angegeben. Zudem ist notiert, ob die Werte auf 5 % Sauerstoff bezogen sind.

4.2. Abgasvolumenstrom

Die Netzmessung der Abgasgeschwindigkeit wurde zu Beginn der Messungen noch vor dem Einführen aller anderen Sonden mit dem Prantl- Staurohr durchgeführt.

Während den Messungen konnte das Staurohr aus Platzmangel nicht im Abgaskanal belassen werden.

Tabelle 4.2.1 Resultate Bestimmung Volumenstrom

Messung	v [m/s]	T [°C]	F [%]	V _R [m ³ /h]	V _{n,f} [m ³ /h]	V _{n,tr} [m ³ /h]
	7.3 ± 0.7	125 ± 2	17.4 ± 1.7	349 ± 64	227 ± 42	181 ± 33

Für die Berechnung der Schadstoff-Massenströme wird der normierte trockene Abluftvolumenstrom (V_{n,tr}) benutzt.

4.3. Emissionen von Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Gesamt-C

Die Resultate der kontinuierlichen Messungen von Gesamtkohlenstoff, Stickoxiden NO_x als NO₂, Kohlenmonoxid CO und Sauerstoff O₂ sind in der untenstehenden Tabelle aufgeführt. Die Messwerte sind als Stundenmittelwerte dargestellt. Weiter ist ein Mittelwert über die gesamte Messzeit von 11 Stunden angegeben.

Für alle Parameter erfolgen die Angaben mit und ohne Sauerstoffbezug. Der Emissionsverlauf ohne Sauerstoffbezug ist in Anhang 1 grafisch dargestellt.

Tabelle 4.3.1: Resultate Emissionen von Stickoxiden, Kohlenmonoxid, Gesamt-C

M	Zeit	O ₂	CO ₂	CO		NO _x als NO ₂		Ges-C	
		[%]	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
1)	08:08 - 09:08	0.0 ± 0.2	21.0 ± 0.2	116 ± 12	88 ± 9	88 ± 9	67 ± 7	9 ± 2	6 ± 2
2)	09:08 - 10:08	0.0 ± 0.2	21.1 ± 0.2	127 ± 13	96 ± 10	105 ± 11	79 ± 8	10 ± 2	7 ± 2
3)	10:08 - 11:08	0.0 ± 0.2	21.2 ± 0.2	170 ± 17	128 ± 13	129 ± 13	98 ± 10	9 ± 2	7 ± 2
4)	11:08 - 12:08	0.0 ± 0.2	21.2 ± 0.2	139 ± 14	105 ± 11	117 ± 12	88 ± 9	9 ± 2	7 ± 2
5)	12:08 - 13:08	0.0 ± 0.2	21.4 ± 0.2	122 ± 12	92 ± 9	112 ± 11	85 ± 9	8 ± 2	6 ± 2
6)	13:08 - 14:08	0.0 ± 0.2	21.5 ± 0.2	146 ± 15	110 ± 11	155 ± 16	117 ± 12	8 ± 2	6 ± 2
7)	14:08 - 15:08	0.0 ± 0.2	21.5 ± 0.2	144 ± 14	109 ± 11	136 ± 14	102 ± 10	9 ± 2	7 ± 2
8)	15:08 - 16:08	0.0 ± 0.2	21.5 ± 0.2	164 ± 16	124 ± 12	121 ± 12	91 ± 9	8 ± 2	6 ± 2
9)	16:08 - 17:08	0.0 ± 0.2	21.5 ± 0.2	194 ± 19	146 ± 15	129 ± 13	97 ± 10	8 ± 2	6 ± 2
10)	17:08 - 18:08	0.0 ± 0.2	21.5 ± 0.2	185 ± 19	140 ± 14	129 ± 13	98 ± 10	8 ± 2	6 ± 2
11)	18:08 - 19:08	0.0 ± 0.2	21.4 ± 0.2	159 ± 16	120 ± 12	109 ± 11	82 ± 8	8 ± 2	6 ± 2
MW	08:08-19:08	0.0 ± 0.2	21.3 ± 0.2	151 ± 15	114 ± 11	121 ± 12	91 ± 9	9 ± 2	6 ± 2

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.4. Emissionen von Staub, Ammoniak, Halogenverbindungen, Cyaniden und Schwefeloxiden

In den folgenden Tabellen finden sich die Messwerte für die anreichernden Messungen von Staub, Ammoniak, Chlor- / Fluor- / Bromverbindungen, Cyaniden und Schwefeloxiden.

Es wurden insgesamt 9 Staubbmessungen durchgeführt und ausgewertet. Für Ammoniak, Chlor-/Fluorverbindungen und Schwefeloxide wurden 9 Probenahmen durchgeführt, es wurden jedoch nur 3 Probensets analysiert und ausgewertet. Die zurückgestellten Proben sind noch bis 31.12.2024 vorrätig.

Tabelle 4.4.1: Mittelwerte für Staub, Ammoniak, Schwefeloxide

Messzeit	O ₂	Staub		Ammoniak		SO ₂	
	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
08:08 - 09:08	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.2	-	-	-	-
09:23 - 10:23	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	17 ± 2	13 ± 2	18 ± 3	13 ± 2
10:32 - 11:32	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	-	-	-	-
12:14 - 13:14	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.2	-	-	-	-
13:24 - 14:24	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	21 ± 3	16 ± 2	13 ± 2	10 ± 2
14:35 - 15:35	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	-	-	-	-
16:33 - 17:33	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	-	-	-	-
17:46 - 18:46	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	31 ± 5	23 ± 3	12 ± 2	9 ± 1
18:57 - 19:57	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	-	-	-	-
Mittelwert	0.0 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.2	23 ± 3	17 ± 3	14 ± 2	11 ± 2

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

Tabelle 4.4.2: Mittelwerte für HCl, HF HBr und HCN

Messzeit	O ₂	HCl		HF		HBr		HCN	
	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
08:08 - 09:08	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
09:23 - 10:23	0.0 ± 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
10:32 - 11:32	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
12:14 - 13:14	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
13:24 - 14:24	0.0 ± 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
14:35 - 15:35	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
16:33 - 17:33	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
17:46 - 18:46	0.0 ± 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
18:57 - 19:57	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
Mittelwert	0.0 ± 0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.5. Emissionen von Schwermetallen

Die Konzentrationen von Schwermetallen finden sich in der Tabelle 4.5.1. In der letzten Spalte sind die Konzentrationen für Blei und Zink addiert, wie für den Vergleich mit dem LRV-Grenzwert benötigt.

Tabelle 4.5.1: Stundenmittelwerte Schwermetalle, summarisch

Messzeit	O ₂	Pb		Zn		Pb + Zn	
	[%]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
08:08 - 09:08	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
09:23 - 10:23	0.0 ± 0.2	< 0.0176	< 0.0134	< 0.098	< 0.074	< 0.115	< 0.088
10:32 - 11:32	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
12:14 - 13:14	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
13:24 - 14:24	0.0 ± 0.2	< 0.0153	< 0.0116	< 0.087	< 0.066	< 0.102	< 0.078
14:35 - 15:35	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
16:33 - 17:33	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
17:46 - 18:46	0.0 ± 0.2	< 0.0128	< 0.0097	< 0.074	< 0.056	< 0.086	< 0.066
18:57 - 19:57	0.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-
Mittelwert	0.0 ± 0.2	< 0.0152	< 0.0116	< 0.086	< 0.065	< 0.101	< 0.077

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

Der Vollständigkeit halber sind in der nachfolgenden Tabelle die Einzelwerte der Schwermetallbestimmungen eingetragen. Die Spalte „Staub“ zeigt den Schwermetallanteil, welcher auf dem Staubfilter zurückgehalten wurde. In der Spalte „WF“ sind die in den Waschflaschen aufgefangenen filtergängigen Schwermetallanteile aufgeführt. Die Einzelwerte aus den beiden hintereinander geschalteten Waschflaschen stehen jeweils übereinander.

Tabelle 4.5.2: Einzelresultate Schwermetallbestimmungen

Messzeit	Pb		Zn	
	Staub [mg/m ³]	WF [mg/m ³]	Staub [mg/m ³]	WF [mg/m ³]
08:08 - 09:08	-	- -	-	- -
09:23 - 10:23	< 0.001	< 0.009 < 0.008	0.014	< 0.046 < 0.038
10:32 - 11:32	-	- -	-	- -
12:14 - 13:14	-	- -	-	- -
13:24 - 14:24	< 0.001	< 0.008 < 0.006	0.015	< 0.042 < 0.030
14:35 - 15:35	-	- -	-	- -
16:33 - 17:33	-	- -	-	- -
17:46 - 18:46	< 0.001	< 0.007 < 0.005	0.014	< 0.035 < 0.025
18:57 - 19:57	-	- -	-	- -

4.6. Emissionen von polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen

Es wurden drei PCDD/PCDF Messungen durchgeführt. Die Probenahmen dauerten jeweils rund dreieinhalb Stunden.

Tabelle 4.6.1: Konzentrationen von Dioxinen und Furanen

Messdauer		06.08.2024 08:09 – 11:35		06.08.2024 12:14 – 15:35		06.08.2024 16:33 – 20:11	
	I-TEF	Konz.	Verteilg.	Konz.	Verteilg.	Konz.	Verteilg.
Dioxin-Kongenere		[ng TEQ/m³]	[%]	[ng TEQ/m³]	[%]	[ng TEQ/m³]	[%]
2378-TetraCDD	1	< 0.00034	3.7%	< 0.00035	13.2%	< 0.00035	14.6%
12378-PentaCDD	0.5	0.00066	7.2%	< 0.00069	13.2%	< 0.00035	14.6%
123478-HexaCDD	0.1	0.00013	1.5%	< 0.00104	4.0%	< 0.00011	4.4%
123678-HexaCDD	0.1	0.00031	3.4%	< 0.00104	4.0%	< 0.00011	4.4%
123789-HexaCDD	0.1	0.00020	2.2%	< 0.00104	4.0%	< 0.00011	4.4%
1234678-HeptaCDD	0.01	0.00024	2.6%	< 0.00520	2.0%	< 0.00005	2.2%
12346789-OctaCDD	0.001	0.00003	0.4%	< 0.01559	0.6%	< 0.00002	0.7%
Furan-Kongenere							
2378-TetraCDF	0.1	0.00051	5.6%	0.00143	5.5%	0.00016	6.7%
12378-PentaCDF	0.05	0.00028	3.0%	0.00136	2.6%	0.00005	2.2%
23478-PentaCDF	0.5	0.00328	35.9%	0.00144	27.5%	0.00056	23.2%
123478-HexaCDF	0.1	0.00070	7.6%	0.00111	4.3%	< 0.00011	4.4%
123678-HexaCDF	0.1	0.00086	9.4%	0.00139	5.3%	0.00011	4.5%
123789-HexaCDF	0.1	0.00024	2.6%	< 0.00104	4.0%	< 0.00011	4.4%
234678-HexaCDF	0.1	0.00091	10.0%	0.00141	5.4%	0.00011	4.5%
1234678-HeptaCDF	0.01	0.00035	3.8%	< 0.00520	2.0%	< 0.00005	2.2%
1234789-HeptaCDF	0.01	0.00008	0.9%	< 0.00520	2.0%	< 0.00005	2.2%
12346789-OctaCDF	0.001	0.00002	0.3%	< 0.01559	0.6%	< 0.00002	0.7%
Summe PCDD /PCDF [ng TEQ/m³]		0.0091 ± 0.0027		0.0026 ± 0.0008		0.0024 ± 0.0007	
mittlere O₂-Konzentration [% V/V]		0.0		0.0		0.0	
Summe PCDD /PCDF (N) [ng TEQ/m³]		0.0071 ± 0.0021		0.0020 ± 0.0006		0.0018 ± 0.0006	
Wiederfindung Probenahmestandard							
Wiederfindung 13C12-12378-PentaCDF [%]			93	96		90	
Wiederfindung 13C12-123789-HexaCDF [%]			105	101		105	
Wiederfindung 13C12-1234789-HeptaCDF [%]			105	101		108	
				Summe PCDD /PCDF [ng TEQ/m³]		Summe PCDD /PCDF (N) [ng TEQ/m³]	
Mittelwert aller drei Messungen				0.0047 ± 0.0014		0.0036 ± 0.0011	

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.7. Emissionen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)

Die Bestimmung der PAK erfolgte in allen drei PCDD/PCDF-Proben. Fett gedruckt sind in der untenstehenden Tabelle die drei PAK für die spezifische LRV-Grenzwerte existieren.

Tabelle 4.7.1: Konzentrationen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)

	06.08.2024 08:09 – 11:35		06.08.2024 12:14 – 15:35		06.08.2024 16:33 – 20:11		Mittelwerte aller Messungen	
	Konzentration		Konzentration		Konzentration		Konzentration	
	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]	[mg/m ³]	(N) [mg/m ³]
Naphthalin	0.020	0.015	0.020	0.015	0.022	0.017	0.0021	0.0016
Acenaphthylen	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002
Acenaphthen	0.0001	0.0001	0.0001	< 0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Fluoren	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Phenanthren	0.0008	0.0006	0.0008	0.0006	0.0009	0.0007	0.0008	0.0006
Anthracen	< 0.0001	< 0.0001	0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0001	< 0.0001
Fluoranthen	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Pyren	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benz(a)anthracen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Chrysen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(b/j)fluoranthen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(k)fluoranthen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(a)pyren	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Dibenz(a,h/a,c)anthracen	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Benzo(ghi)perylene	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Indeno(1,2,3-cd)pyren	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

(N) auf 5 % Sauerstoff bezogen

4.8. Massenströme/Frachten

Im Sinne einer Worst-case Betrachtung werden die Schadstoff-Massenströme/-Frachten durch Multiplikation des trockenen, normierten Volumenstromes mit dem höchsten gemessenen Stundenmittelwert jedes Parameters (ohne Sauerstoffbezug) berechnet. Ist die Schadstoffkonzentration unterhalb der Nachweisgrenze (< ...) wird bei der Berechnung die Nachweisgrenze eingesetzt. Die Werte werden auf zwei geltende Ziffern gerundet.

Tabelle 4.8.1: Schadstoff-Massenströme

Parameter	Massenstrom pro Stunde
Kohlenmonoxid CO [g/h]	35
Stickoxide NO _x als NO ₂ [g/h]	28
Gasförmige organische Stoffe / Gesamtkohlenstoff als C [g/h]	1.8
Staub/Feststoffe [g/h]	0.05
Ammoniak und Ammonium- verbindungen als NH ₃ [g/h]	5.6
Gasförmige anorganische Chlorverbindungen als HCl [g/h]	< 0.018
Gasförmige anorganische Fluorverbindungen als HF [g/h]	< 0.018
Gasförmige anorganische Bromverbindungen als HBr [g/h]	< 0.018
Gasförmige Cynide als HCN [g/h]	< 0.018
Schwefeloxide als SO ₂ [g/h]	3.2
Blei als Pb [g/h]	< 0.0032
Zink als Zn [g/h]	< 0.018
Blei und Zink als Summe Pb/Zn [g/h]	< 0.021
PCDD/PCDF [µg TEQ /h]	0.00085
Naphtalin (übrige PAK) [g/h]	0.00038 (< 0.0002)

5. Vergleich mit LRV-Grenzwerten und Bewertung

5.1. Vergleich der Messwerte mit LRV-Grenzwerten

Bei Emissionsmessungen zur Überprüfung von LRV-Grenzwerten werden an dieser Stelle die Messwerte den geltenden LRV-Grenzwerten gegenübergestellt und eine kurze Bewertung aus Sicht der Messfirma gemacht.

Die vorliegenden Messungen dienen einem anderen Zweck. Es soll das Emissionsniveau der Anlage für eine Vielzahl von Parametern gezeigt werden. Für die allermeisten Parameter existieren gar keine LRV-Grenzwerte für den gemessenen Anlagentyp. Daher werden an dieser Stelle im Sinne einer Zusammenfassung für jeden Parameter jeweils der höchste gemessene Stundenmittelwert sowie der Mittelwert über die gesamte Messzeit aufgeführt. Ebenfalls aufgeführt werden die dazu gehörigen Massenströme.

Tabelle 5.1.1: Zusammenfassung Messresultate

Schadstoffe	Einheit	Messwert			
		Max 1h-Mittel		Mittel gesamte Messzeit	
Kohlenmonoxid CO	[mg/m ³]	146 35 g/h	± 15	114 27 g/h	± 11
Stickoxide / NO _x als NO ₂	[mg/m ³]	117 28 g/h	± 12	91 22 g/h	± 9
Gesamtkohlenstoff (gas- und dampfförmige org. Stoffe)	[mg/m ³]	7 1.8 g/h	± 2	6 1.6 g/h	± 2
Staub/Feststoffe	[mg/m ³]	0.3 0.05 g/h	± 0.2	0.2 0.04 g/h	± 0.2
Ammoniak + Ammoniumverb.	[mg/m ³]	23 5.6 g/h	± 3	17 4.2 g/h	± 3
Chlorverbindungen als HCl	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Fluorverbindungen als HF	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Bromverbindungen als HBr	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Gasförmige Cyanide als HCN	[mg/m ³]	< 0.1 < 0.018 g/h	-	< 0.1 < 0.018 g/h	-
Schwefeloxide als SO ₂	[mg/m ³]	13 3.3 g/h	± 2	11 2.5 g/h	± 2
Blei als Pb	[mg/m ³]	< 0.0134 < 0.0032 g/h	-	< 0.0116 < 0.0028 g/h	-
Zink als Zn	[mg/m ³]	< 0.074 < 0.018 g/h	-	< 0.065 < 0.016 g/h	-
Blei und Zink als Summe Pb/Zn	[mg/m ³]	< 0.088 < 0.021 g/h	-	< 0.077 < 0.018 g/h	-

Tabelle 5.1.2: Zusammenfassung Messresultate (Fortsetzung)

PCDD /PCDF	[ng TEQ/m³]	0.0071 0.0016 µg TEQ/h	± 0.0021	0.0036 0.00085 µg TEQ/h	± 0.0011
PAK:					
- Naphtalin	[mg/m³]	0.0017 0.0004 g/h	± 0.0005	0.0016 0.0004 g/h	± 0.0005
- Benzo(a)pyren	[mg/m³]	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-
- Dibenz(a,h/a,c)anthracen	[mg/m³]	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-	< 0.0001 < 0.00002 g/h	-

Sämtliche Konzentrationen sind normiert auf 0 °C / 1'013 mbar und bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 5 % V/V angegeben.

5.2. Beurteilung durch die Messfirma

Die Messungen erfolgten ohne Probleme, die Resultate sind plausibel.

Wie zu erwarten war, wurden von den meisten untersuchten Schadstoffen nur sehr geringe Mengen gefunden. Insbesondere die PCDD/F-Konzentrationen und die PAK-Konzentrationen lagen für die meisten Einzelsubstanzen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Von den untersuchten Schwermetallen Blei und Zink konnte nur staubförmiges Zink in geringen Mengen gefunden werden. Die angegebenen Schwellenwerte für Blei und Zink (< ...) werden stark durch die deutlich höheren Bestimmungsgrenzen für filtergängiges Blei und Zink bestimmt.

Die Konzentrationen von Kohlenmonoxid und Stickoxiden waren gegenüber den Messungen vom 27.02.2024 erhöht, allerdings noch immer deutlich unter den Grenzwerten für gasbetriebene BHKWs.

Bei den mittels anreichernden Probenahmen bestimmten Parametern war Konzentrationsniveau von Ammoniak deutlich höher als im Februar 2024, dafür lag die Schwefeloxid-Konzentration sehr viel tiefer.

Die massgebliche Beurteilung der Messresultate obliegt der zuständigen kantonalen Behörde.

Grund für die Berichtsversion 2024.08.06.A.korr1: Es wurde festgestellt, dass in der Anlagen- und Prozessbeschreibung (Kapitel 2.1, Seite 5) eine falsche Holzqualität aufgeführt war. Dies war ein Überbleibsel aus dem Bericht 2024.02.27.G als Messungen unter Verwendung Holzgas aus naturbelassenem Holz durchgeführt wurden.

Hüntwangen 15.02.2025

NoxaQuant GmbH



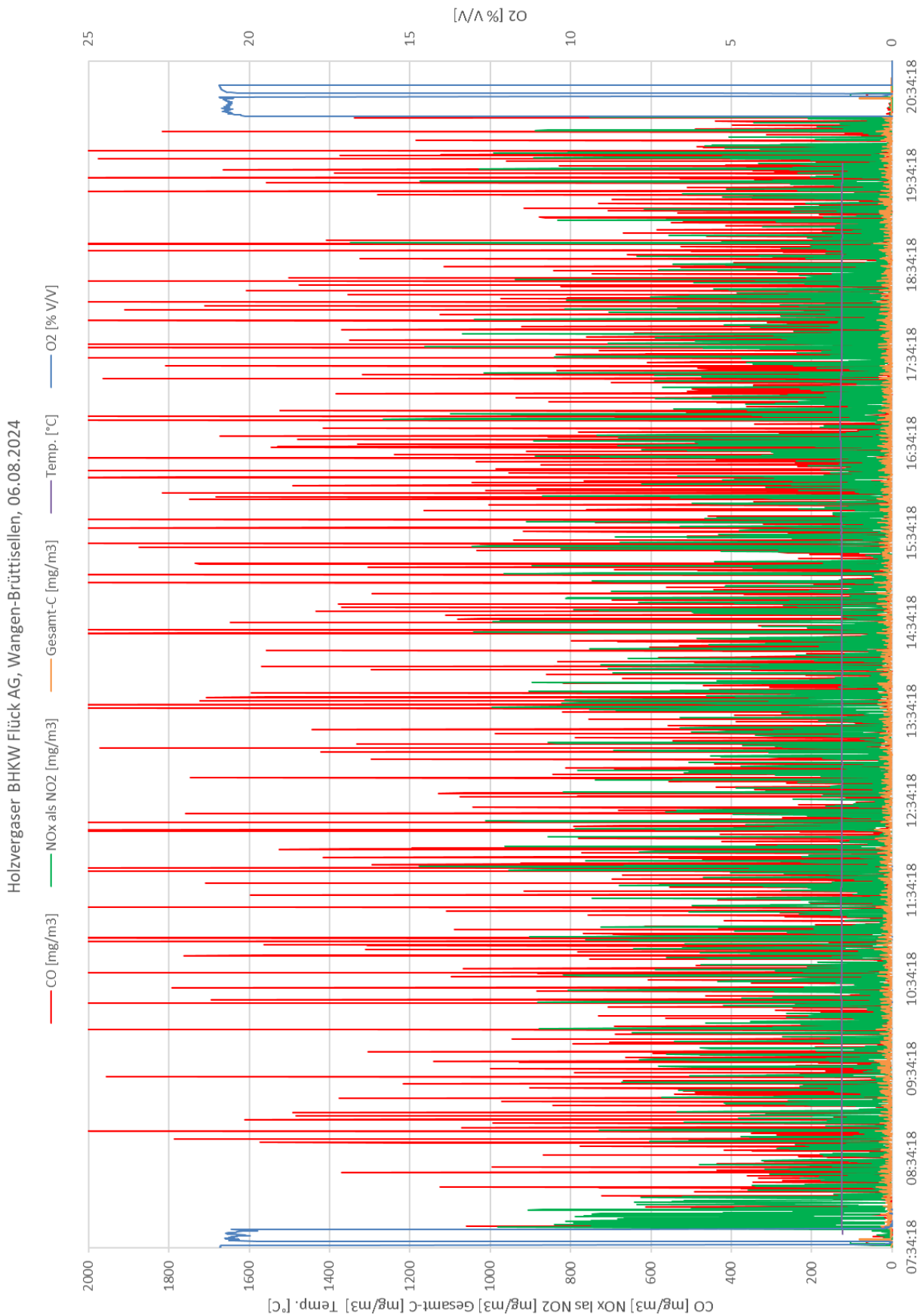
Christian Sprecher
Messverantwortlicher

Anhang und Beilagen

Anhang 1: Messtrends

Beilage 1: technisches Datenblatt HKW50

6. Anhang 1: Messtrends



Technische Beschreibung

LiPRO Holz-Heizkraftwerk HKW50

bestehend aus

- Holzgaswerk HGW200 und
- Blockheizkraftwerk HGM50



Hersteller: **LiPRO Energy GmbH & Co. KG**

Adresse: Ostkamp 22
D-26203 Wardenburg

Telefon: +49 (0) 4484 20 23 6 – 0
Fax: +49 (0) 4484 20 23 6 – 99
E-Mail: info@lipro-energy.de
Web: www.lipro-energy.de

Abbildung ähnlich, technische Änderungen vorbehalten

LiPRO HKW50 (Holz-Heizkraftwerk)

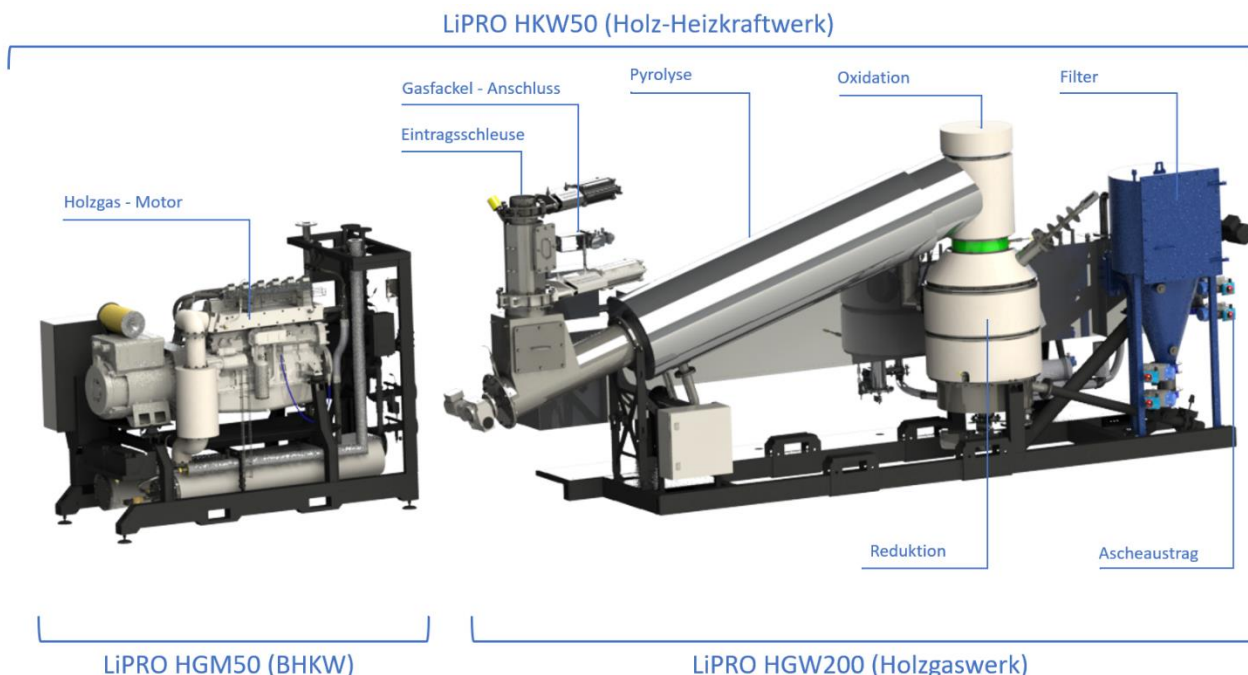


Abbildung ähnlich, technische Änderungen vorbehalten

Das **LiPRO HKW 50** zur Gewinnung von Strom und Wärme aus Holz, ist in die nachfolgenden Module zu unterscheiden:

1. LiPRO HGW200 (Holzgaswerk)

Mehrstufiges Holz-Vergasungsmodul: Bei diesem werden die einzelnen Prozessstufen der Holzvergasung, die Pyrolyse, die Oxidation und die Reduktion, verfahrenstechnisch voneinander getrennt, um die prozessspezifischen Bedingungen gezielt beeinflussen zu können. Hierdurch wird eine stabile Prozessführung gewährleistet und ein sauberes Holzgas erzeugt.

Das HGW200 Modul besteht im Wesentlichen aus:

- Brennstoff-Eintragsschleuse
- Dreistufige-Vergasungseinheit (für die Prozessbereiche Pyrolyse, Oxidation und Reduktion)
- Gas-Fackel mit automatischer Zündung und Temperatur Überwachung
- Trockenfilter-Anlage mit pneumatischer differenzdruckgesteuerter Abreinigung, Gewebefilter und Filterheizung
- Wärmetauscher für die Prozesswärme-bereitstellung und Gaskühlung
- Pneumatische Wartungseinheit mit Anschluss an ein bauseitiges Druckluftsystem

- Ascheaustragsystem für Rost- und Filterasche und Asche-Auffang-Box
- Vollständig automatisiert mit Fernüberwachung-/Zugriff über Internet und Alarmruffunktionalität

2. LiPRO HGM50 (BHKW)

Das HGM50 ist ein Holzgas Blockheizkraftwerk (BHKW) mit Gas-Otto-Motor und Synchrongenerator, ausgelegt für den stationären Dauerbetrieb. Rohrleitungsverbindungen für flüssige und gasförmige Medien sind mit Kompensatoren verbaut. Motor und Generator sind auf dem Modulgrundrahmen schwingungsgedämpft gelagert.

Das HGM50 Modul besteht im Wesentlichen aus:

- Industrie-Schwachgas-Motor aus industrieller Serienfertigung
- Leroy Somer Synchrongenerator
- Leistungsfähige Industrie-Zündeinheit mit umfangreichen Einstell- und Diagnosemöglichkeiten, BHKW-Steuerung über leistungsfähige zentrale SPS
- Klopferkennung (optional)
- Abgasleitung mit Schalldämpfer
- Abgaskatalysator (optional)
- Sicherheitsüberdruckventil im Motor- und Heizungskreis
- Befüll-, Entleer- und Entlüftungs-armaturen
- Umwälzpumpe für Motorkühlkreislauf
- Wärmeauskopplung:
 - Abgaswärmetauscher
 - Übergabepplattenwärmetauscher zur Trennung des Heizungssystems vom Motorkühlkreislauf
 - Rücklaufanhebungsgruppe mit Mischventil und Umwälzpumpe (optional)

3. LiPRO E-Control 50 (Schaltschrank)

Der Schaltschrank für die Steuer- und Regelungsfunktionen des Holzgaswerks und des BHKWs ist im Industriestandard als separate Einheit ausgeführt.

- Steuerungseinheit in Industriequalität
 - Schaltschrank mit Touch-Bedienfeld und separatem Steuerungs-PC
 - Intelligente Steuer- und Regelungssoftware für vollautomatische An- und Abfahrvorgänge
 - Fernüberwachungsmodul mit Telefonwählgerät und optionaler E-Mail-Funktion
- Sicherheitselektronik
- Steuerungs- und Regelungshardware
- Netzschutzrelais zur Überwachung der Netzeinspeisung nach deutschen und vielen internationalen Richtlinien
- Stahlschaltschrank mit Transportlaschen in Industrieausführung

4. LiPRO Mobil-Cube (Einhausung)

Die speziell für das LiPRO HKW ausgelegte Container Einhausung besitzt besondere technische und sicherheitsrelevante Eigenschaften.

- automatisches temperaturgeregeltes Lüftungssystem
- Integriertes Schallschutzkonzept
- Kohlenmonoxid-Sensoren
- elektrische Einrichtung: LED-Beleuchtung und Schuko Steckdosen
- Baustoffklasse Außenflächen des Mobile-Cube: A2-s1, d0 „nicht brennbar“;
- für Wartungs- und Service Aufgaben optimierte Flächen und Tore

Technische Daten

Holzgaswerk HGW200

Brennstoff

naturbelassene Holzhackschnitzel	P45	Größe/Norm
Wassergehalt	< W10	%
Feinanteil	< 5	%
Zugeführte Brennstoffleistung ¹⁾	197	kW
Brennstoffverbrauch (atro)/Betriebsstunde ²⁾	37,8	kg/h
Brennstoffverbrauch (atro)/Kilowattstunde elektr. ²⁾	0,71	kg/h
Holzgasleistung ³⁾	174	kW
Kaltgaswirkungsgrad ¹⁾	88	%
Asche/Kohle aufkommen	0,0016; (0,5)	m ³ /h; (kg/h)
Asche-Auffang-Box	1	m ³

Holzgaszusammensetzung⁴⁾

H ₂	22,6	Vol.-%
CO	20,7	Vol.-%
CH ₄	2,7	Vol.-%
CO ₂	10,4	Vol.-%
N ₂	43	Vol.-%
Heizwert	5,7	MJ/Nm ³

Belüftung

Zuluftvolumenstrom (für ΔT=10K)	7000	m ³ /h
Umgebungstemperatur	0...40	°C

Schnittstellen

Brennstoff-Eintragsschleuse mit Flanschanschluss	DN200/PN10	
Holzgasleitung mit Flanschanschluss (nicht im Mobil-Cube Container)	DN50/PN10	
Anschlussleitung Fackel mit Flanschanschluss	DN50/PN10	
Anschluss Druckluftsystem	G 1/4	Zoll
Nennbetriebsdruck Druckluftsystem	8	bar
Druckluftvolumenstrom ca.	40	L/min
Kühlwasseranschluss (Vor- und Rücklauf)	3/4	Zoll AG
Dampfleitung	3/4	Zoll AG

¹⁾ Die Toleranz für den spezifischen Brennstoffverbrauch beträgt +5% bei Nennleistung. Die Wirkungsgradangaben basieren auf einem Holzgaswerk im Neuzustand.

²⁾ Bei einem Brennstoffheizwert von 18,8 MJ/kg

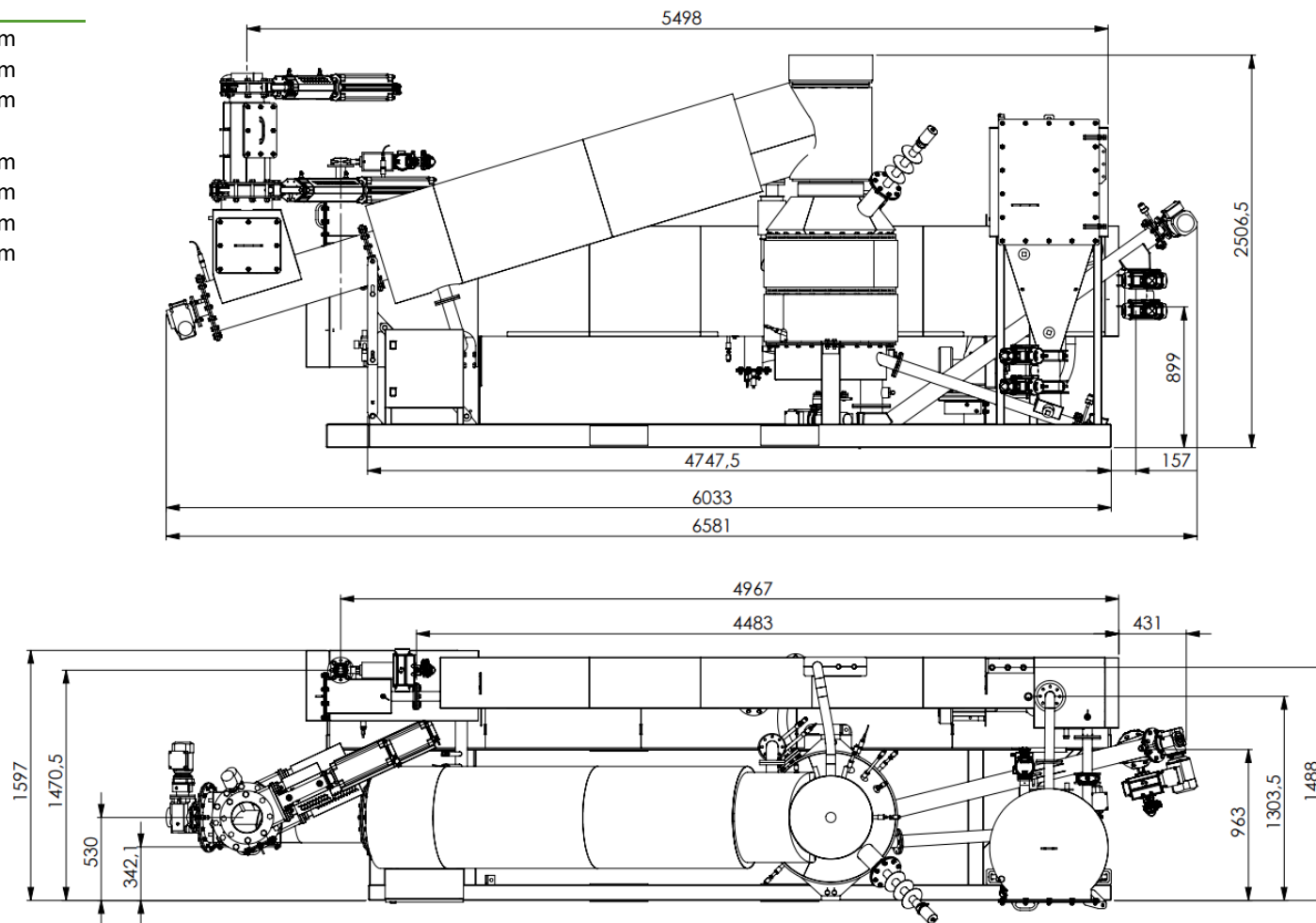
³⁾ In Verbindung mit LiPRO BHKW HGM50 zur Wasserdampfbereitstellung

⁴⁾ Methode DIN 51872-5, je nach Betriebspunkt, Brennstoffbeschaffenheit, Feuchtigkeit, etc. sind mehrere Prozentpunkte Abweichung möglich

Abmessungen/Gewicht

Holzgaswerk HGW200

Länge der Anlage (über alles)	6.581	mm
Länge (ohne Ascheaustrag)	6.033	mm
Länge der Aufstellfläche (für Demontage Pyrolyseschnecke)	10.430	mm
Breite der Anlage	1.597	mm
Breite der Aufstellfläche ca.	2.400	mm
Höhe der Anlage	2.506	mm
Höhe des Aufstellraums	2.800	mm
Gewicht ca.	2.700	kg



BHKW HGM50

Antriebsmotor

Hersteller Motorblock	AGCO Power	
Zylinder	6	Stk.
Hubraum	8,4	L
Drehzahl	1.500	1/min
Motorölmenge ca.	25	L
Motorölrückhaltmenge (Wanne)	27	L
Füllmenge Kühlwasser ¹⁾	18	L
Max. Betriebsdruck	2,5	bar
Kühlwasserumlaufmenge min.	9	m ³ /h
Kühlwassertemperatur min.	84	°C
Kühlwassertemperatur max.	95	°C

Generator

Hersteller	Leroy Somer	
Typ	LSA 44.3	
Generatorart	Synchron	
Spannung (3 Phasen)	400	V
Frequenz	50	Hz
Bemessungsdrehzahl	1.500	1/min
Ständerschaltung	Stern	
Schutzart	IP 23	
Spannungsregler (AVR)	D550	

Leistungen

Elektrische Nennleistung brutto ²⁾	53	kW
Elektrische Nennleistung netto	50	kW
Zugeführte Gasleistung ³⁾	174	kW
Elektrischer Eigenbedarf ⁴⁾	3	kW
Nutzbare thermische Leistung ^{5),6)}	97	kW
elektrischer Leistungsbereich netto ⁷⁾	30...50	kW

Wirkungsgrade

	100% Last	
Elektrischer Wirkungsgrad ³⁾	30,5	%
Thermischer Wirkungsgrad ^{3),5),6)}	55,5	%
Gesamtwirkungsgrad (thermisch u. elektrisch) ^{3),5),6)}	86	%
Stromkennzahl ^{3),5),6)}	0,55	

Wärmeauskopplung Heizungssystem

Thermische Nennleistung ^{5),6)}	ca. 97	kW
Vorlauftemperatur (nach Modul) min./max.	70/85	°C
Rücklauftemperatur (vor Modul)	< 65	°C
Volumenstrom (ohne Glykol)	ca. 4,25	m ³ /h
Temperaturdifferenz (Vorlauf/Rücklauf)	20	K
Druckreserve für Heizkreis ca.	450	mbar

Abgassystem

Abgastemperatur	450...580	°C
Abgastemperatur nach Abgaswärmetauscher	100...160	°C
Bauseitiger Abgasgegendruck max.	8	mbar
Abgasmassenstrom ⁸⁾	ca. 280...350	kg/h

Geräuschemission

Schalldruckpegel ⁹⁾	95 dB(A)	dB(A)
mit Schalldämmhaube ⁹⁾	65 dB(A)	dB(A)
Schalldruckpegel ⁹⁾ im Mobil-Cube	95 dB(A)	dB(A)

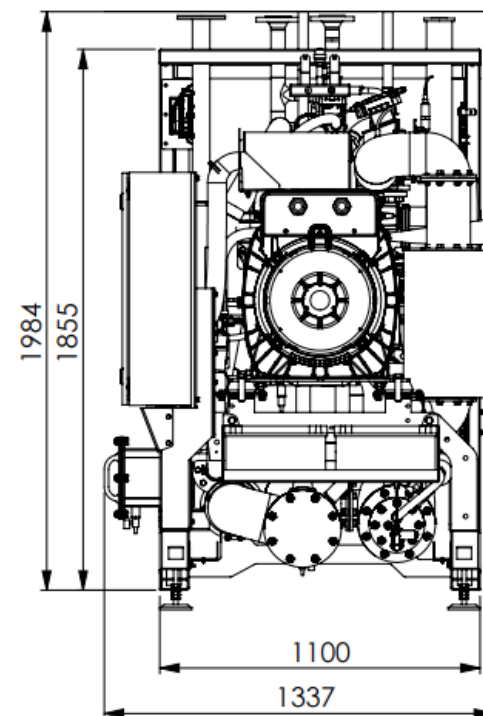
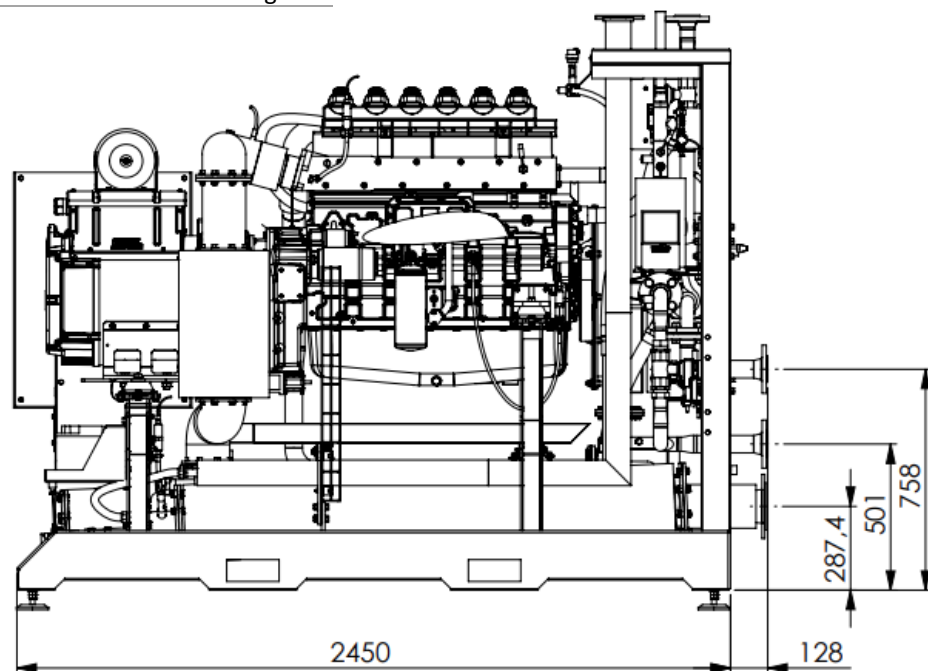
Emissionswerte		
NOx (ohne/mit Katalysator) ¹⁰⁾	<2.200 /<250	mg/Nm ³
CO (ohne/mit Katalysator) ¹⁰⁾	<2.200 /<400	mg/Nm ³
Staub	<5	mg/Nm ³
Belüftung		
Zuluftvolumenstrom ($\Delta T=10K$)	3000	m ³ /h
Umgebungstemperatur	0...40	°C
Schnittstellen		
Gasleitung	DN50/PN10	
Abgasrohr	DN100/PN10	
Abgas-Emissionsmessstutzen	½	Zoll IG
Heizungskreis (Vor- und Rücklauf)	DN40/PN10	
Notkühler (Vor- und Rücklauf)	DN50/PN10	
Frischwasseranschluss	Ø8mm	Schnellkupplung
Kühlwasseranschluss Holzgaswerk (Vor- und Rücklauf)	1	Zoll AG
Dampfleitung	DN20/PN10	
Betriebsstoffe		
Motoröl	Petro Canada SENTRON CG 40	
Kühlmittelzusatz	CLASSIC KOLDA UE G48	

- ¹⁾ Die internen Kühlkreisläufe sowie ggf. Trocknungsanlagen oder Notkühlsysteme sind mit einem Wasser-Glykol-Gemisch befüllt; der Sekundärkreis (Heizkreisseite) mit Plattenwärmetauscher muss im Störfall weiterhin durchströmt werden.
- ²⁾ Elektrische Generatorklemmenleistung bei $\cos \varphi = 1$
- ³⁾ Die Toleranz für den spezifischen Brennstoffverbrauch beträgt +5% bei Nennleistung. Die Wirkungsgradangaben basieren auf einem Motor im Neuzustand.
- ⁴⁾ Elektrischer Eigenbedarf der Gesamtanlage HKW50 (Holzgaswerk und BHKW) inkl. Brennstofffördersystem, Seitenkanalverdichter, Pumpen, Druckluftkompressor, Raumbelüftung, elektrische Antriebe, Spannungsversorgung Schaltschrank, ohne Heizkreispumpe
- ⁵⁾ Nur in Verbindung mit LiPRO Holzgaswerk HGW200 zur Reingaskühlung
- ⁶⁾ Die Toleranz auf die nutzbare Wärmeleistung beträgt $\pm 8 \%$ bei Nennleistung.
- ⁷⁾ Eine weitere Leistungsreduzierung auf 50% der elektrischen Bruttoleistung ist vorübergehend (für 1 Stunde innerhalb von 12 Stunden) möglich.
- ⁸⁾ Abhängig von der Betriebsweise des Motors (Lambda-Einstellung)
- ⁹⁾ Mittlerer Schalldruckpegel in 1m Abstand unter Freifeldbedingungen nach DIN45635
- ¹⁰⁾ Die Emissionswerte nach der Abgasreinigung beziehen sich auf trockenes Abgas bei 5% Restsauerstoffgehalt.

Abmessungen/Gewicht

BHKW HGM50

Länge des BHKW	2.578	mm
Länge der Aufstellfläche BHKW ca. (für Demontage Verdampfer)	3.980	mm
Breite des BHKW	1.337	mm
Breite der Aufstellfläche BHKW ca.	2.300	mm
Höhe	1.984	mm
Höhe mit Füßen ca.	2.050	mm
Gewicht ca.	1.800	kg



Technische Randbedingungen

Alle Daten beziehen sich auf Anlagenvollast bei den angegebenen Medientemperaturen und gelten vorbehaltlich technischer Weiterentwicklungen. Die Betriebsmittel und Anlagensysteme müssen gemäß den LiPRO Technischen Anweisungen ausgeführt sein. Bei Aufstellung > 100m und / oder Ansauglufttemperatur > 20°C muss die Leistungsreduzierung spezifisch ermittelt werden.

Leistungsbedingungen gemäß DIN-ISO-3046

Normbezugsbedingungen: Luftdruck: 1000mbar,

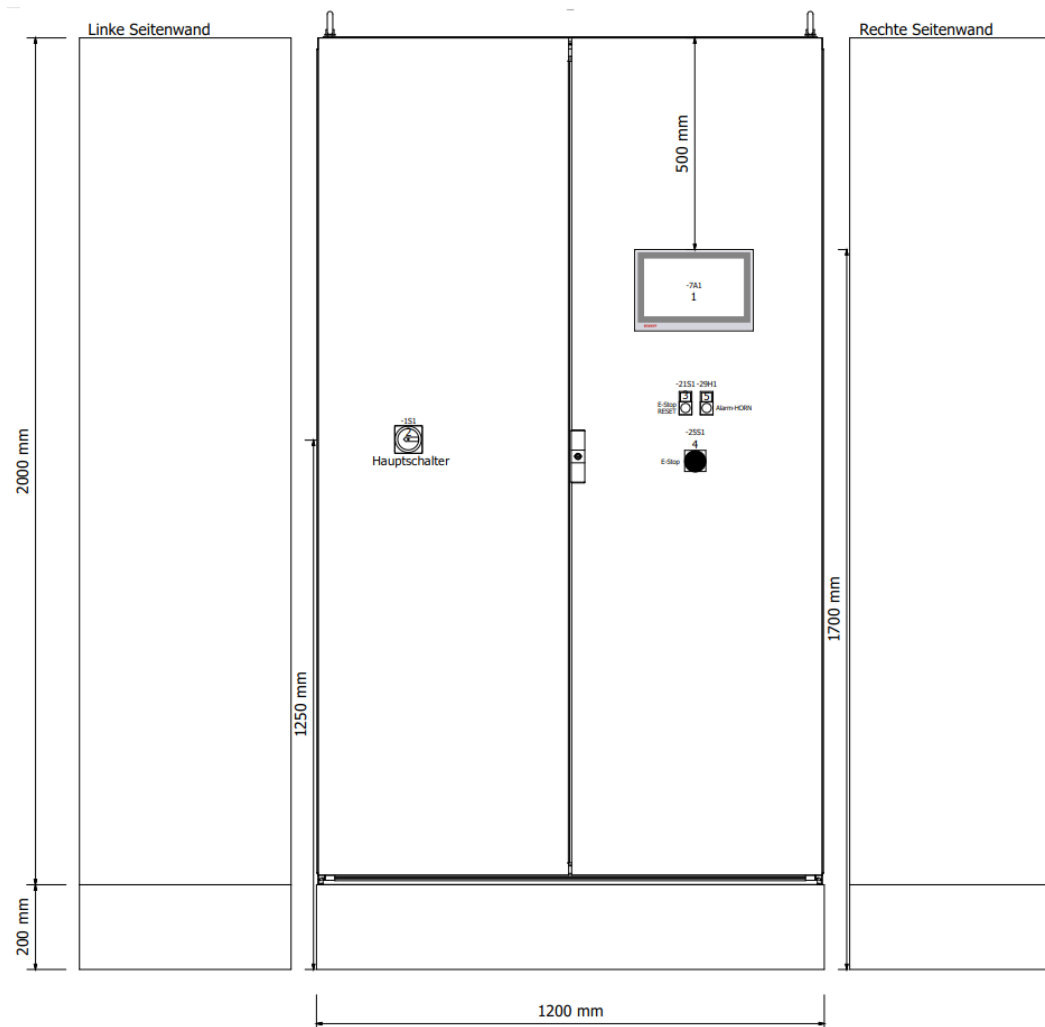
Lufttemperatur: 20°C, rel. Luftfeuchtigkeit: 30%

Schaltschrank E-Control 50

Lagertemperatur	-20...+50 °C
Betriebstemperatur passive Kühlung	-10...+35 °C
Betriebstemperatur aktive Kühlung (optional)	-20...+48 °C
Relative Feuchte max.	65 %
Abwärmeleistung ca.	300 W

Abmessungen

Höhe	2.200 mm
Breite	1.200 mm
Tiefe	550 mm



Einhausung Mobile Cube

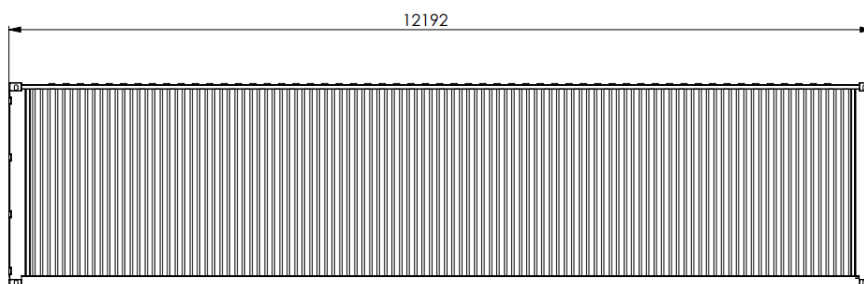
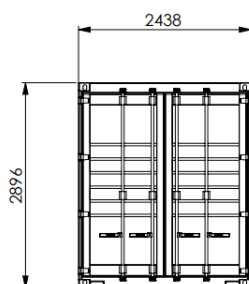
Volumenstrom Belüftung bis zu	10000	m ³ /h
Schalldruckpegel ¹⁾ Belüftung ca.	65-75	dB(A)
Innenwände schallisoliert		
Effiziente temperaturgeregelter Lüftung (EC-Ventilator)		
LED-Beleuchtung, Schuko Steckdosen		
Baustoffklasse Außenflächen des Mobil-Cube Containers (DIN EN 13501)	A2-s1, d0 („nicht brennbar“)	

¹⁾ Mittlerer Schalldruckpegel in 1m Abstand unter Freifeldbedingungen nach DIN45635, je nach eingesetztem Schalldämpfer

Abmessungen

Mobile Cube

Höhe	mm	2.896
Breite	mm	2.438
Tiefe	mm	12.192



Containerdurchbrüche für Kühlwasserrohre, Ascheschnecken, Eintragssystem, Lüftung, etc. sind aufgrund ihrer zum Teil projektindividuellen Anordnung nicht eingezeichnet.



Total Quality. Assured.

Wagistrasse 2 CH-8952 Schlieren

Fon: +41-43 433 78 10 - Fax: +41-43 433 78 19

Intertek (Schweiz) AG

www.intertek.ch

www.intertek.com

schlieren@intertek.com

Prüfbericht Nr.: 124138/02 Seite 1 von 1

Auftraggeber: Fachhochschule Nordwestschweiz
Institut für Biomasse und
Ressourceneffizienz
Klosterzelgstrasse 2
CH-5210 Windisch

Prüfobjekt: Holzschnitzel
Eingangsdatum: 2024-03-15
Verpackung: 1 Eimer
Probenbezeichnung: Holzschnitzel
Probenentnahme: {2} durch Auftraggeber
Ihr Auftrag vom: 2024-03-15 (Mündlich)
Sachbearbeiter: Petar Mandaliev
Spezifikation: SN EN ISO 17225-3:2021
Holzbriketts, Eigenschaftsklasse A2

Analyse	Einheit	Resultat	Limiten		Prüfmethode
			Tief	Hoch	
Wassergehalt analysenfeucht	% (m/m)	6,2			ISO 18134-2
Aschegehalt bei 550°C wasserfrei	% (m/m)	0,44		3,0	ISO 18122
Schwefel (wf)	% (m/m)	<0,005		0,04	EN ISO 16994 {1}
Chlor (wf)	% (m/m)	<0,005		0,03	EN ISO 16994 {1}
Stickstoff (wf)	% (m/m)	0,1		0,7	EN ISO 16948 {1}
Spurenelemente					EN ISO 16968 {1}
Arsen (wf)	mg/kg	<0,8		1	
Blei (wf)	mg/kg	<2		10	
Cadmium (wf)	mg/kg	<0,2		0,5	
Chrom (wf)	mg/kg	6		10	
Kupfer (wf)	mg/kg	1		10	
Nickel (wf)	mg/kg	3		10	
Zink (wf)	mg/kg	9		100	
Quecksilber (wf)	mg/kg	<0,05		0,1	EN ISO 16968 {1}

Schlieren, 04.04.2024
Der Prüfleiter

Alexandre Bergthold



Anmerkung: Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der blosser Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichen bedürfen der Genehmigung der Intertek (Schweiz) AG (vgl. Merkblatt). Berichte und Rohdaten werden 10 Jahre archiviert. Die Prüfobjekte werden bis mind. 1 Monat nach Berichtsdatum zurückgestellt. Einzelheiten zu den Untersuchungsverfahren (Normen, SOP), wie Nachweisgrenzen, Streubereich usw., können bei der Geschäftsleitung erfragt werden. Im Übrigen gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen der Intertek (Schweiz) AG.

{1} Unterlieferant, {2} Methode nicht akkreditiert



Total Quality. Assured.

Wagistrasse 2 CH-8952 Schlieren

Fon: +41-43 433 78 10 - Fax: +41-43 433 78 19

Intertek (Schweiz) AG

www.intertek.ch

www.intertek.com

schlieren@intertek.com

Prüfbericht Nr.: 124138/04 Seite 1 von 2

Auftraggeber: Fachhochschule Nordwestschweiz
Institut für Biomasse und
Ressourceneffizienz
Klosterzelgstrasse 2
CH-5210 Windisch

Prüfobjekt: Holzschnitzel
Eingangsdatum: 2024-08-23
Verpackung: 1 Eimer geschlossen
Probenbezeichnung: BHKW Messung 6 August 2024, Brennmaterial
Probenentnahme: {2} durch Auftraggeber
Ihr Auftrag vom: 2024-09-12
Sachbearbeiter: Petar Mandaliev

Analyse	Einheit	Resultat	Prüfmethode
Wassergehalt			ISO 18134-2
ingesandt	% (m/m)	9,5	
analysenfeucht	% (m/m)	9,0	
Aschegehalt bei 550°C			ISO 18122
wasserfrei	% (m/m)	0,30	
Brennwert			ISO 18125
ingesandt	MJ/kg	18,543	
analysenfeucht	MJ/kg	18,640	
wasserfrei	MJ/kg	20,490	
Heizwert			ISO 18125
ingesandt	MJ/kg	17,135	
analysenfeucht	MJ/kg	17,250	
wasserfrei	MJ/kg	19,190	
Schwefel (wf)	% (m/m)	<0,005	EN ISO 16994 {1}
Chlor (wf)	% (m/m)	<0,005	EN ISO 16994 {1}
Stickstoff (wf)	% (m/m)	0,20	EN ISO 16948
Spurenelemente			EN ISO 16968 {1}
Arsen (wf)	mg/kg	<0,8	
Blei (wf)	mg/kg	<2	
Cadmium (wf)	mg/kg	<0,2	
Chrom (wf)	mg/kg	1	
Kupfer (wf)	mg/kg	2	
Nickel (wf)	mg/kg	<1	
Zink (wf)	mg/kg	9	
Quecksilber (wf)	mg/kg	<0,05	EN ISO 16968 {1}

Anmerkung: Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der blosser Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichen bedürfen der Genehmigung der Intertek (Schweiz) AG. Berichte und Rohdaten werden 10 Jahre archiviert. Die Prüfobjekte werden bis mind. 1 Monat nach Berichtsdatum zurückgestellt. Einzelheiten zu den Untersuchungsverfahren (Normen, SOP), wie Nachweisgrenzen, Streubereich usw., können bei der Geschäftsleitung erfragt werden. Im Übrigen gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen der Intertek (Schweiz) AG.

{1} Unterlieferant, {2} Methode nicht akkreditiert

Prüfbericht Nr.:

124138/04

Seite 2 von 2

Schlieren, 23.10.2024

Der Prüfleiter

Alexandre Bergthold



Anmerkung:

Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der blosser Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichen bedürfen der Genehmigung der Intertek (Schweiz) AG. Berichte und Rohdaten werden 10 Jahre archiviert. Die Prüfobjekte werden bis mind. 1 Monat nach Berichtsdatum zurückgestellt. Einzelheiten zu den Untersuchungsverfahren (Normen, SOP), wie Nachweisgrenzen, Streubereich usw., können bei der Geschäftsleitung erfragt werden. Im Übrigen gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen der Intertek (Schweiz) AG.

{1} Unterlieferant, {2} Methode nicht akkreditiert

200058674-240820-AB



Total Quality. Assured.

Wagistrasse 2 CH-8952 Schlieren

Fon: +41-43 433 78 10 - Fax: +41-43 433 78 19

Intertek (Schweiz) AG

www.intertek.ch

www.intertek.com

schlieren@intertek.com

Prüfbericht Nr.:124138/05

Seite 1 von 4

Auftraggeber:

Fachhochschule Nordwestschweiz
Institut für Biomasse und
Ressourceneffizienz
Klosterzelgstrasse 2
CH-5210 Windisch

Prüfobjekt:Pflanzenkohle

Eingangsdatum:2024-08-28

Verpackung:1 Eimer geschlossen

Herkunft:Flück Zürich AG

Probenbezeichnung:BHKW Messung 6, Aug. 2024

Probenentnahme:^{2} durch Auftraggeber

Ihr Auftrag vom:2024-09-12

Sachbearbeiter:Petar Mandaliev

Analyse	Einheit	Resultat	Prüfmethode
Schüttdichte <3mm (wf)	kg/m³	397	in Anlehnung ^{1} an VDLUFA- Methode A 13,2,1
Salzgehalt	g/kg	115	BGK III. C2 ^{1}
Wasserhaltekapazität (WHC)	%	241,8	DIN EN ISO ^{1} 14238, Anhang A
Leitfähigkeit bei 1,2 t Druck	mS/cm	410	SAA-H-Lf- ^{1} Pflanzenkohle.0 40
Leitfähigkeit bei 5 t Druck	mS/cm	730	SAA-H-Lf- ^{1} Pflanzenkohle.0 40
Leitfähigkeit bei 4 t Druck	mS/cm	720	SAA-H-Lf- ^{1} Pflanzenkohle.0 40
Leitfähigkeit bei 2 t Druck	mS/cm	580	SAA-H-Lf- ^{1} Pflanzenkohle.0 40
Leitfähigkeit bei 3 t Druck	mS/cm	610	SAA-H-Lf- ^{1} Pflanzenkohle.0 40
TIC (wf)	% (m/m)	5,2	DIN 51726 ^{1}
pH-Wert in CaCl2		13,0	DIN ISO 10390 ^{1}
Aschegehalt bei 550°C (wf)	% (m/m)	61,4	DIN 51719 ^{1}
Wassergehalt	% (m/m)	7,2	DIN 51718 ^{1}
Elementaranalyse, Kohlenstoff wasserfrei	% (m/m)	38,7	DIN 51732 ^{1}

Anmerkung: Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der blosser Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichung bedürfen der Genehmigung der Intertek (Schweiz) AG. Berichte und Rohdaten werden 10 Jahre archiviert. Die Prüfobjekte werden bis mind. 1 Monat nach Berichtsdatum zurückgestellt. Einzelheiten zu den Untersuchungsverfahren (Normen, SOP), wie Nachweisgrenzen, Streubereich usw., können bei der Geschäftsleitung erfragt werden. Im Übrigen gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen der Intertek (Schweiz) AG.

^{1} Unterlieferant, ^{2} Methode nicht akkreditiert

200058799-240820-AB

Prüfbericht Nr.: 124138/05
Seite 2 von 4

Analyse	Einheit	Resultat	Prüfmethode
Carbonat-CO ₂			DIN 51726 {1}
wasserfrei	% (m/m)	19,2	
Elementaranalyse, Stickstoff			Berechnet {1}
wasserfrei	% (m/m)	33,5	
Elementaranalyse, Wasserstoff			DIN 51732 {1}
wasserfrei	% (m/m)	0,6	
Schwefel (wf)	% (m/m)	0,28	DIN 51724-3 {1}
Stickstoff (wf)	% (m/m)	0,09	DIN 51732 {1}
Quecksilber (wf)	mg/kg	<0,07	EN ISO 16968 {1}
H/Corg Verhältnis (molar)		0,2	Berechnet
H/C Verhältnis (molar)		0,2	Berechnet
O/C Verhältnis (molar)		0,3	Berechnet
Sauerstoff (wf)	% (m/m)	15,5	DIN 51733 {1}
Organ. Schadstoffe a. d. Toluolextrakt			DIN EN 17503 {1}
Naphthalin	mg/kg	310,0	
Acenaphthylen	mg/kg	16,0	
Acenaphthen	mg/kg	0,4	
Fluoren	mg/kg	0,1	
Phenanthren	mg/kg	120,0	
Anthracen	mg/kg	12,0	
Fluoranthren	mg/kg	61,0	
Pyren	mg/kg	49,0	
Chrysen	mg/kg	5,8	
Benzo(a)anthracen	mg/kg	5,1	
Benzo(b)fluoranthren	mg/kg	5,6	
Benzo(k)fluoranthren	mg/kg	1,5	
Benzo(a)pyren	mg/kg	3,2	
Benzo(g,h,i)perlen	mg/kg	1,5	
Benzo(e)pyren	mg/kg	3,6	
Benzo(j)fluoranthren	mg/kg	n.b.	
Dibenzo(a,h)anthracen	mg/kg	0,1	
Indeno(1,2,3,-c,d)pyren	mg/kg	0,7	
Summe PAK EFSA	mg/kg	23,5	Berechnet {1}
Summe PAK EPA	mg/kg	592,0	

Anmerkung: Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der blosser Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichen bedürfen der Genehmigung der Intertek (Schweiz) AG. Berichte und Rohdaten werden 10 Jahre archiviert. Die Prüfobjekte werden bis mind. 1 Monat nach Berichtsdatum zurückgestellt. Einzelheiten zu den Untersuchungsverfahren (Normen, SOP), wie Nachweisgrenzen, Streubereich usw., können bei der Geschäftsleitung erfragt werden. Im Übrigen gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen der Intertek (Schweiz) AG.

{1} Unterlieferant, {2} Methode nicht akkreditiert

200058799-240820-AB

Prüfbericht Nr.:

124138/05

Seite 3 von 4

Analyse	Einheit	Resultat	Prüfmethode
Elemente im Mikrowelledruckaufschluss			DIN 22022-1 {1}
Ag Silber	mg/kg	<5	
As Arsen	mg/kg	1,3	
B Bor	mg/kg	295	
Cd Cadmium	mg/kg	17,5	
Cr Chrom	mg/kg	2980	
Cu Kupfer	mg/kg	209	
Hg Quecksilber	mg/kg	<0,07	
Mn Mangan	mg/kg	14900	
Ni Nickel	mg/kg	3920	
Pb Blei	mg/kg	50	
Zn Zink	mg/kg	2270	
Elemente im Borataufschluss von Asche 550°C (AR)			DIN 51729-11 {1} (AS)
Ca Calcium	% (m/m)	45,5	DIN 51729-11
Fe Eisen	% (m/m)	3,1	
K Kalium	% (m/m)	12,6	
Mg Magnesium	% (m/m)	4,1	
Na Natrium	% (m/m)	0,7	
P Phosphor	% (m/m)	0,5	
S Schwefel	% (m/m)	1,1	
Si Silicium	% (m/m)	3,4	
Elemente im Borataufschluss von Asche 550°C (OS)			DIN 51729-11 {1} (OS)
Fe Eisen	g/kg	13,4	DIN 51729-11
Si Silicium	g/kg	9,8	
Makronährstoffe-LiBO2/LiB4O7/LiBr-Schmelze der Asche 550°C (OS)			DIN 51729 (OS) {1}
Ca Calcium	g/kg	280	DIN 51729
K Kalium	g/kg	77,4	
Mg Magnesium	g/kg	25,2	
Na Natrium	g/kg	4	
S Schwefel	g/kg	6,7	
P Phosphor	g/kg	3,3	

Anmerkung:

Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der blosser Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichen bedürfen der Genehmigung der Intertek (Schweiz) AG. Berichte und Rohdaten werden 10 Jahre archiviert. Die Prüfobjekte werden bis mind. 1 Monat nach Berichtsdatum zurückgestellt. Einzelheiten zu den Untersuchungsverfahren (Normen, SOP), wie Nachweisgrenzen, Streubereich usw., können bei der Geschäftsleitung erfragt werden. Im Übrigen gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen der Intertek (Schweiz) AG.

{1} Unterlieferant, {2} Methode nicht akkreditiert

200058799-240820-AB

Prüfbericht Nr.:

124138/05

Seite 4 von 4

Bemerkung:

(wf) = Wasserfrei

(OS) = bezogen auf die original substance

(AR) = bezogen auf die Asche

Schlieren, 23.10.2024

Der Prüfleiter

Alexandre Bergthold



Anmerkung:

Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der blosser Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichen bedürfen der Genehmigung der Intertek (Schweiz) AG. Berichte und Rohdaten werden 10 Jahre archiviert. Die Prüfobjekte werden bis mind. 1 Monat nach Berichtsdatum zurückgestellt. Einzelheiten zu den Untersuchungsverfahren (Normen, SOP), wie Nachweisgrenzen, Streubereich usw., können bei der Geschäftsleitung erfragt werden. Im Übrigen gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen der Intertek (Schweiz) AG.

{1} Unterlieferant, {2} Methode nicht akkreditiert

200058799-240820-AB



Bachema AG
Analytische Laboratorien

Schlieren, 29. Mai 2024
ar

Fachhochschule Nordwestschweiz
Petar Mandaliev
Klosterzelgstrasse 2
5210 Windisch

Untersuchungsbericht

Objekt: Analyse von Pflanzenkohle

Auftrags-Nr. Bachema Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme Eingang Bachema Probenahmeort Entnommen durch	202404018 16969-16975 04. April 2024 Fachhochschule Nordwestschweiz
Auftraggeber	Fachhochschule Nordwestschweiz, P. Mandaliev, Klosterzelgstrasse 2, 5210 Windisch
Rechnungsadresse	Fachhochschule Nordwestschweiz, Finanzbuchhaltung, 5210 Windisch
Rechnung zur Visierung	Fachhochschule Nordwestschweiz, P. Mandaliev, Klosterzelgstrasse 2, 5210 Windisch
Bericht an	Fachhochschule Nordwestschweiz, P. Mandaliev, Klosterzelgstrasse 2, 5210 Windisch
Bericht per e-mail an	Fachhochschule Nordwestschweiz, P. Mandaliev, petar.mandaliev@fhnw.ch
Excel-File	Fachhochschule Nordwestschweiz, P. Mandaliev, petar.mandaliev@fhnw.ch

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG

Annette Rust
Dr. sc. nat. / Dipl. Umwelt-Natw. ETH

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Objekt:
Auftraggeber:
Auftrags-Nr. Bachema:

Analyse von Pflanzenkohle
Fachhochschule Nordwestschweiz
202404018

Probenübersicht

Bachema-Nr.	Probenbezeichnung	Probenahme / Eingang Labor
16969 F	Lipro 1	/ 04.04.24
16970 F	Lipro 2	/ 04.04.24
16971 F	Lipro 3	/ 04.04.24
16972 F	Lipro 4	/ 04.04.24
16973 F	Lipro 5	/ 04.04.24
16974 F	Lipro 6	/ 04.04.24
16975 F	Mischprobe aus Lipro 1-6 Bachema-Nr. 16969 + 16970 + 16971 + 16972 + 16973 + 16974	/ 04.04.24

Abkürzungen

W	Wasserprobe
F	Feststoffprobe
TS	Trockensubstanz
<	Bei den Messresultaten ist der Wert nach dem Zeichen < (kleiner als) die Bestimmungsgrenze der entsprechenden Methode.
{1}	Die Analysenmethode liegt zurzeit nicht im akkreditierten Bereich der Bachema AG.
{2}	Externe Analyse von Unterauftragnehmer / Fremdlabor.
{3}	Feldmessung von Kunde erhoben.

Akkreditierung

	Die Resultate der Untersuchungen beziehen sich auf die im Prüfbericht aufgeführten Proben und auf den Zustand der Proben bei der Entgegennahme durch die Bachema AG. Der vollständige Prüfbericht steht dem Kunden zur freien Verfügung. Die Verwendung von Auszügen (einzelne Seiten) oder Ausschnitten (Teile einzelner Seiten) des Prüfberichts sowie Hinweise auf den Prüfbericht (z.B. zu Werbezwecken oder bei Präsentationen) sind nur mit Genehmigung der Bachema AG gestattet. Detailinformationen zu Messmethode, Messunsicherheiten und Prüfdaten sind auf Anfrage erhältlich (s. auch Dienstleistungsverzeichnis oder www.bachema.ch)
---	--

Objekt:
Auftraggeber:
Auftrags-Nr. Bachema:

Analyse von Pflanzkohle
Fachhochschule Nordwestschweiz
202404018

					Referenzwert	
Probenbezeichnung	Lipro 1	Lipro 2	Lipro 3	Lipro 4		
Proben-Nr. Bachema	16969	16970	16971	16972		
Tag der Probenahme						
Probenparameter						
Angelieferte Probenmenge	kg	0.2	0.2	0.2	0.2	
					Referenzwert	
Probenbezeichnung	Lipro 5	Lipro 6				
Proben-Nr. Bachema	16973	16974				
Tag der Probenahme						
Probenparameter						
Angelieferte Probenmenge	kg	0.2	0.2			
					Referenzwert	
Probenbezeichnung	Mischprobe aus Lipro 1-6					
Proben-Nr. Bachema	16975					
Tag der Probenahme						
Allgemeine und anorganische Parameter						
Kohlenstoffgehalt (CHNS)	% TS C	17				
Elemente und Schwermetalle						
Blei (gesamt) ICP	mg/kg TS Pb	20				
Cadmium (gesamt) ICP	mg/kg TS Cd	7.3				
Chrom (gesamt) ICP	mg/kg TS Cr	2'300				
Kupfer (gesamt) ICP	mg/kg TS Cu	180				
Nickel (gesamt) ICP	mg/kg TS Ni	1'600				
Quecksilber (gesamt) AFS	mg/kg TS Hg	<0.02				
Zink (gesamt) ICP	mg/kg TS Zn	570				
PCB						
PCB 28 (TS)	mg/kg TS	<0.004				
PCB 52 (TS)	mg/kg TS	<0.004				
PCB 101 (TS)	mg/kg TS	<0.004				
PCB 118 (TS)	mg/kg TS	<0.004				
PCB 138 (TS)	mg/kg TS	<0.004				
PCB 153 (TS)	mg/kg TS	<0.004				
PCB 180 (TS)	mg/kg TS	<0.004				
PCB Summe n. VVEA / AltIV	mg/kg TS	<0.10				
PAK						
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	1.2				
Summe PAK	mg/kg TS	390				
Externe Analysen						
Dioxine / Furane {2} (WHO-TE für PCDD/F ohne BG)	ng/kg TS	5.67				

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH · Güttinger Str. 37 · 78315 Radolfzell

BACHEMA AG
Analytische Laboratorien
Rütistrasse 22
8952 Schlieren

Prüfbericht: 6964576-01
Auftragsnummer: 6964576
Kundennummer: 10024063

Herr P. Breig
+49 7732 94162 30
peter.breig@sgs.com

Industries & Environment
Environment, Health & Safety (EHS)

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
Güttinger Str. 37
78315 Radolfzell

Radolfzell, 03.05.2024

erste Probenummer	240348856
Eingangsart	durch SGS/IF Kurier abgeholt
Probeneingang	08.04.2024
Ihr Auftrag/Projekt	Untersuchung auf Dioxine/Furane
Ihr Bestelldatum	05.04.2024
Prüfzeitraum	09.04.-02.05.2024

Prüfgegenstand	übrige Feststoffe
Prüfziel	PCDD/F
Prüfverfahren	DIN EN 16190 (2019-10)
Aufschlussverfahren	ASE-Extraktion

Bemerkungen

Alle Analysen wurden in der ZfD GmbH Bayreuth durchgeführt.
(Zentrum für Dioxinanalytik), eine Gesellschaft unter der Beteiligung
der SGS Institut Fresenius GmbH.
Akkreditiert unter der Nummer D-PL-19418-01-00

- TEQ, TEF = Toxizitätsäquivalente bzw. -faktoren
- BG = Bestimmungsgrenze
- * BG wegen Überlagerungen angehoben

SGS Institut Fresenius GmbH

i.V. Peter Breig
Projektleiter

i.A. Melanie Schubert
Group Leader Customer Service

Seite 1 von 2

Prüfbericht 6964576-01
Auftragsnummer 6964576
Ihr Auftrag/Projekt Untersuchung auf Dioxine/Furane
Datum des Berichts 03.05.2024

SGS/IF-Probennummer		240348856					
Bezeichnung:		16975					
Einheit		ng/kg TR					
PCDD/F	BG*	Konzentration	WHO-TEF	WHO-TEQ	I-TEF	I-TEQ	
2,3,7,8-TCDD	1	< 1,0	1	1,000	1	1,00	
1,2,3,7,8-PeCDD	1	< 1,0	1	1,000	0,5	0,50	
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1	< 1,0	0,1	0,100	0,1	0,10	
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1	< 1,0	0,1	0,100	0,1	0,10	
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1	< 1,0	0,1	0,100	0,1	0,10	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	5	< 5,0	0,01	0,050	0,01	0,05	
OCDD	10	21	0,0003	0,006	0,001	0,02	
2,3,7,8-TCDF	1	27	0,1	2,700	0,1	2,70	
1,2,3,7,8-PeCDF	1	7,0	0,03	0,210	0,05	0,35	
2,3,4,7,8-PeCDF	1	8,0	0,3	2,400	0,5	4,00	
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1	3,0	0,1	0,300	0,1	0,30	
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1	< 1,0	0,1	0,100	0,1	0,10	
1,2,3,7,8,9-HxCDF	1	< 1,0	0,1	0,100	0,1	0,10	
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1	< 1,0	0,1	0,100	0,1	0,10	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	3	5,0	0,01	0,050	0,01	0,05	
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	3	< 3,0	0,01	0,030	0,01	0,03	
OCDF	10	< 10	0,0003	0,003	0,001	0,01	

TEQ (WHO) für PCDD/F inklusive 100% BG

8,35 ng/kg TR

TEQ (WHO) für PCDD/F ohne BG

5,67

ng/kg TR

I-TEQ (NATO-CCMS) inklusive 100 % BG

9,61

ng/kg TR

I-TEQ (NATO-CCMS) ohne BG

7,42

ng/kg TR

* Matrixbedingt kann eine abweichende Bestimmungsgrenze ausgewiesen werden.