

Weiterbildungstag Geschäftsstelle Feuerungskontrolle Zentralschweiz 10. September 2025

QS Support Holzfeuerungen

Mit Unterstützung von

Agenda

Vorstellung QS Support Holzfeuerungen QSH

QSH Fallbeispiel 1: Nachbarschaftsklagen wegen Rauchausstos

QSH Fallbeispiel 2: Quellenzuordnung bei Nachbarschaftsklage aufgrund von Russablagerungen in der Umgebung

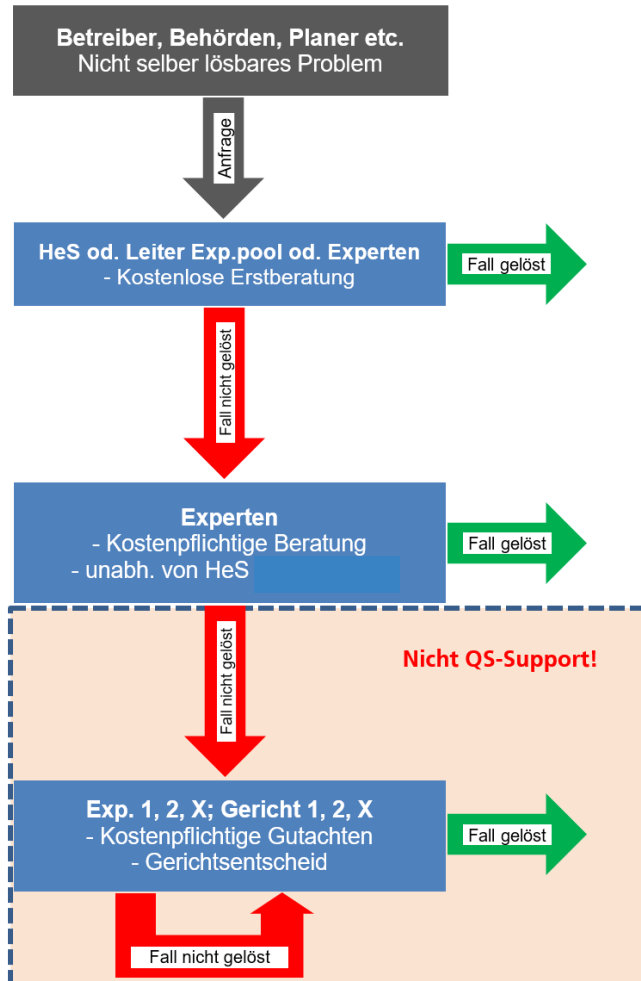
QSH Fallbeispiel 3: Beurteilung zu Korrosionsproblemen

Bildung von Flockenruss: Grundlagen und Einfluss durch Betreiber

Grobstaubausstoss: Ursachen

Fragen/Diskussion

Vorstellung QS Support Holzfeuerungen, QSH



Leiter Expertenpool & QSH Experte:
Adrian Lauber, Flimatec AG

QSH Experte:

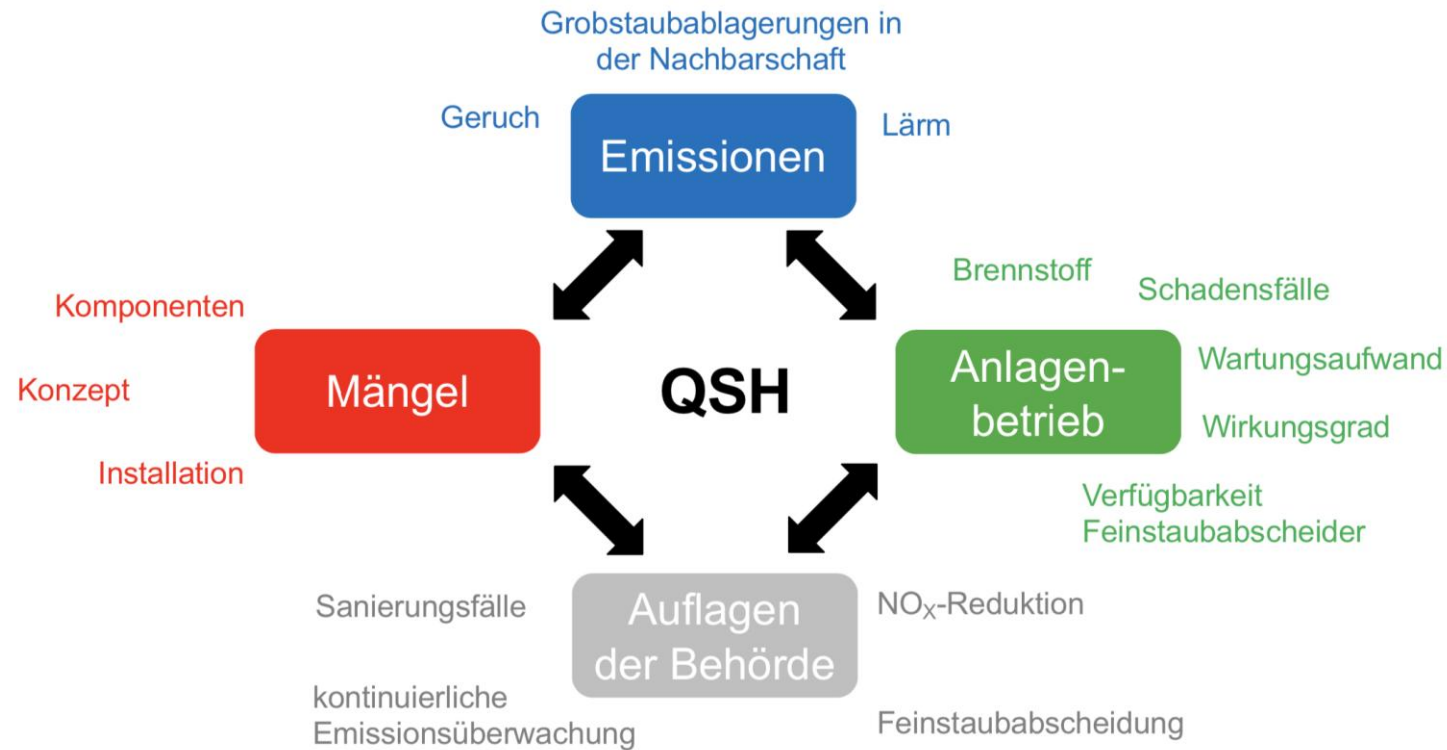
Thomas Baltensperger, Baltensperger Energie GmbH

Martin Kiener, EnOp GmbH

Mit Unterstützung von

Dienstleistung QSH

Wirkungsfelder



Dienstleistung QSH

Neutrale Analyse zum Betrieb von Holzfeuerungen.

Typische Fälle sind:

- Staub-, Russ-, Rauch-, Geruchsprobleme
- Filterverfügbarkeit
- Beurteilung Wartung & Unterhalt
- NO_x-Emissionen, NH₃-Schlupf
- Korrosion
- Verschlackung
- Mauerungs/Gewölbeschaden

Dienstleistung QSH

- Schulung von Servicefachleuten und Anlagenbetreibern
 - Beurteilung von Rostbelegung und Flammenbild für den wirtschaftlichen Betrieb einer Feuerung
- Runder Tisch: Fachlicher Austausch mit Behörden und Branche
- Brennstoffqualität: Beurteilung des Brennstoffes und Einfluss auf die Verbrennung
- Langzeitmessung
- Grobstaubzähler
- Merkblätter

Praxisschulung für Betreiber von Holzfeuerungen

Beurteilung von Rostbelegung und Flammenbild für den wirtschaftlichen Betrieb einer Feuerung



Reparierte Mauerung (links) und verschlackte Rostelemente (rechts)

Jeweils ½ Tag

Direkt vor Ort auf einer Anlage

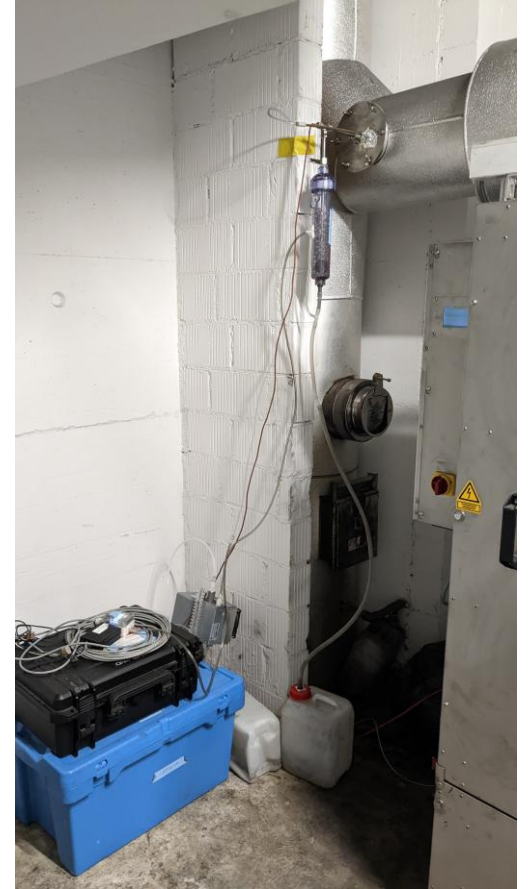
Merkblätter

Folgende Merkblätter sind auf der Homepage von Holzenergie Schweiz verfügbar

- Grobstaubauswurf
- Wissen zu Brennstoffqualität
- Nachbarschaftsklage

Langzeitmessung

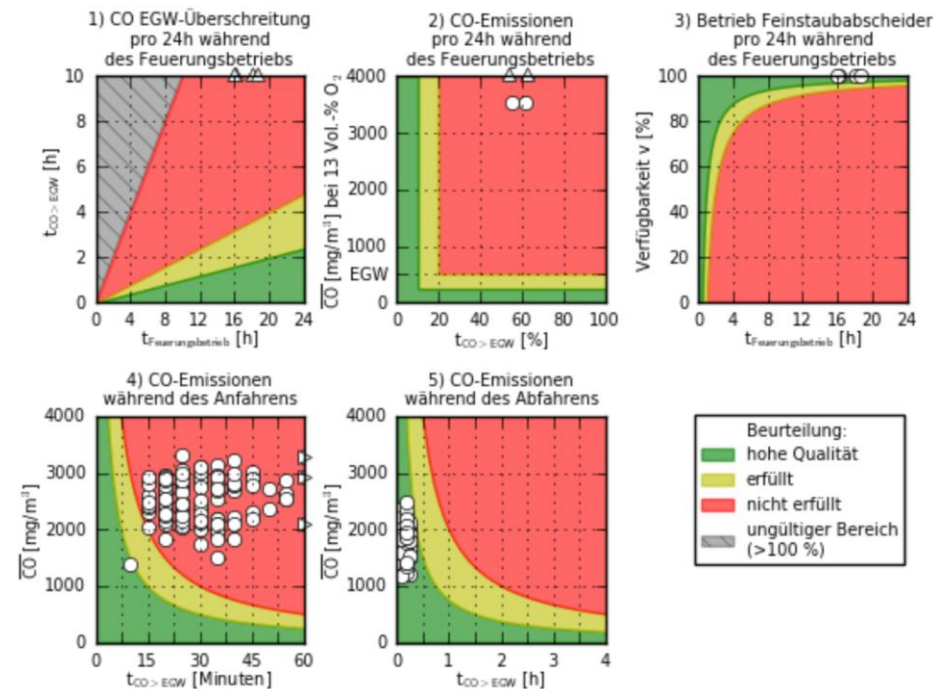
- Langzeitmessungen von bis zu 3 Wochen ohne Wartung
 - CO, O₂, T_{AG}
 - Unterdruck
 - E-Filterbetrieb
 - Mehrere Geräte parallel einsetzbar, z.B. auf Mehrkesselanlagen
 - Automatischer Messbetrieb mit Alarmierung im Störfall
 - Automatisierte periodische Plausibilitätskontrolle mit Kalibriergas
 - Automatisierte Datenauswertung
 - Fernkontrolle dank Echtzeitdatenübertragung
 - Deutliche Kostenreduktion
- Das Messgerät hilft, Betriebsinformationen einfacher und günstiger verfügbar zu machen.



Langzeitmessung

Analyse für 5 Kriterien und Klassifizierung in «Hohe Qualität», «erfüllt» und «nicht erfüllt»

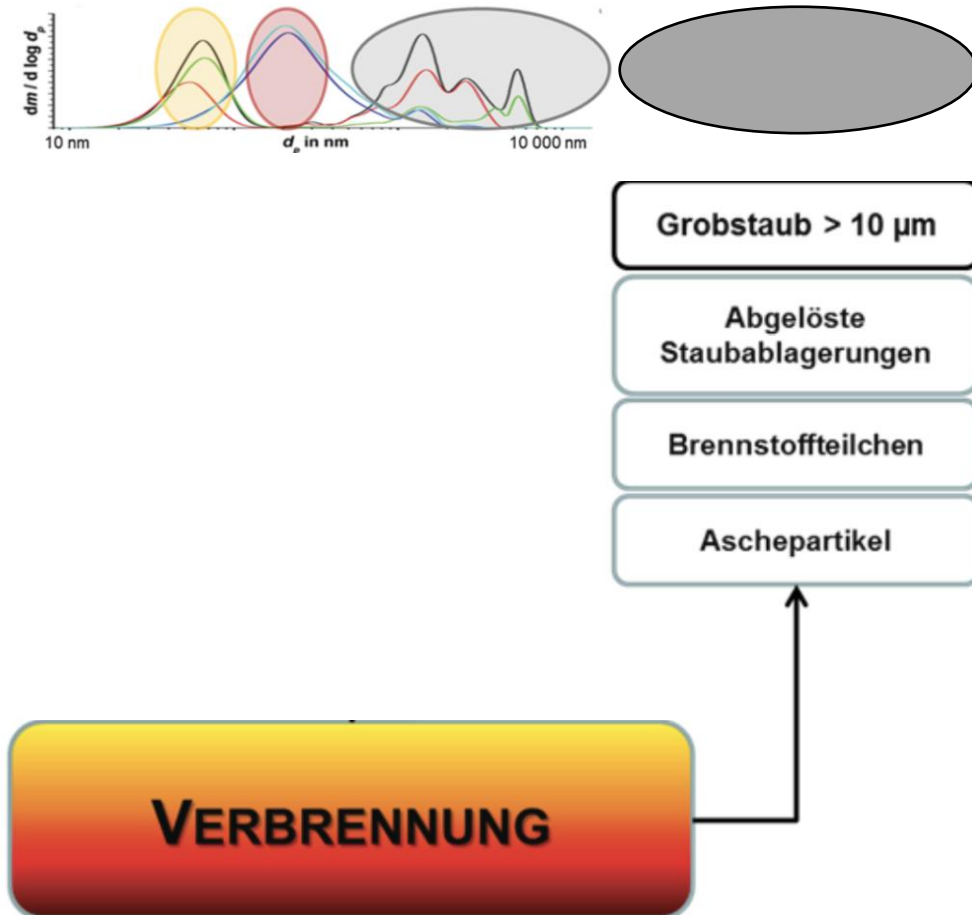
- CO-Grenzwertüberschreitung
- CO-Emissionen
- Verfügbarkeit Staubabscheider
- CO während Startvorgang
- CO während Ausschaltvorgang



Quelle: Lauber, A., Good, J., Nussbaumer, T.: Beurteilung von automatischen Holzfeuerungen mittels Langzeitmessungen im Praxisbetrieb, 2016

Mit Unterstützung von

Grobstaubmessgerät



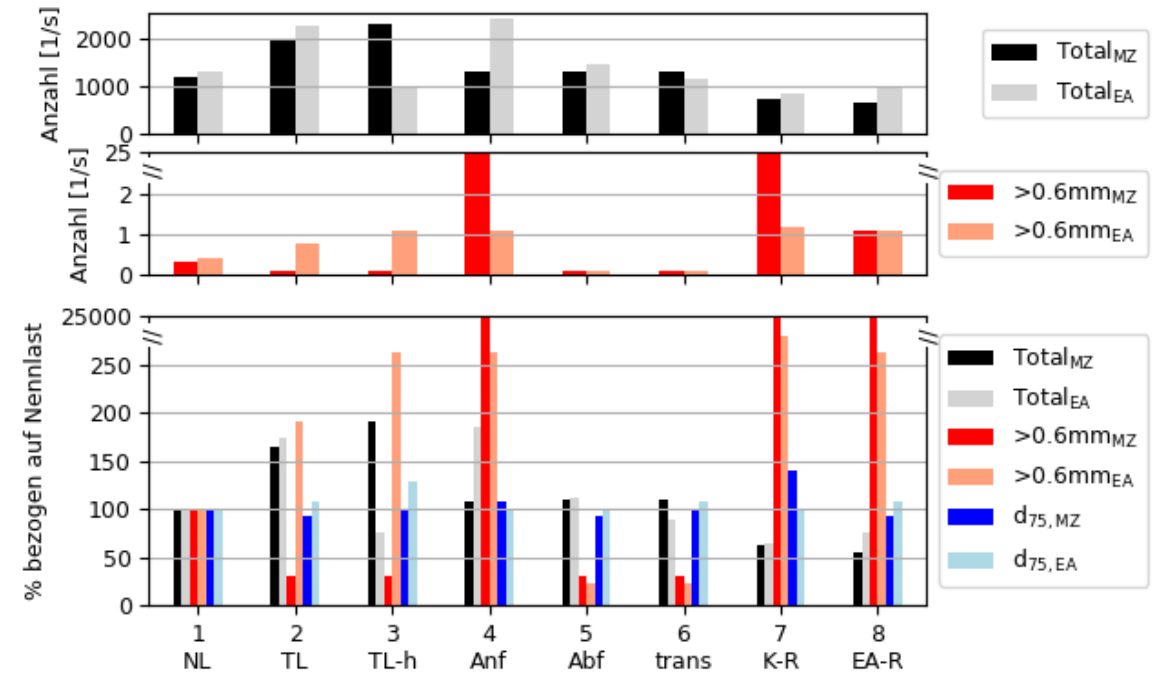
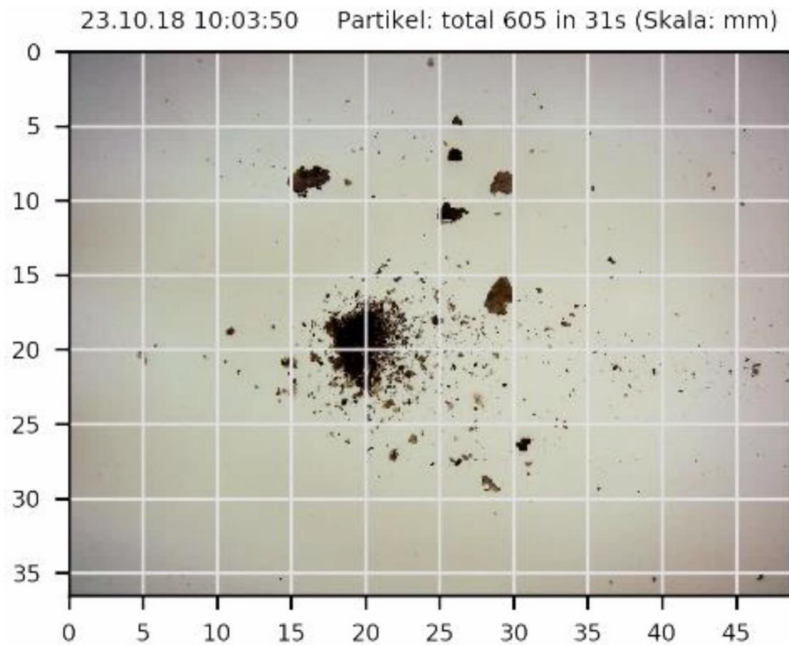
Anorganische Aschepartikel und unverbrannte Brennstoffpartikel:

$d_p > 10\,000\text{ nm}$

- Erdalkali-/Übergangsmetall-Verbindungen (Ca, Mg, Al, Fe als Oxide, Sulfate, Silikate, Phosphate)
- Kohlenstoff-Verbindungen

Grobstaubmessgerät

- Partikelgrösse zwischen 50 μm und 5 mm
- Beurteilung von verschiedenen Betriebsphasen



Quelle: Lauber, A., Good, J., Nussbaumer, T.: Praxisuntersuchung zur Vermeidung von Partikelaustritt bei Holzfeuerungen bis 500 kW mit Elektroabscheider, 2018

Mit Unterstützung von

QSH Fallbeispiel 1

Beurteilung des Anlagenbetriebs bezüglich Rauch- und Geruchsproblematik einer Holzschnitzelfeuerung

Ausgangslage

- Rostfeuerung, 69 kW, Waldhackschnitzel
- Wiederkehrende Reklamationen durch Anwohner wegen starkem Rauchausstoss
- Kanton verlangt eine Analyse zum Anlagenbetrieb und der Installation allgemein

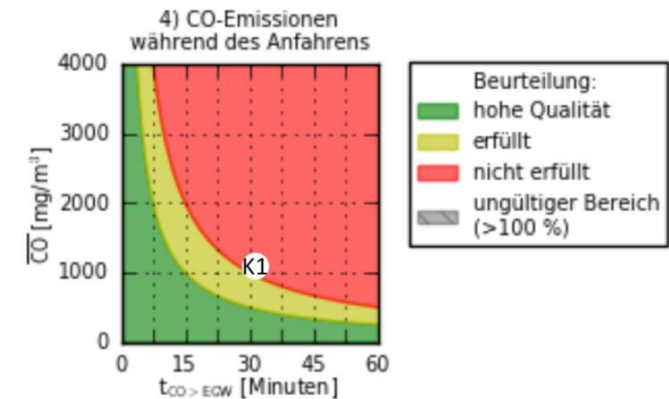
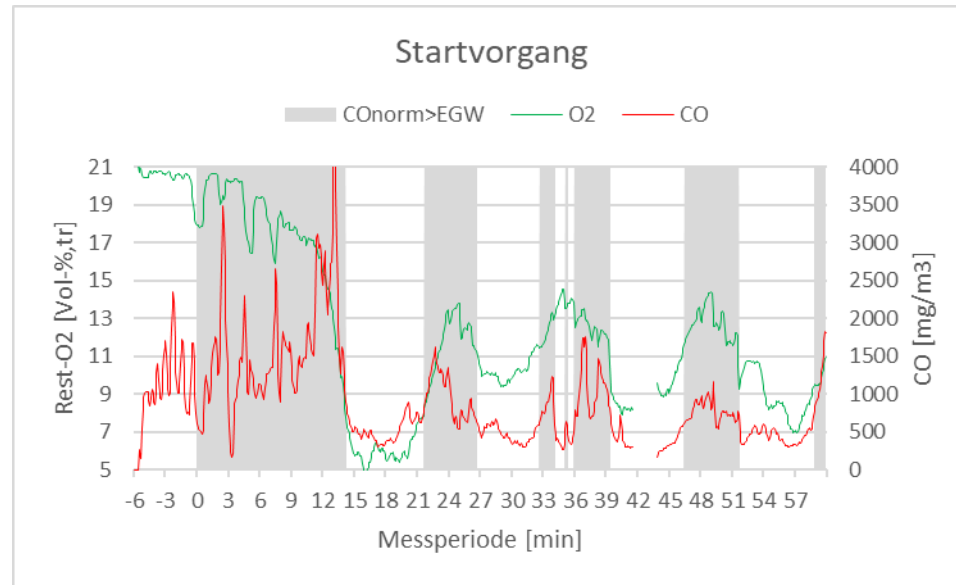


Mit Unterstützung von



Messung Startvorgang

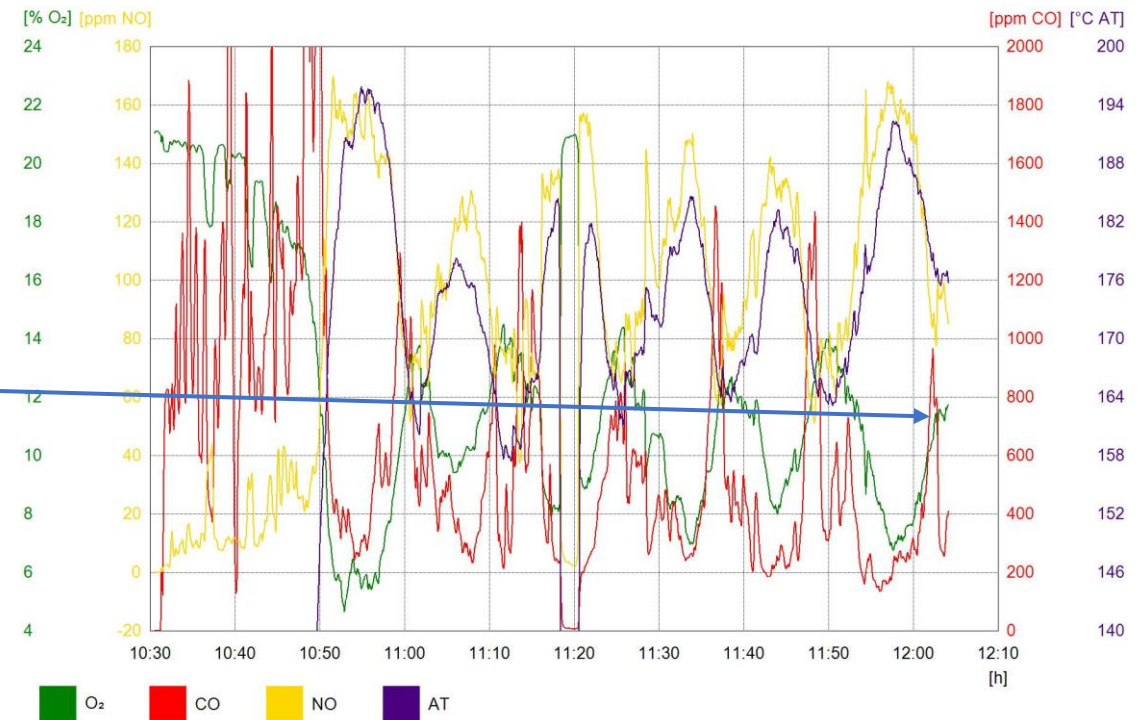
- Brennstoffwassergehalt $M=32\%$
- Minimale Rauchentwicklung sichtbar während rund 15-20 min
- Startvorgang mit hohen CO-Emissionen, jedoch nach 15 min Grenzwert erfüllt.
- Kriterium nach QSH für den Startvorgang knapp nicht erfüllt
→ Grund: Zyklischer Anstieg von O_2 und CO auf Grund des Brennstoffeinschubs (Einschieber)



Messung stationäre Betriebsphase

- Messung der Verbrennungsluftmengen
→ könnte noch optimiert werden.
Zielverhältnis PL/SL ca. 40/60%.
- Anpassungen an der Regelung, um Brennstoffeinschub “kontinuierlicher” zu machen
→ CO-Spitze (rote Linie) konnte um rund 50% reduziert werden (sichtbar um ca. 12:00)

	Volumenstrom [m³/h]	Anteil an Gesamtluftmenge		Ber. Luftüber- schuss
Primärluft	75	54%	54%	1.14
Sekundärluft links	37	27%	46%	0.96
Sekundärluft rechts	25	18%		
Total	138	100%	100%	2.1



Mit Unterstützung von

Schlussfolgerung

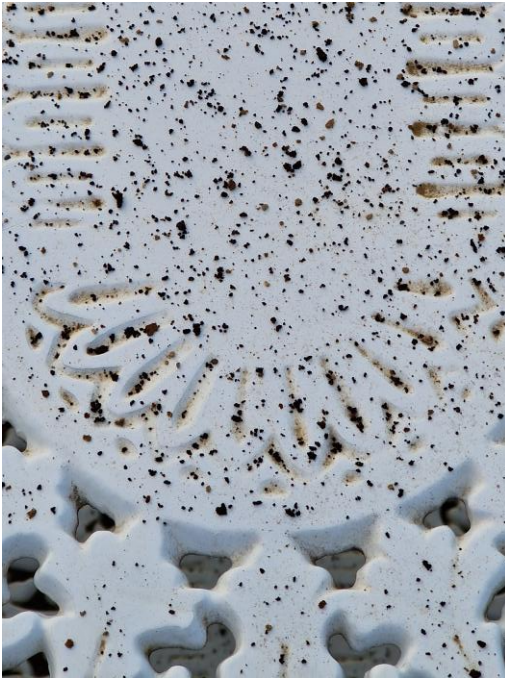
- Schlechte Verbrennung und Rauchentwicklung wegen zu feuchter Hackschnitzel (Frühlingslieferung und Starkregenereignis).
→ Sommerbetrieb mit trockeneren Hackschnitzel mit $M \leq 35\%$
- Optimierungspotenzial über Steuerung ist vorhanden und einfach umsetzbar

QSH Fallbeispiel 2

Quellenzuordnung bei Nachbarschaftsklage aufgrund von Ablagerungen in der Umgebung

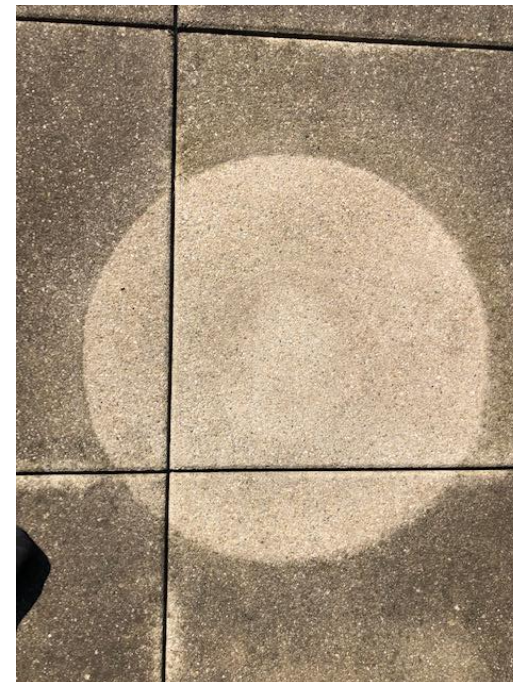
Ausgangslage

- Bewohner wurden sensibilisiert auf Grund eines Ereignisses mit erheblichem Staubausschuss
- Grund war eine Fehlmanipulation des Technikers bei der Reparatur des E-Filter



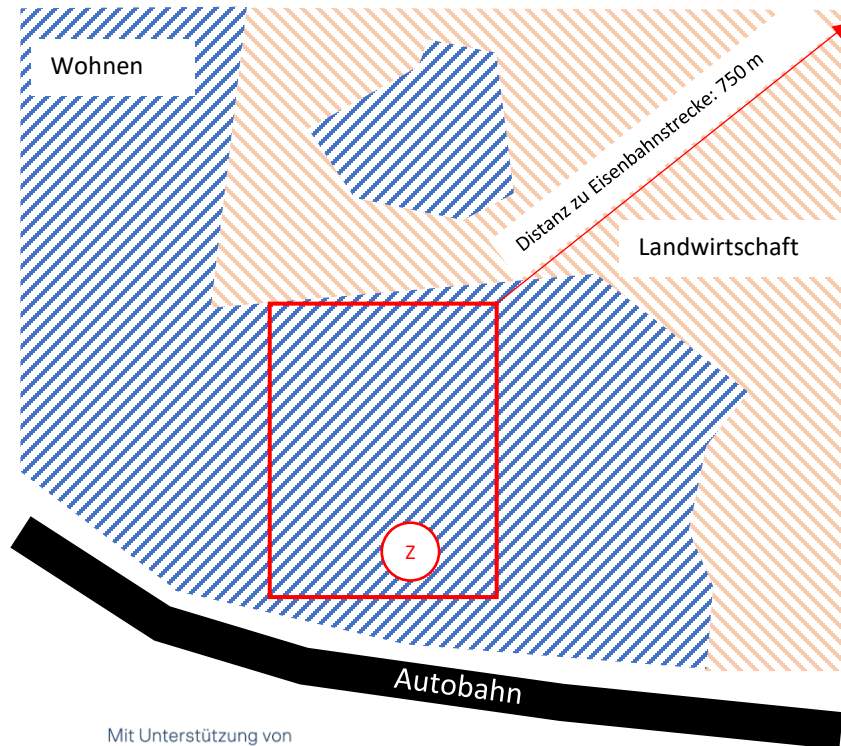
Ausgangslage

- Es werden vermehrt Reklamationen wegen Staubablagerungen gemacht

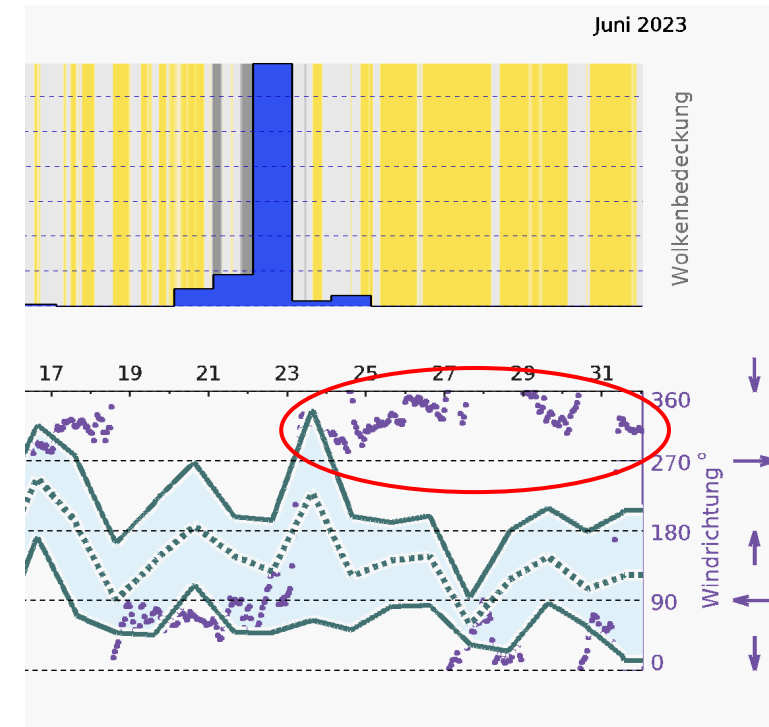


Situation vor Ort

- Autobahn südlich, Eisenbahn nordöstlich und Landwirtschaft nördlich und östlich von Wohnquartier
- Wind in den Tagen vor der Probenahme aus Norden, meist Nord-West, wenig Nord-Ost

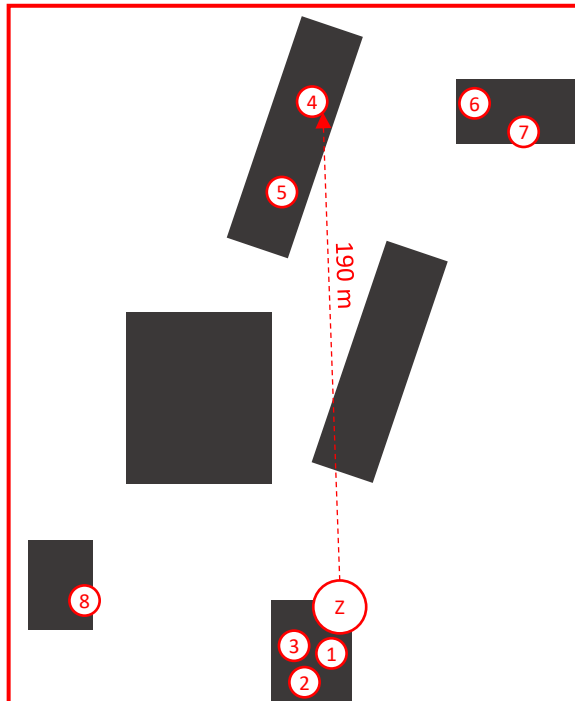


Mit Unterstützung von



Probenahme

- Es wurden insgesamt 10 Proben genommen. 1 Probe beim Kamin, 8 Proben auf Terrassen in der Umgebung und eine Ascheprobe aus der Heizzentrale. Zusätzlich wurde durch eine Bewohnerin eine Probe des Grobstaubereignisses abgegeben.



Mit Unterstützung von



Probenahme

- Probenahme erfolgt durch abwischen mit einem Papiertaschentuch, oder durch abkratzen von der jeweiligen Oberfläche



Mit Unterstützung von

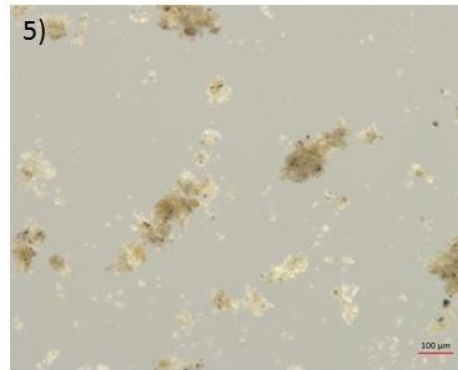
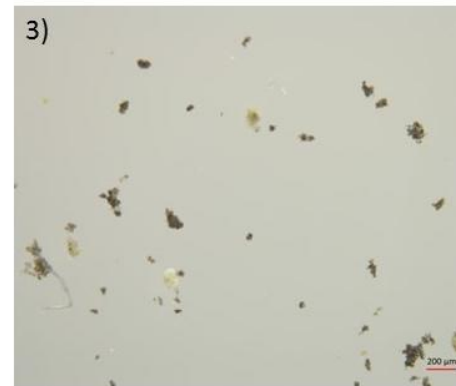
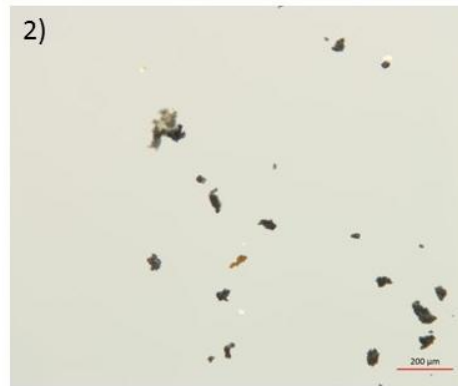
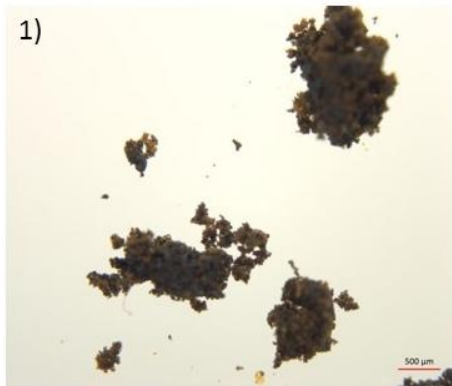
Quellenzuordnung

Quellenzuordnung nach 6 Partikelarten

Klasse	Chemie	Potentielle Quellen (Liste ist nicht abschliessend)
Metallische	Metalle und Metalloxide	Eisenbahnabrieb, Metallverarbeitung, Recyclingindustrie, Verwitterung metallischer Oberfläche, metallischer Mineralstaub
Reifenabrieb	C, O-dominiert mit komplexer Chemie von untergeordneter Elementen	Strassenverkehr
Mineralisch	Silikate, Karbonate und weitere anorganische Partikel, welche in keine der anderen Gruppen passen	Bodenaufwirbelung (z.B. Landwirtschaft oder Winderosion wie im Falle des Saharastaubes), Gesteinerosion, Verarbeitung von mineralischen Baustoffen, Baustoffgewinnung (z.B. Steinbrüche)
Biogen/Organisch	C/O - dominiert mit weiteren organisch auftretenden Elementen	Biologische Aktivität (Pollen, Sporen, Bakterien), Fragmente von Organismen (Blätter, Holz, Pilze etc.), Holzverarbeitung, Getreidetrocknungsanlagen
Salz	NaCl	Streusalz, Meer
Asche (Holzfeuerung)	Kaliumsalze und kaliumsalzdominierte Mischpartikel	Holzfeuerungen, Waldbrände

Resultate

Partikelanalyse mit dem Lichtmikroskop (LM)



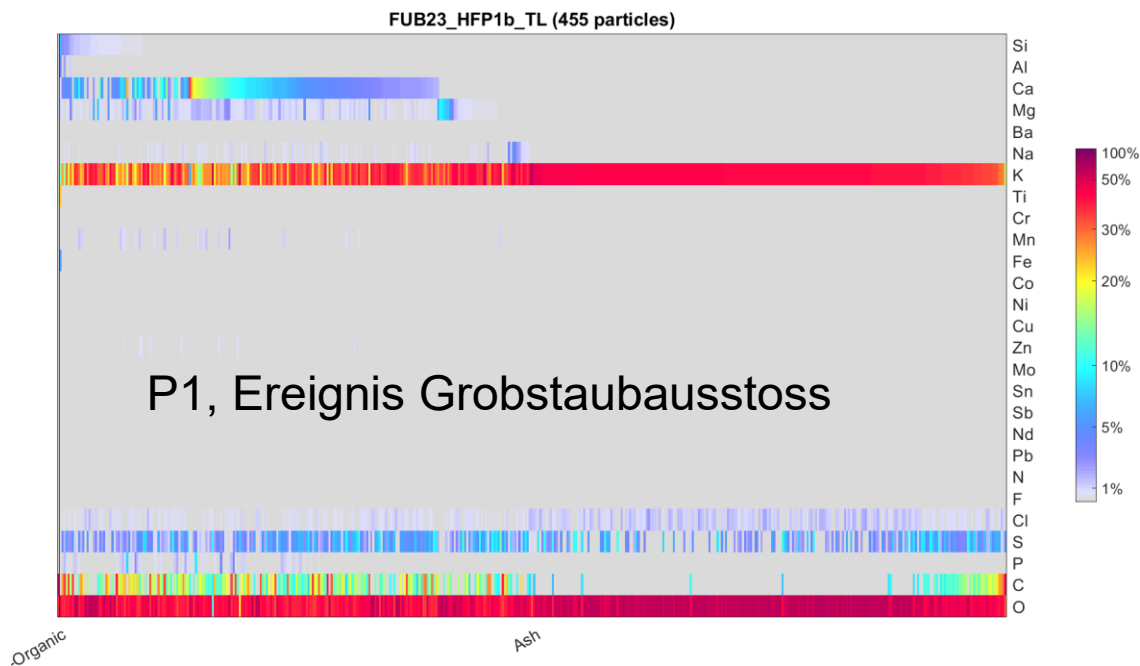
- 1) Staubpartikel Ereignis Grobstaubausstoss
- 2-4) Staubpartikel Probenahme
- 5) Referenzasche aus Aschecontainer

Mit Unterstützung von

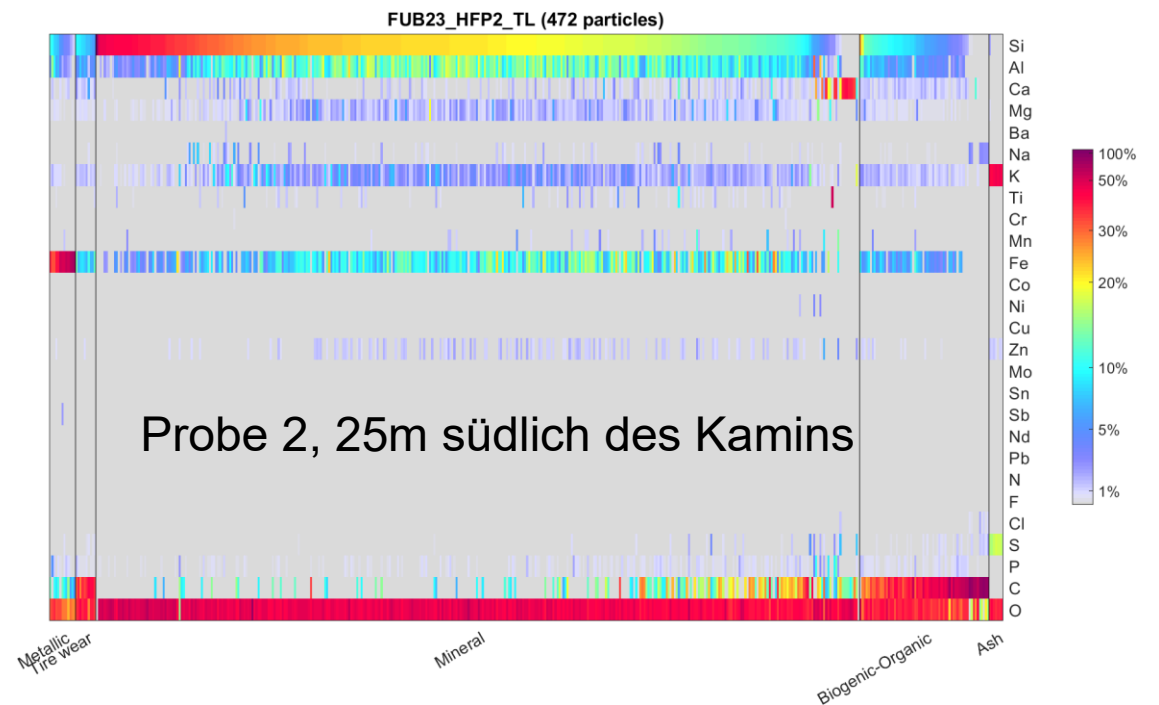
Resultate

Partikelanalyse mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM)

- Pro Probe zwischen rund 370 bis 700 analysierte Partikel



Mit Unterstützung von



Resultate

Partikelanalyse mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM)

Partikelart	Partikelanzahl				Gewichtsanteil			
	Probe-Nr				Probe-Nr			
	1b*	2	3	4	1b*	2	3	4
	Partikelanzahl in [%]				[Ma-%]			
Metallisch ⁺	0.0	2.7	2.5	1.7	0.0	0.5	1.8	12.3
Reifenabrieb	0.0	2.1	0.6	1.7	0.0	10.8	2.4	3.1
Mineralisch	0.0	78.1	79.7	55.7	0.0	55.0	73.5	36.5
Biogen/Organisch	0.2	13.2	13.6	37.8	0.0	33.0	22.3	48.1
Salz	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Asche (Holzfeuerung)*	99.8	3.9	3.7	3.0	100.0	0.7	0.0	0.0
	100	100	100	100	100	100	100	100

⁺Möglicherweise bei Probenahme durch Abkratzen von metallischer Oberfläche generiert.

*Grosse Mischpartikel. Andere Bestandteile werden möglicherweise von der Signatur der dominierenden Partikelklasse "überlagert".

Mit Unterstützung von

Aufwand

- Probenahme vor Ort, Bericht 1.5 AT
- Analyse Staubprobe im Labor
 - 200.- pro Probe mit LM
 - 900.- pro Probe mit REM
 - 600.- Laborbericht zu Resultaten (optional)
- Zeitdauer Probenahme bis Bericht ca. 1 Monat
- Kosten von ca. 6'500 Fr. wurden vom Betreiber getragen

Schlussfolgerung

- Ungenügende Kommunikation durch Betreiber nach Grobstaubereignis
 - Dadurch schwierige Situation mit Bewohner
 - Mehrkosten wegen zusätzlichen Proben
- Grobstaubpartikel sind optisch nicht eindeutig einer Quelle zuzuordnen
- Empfehlung: Analyse im Winter zu wiederholen

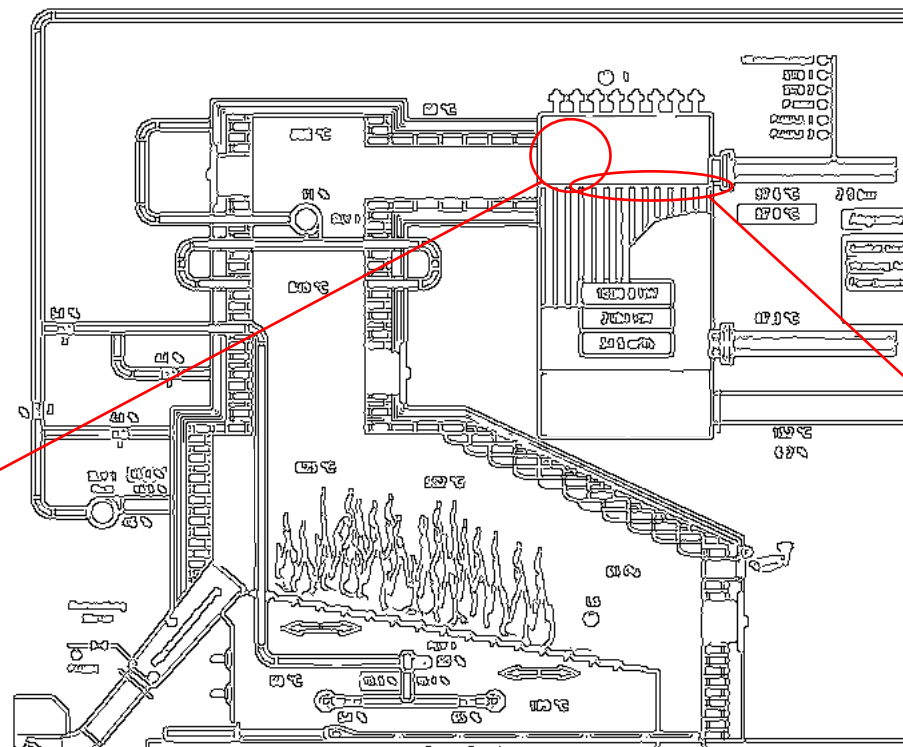
QSH Fallbeispiel 3

Beurteilung zu Korrosionsproblemen

Ausgangslage



Abgaskammer
T = ?, min. 95°C



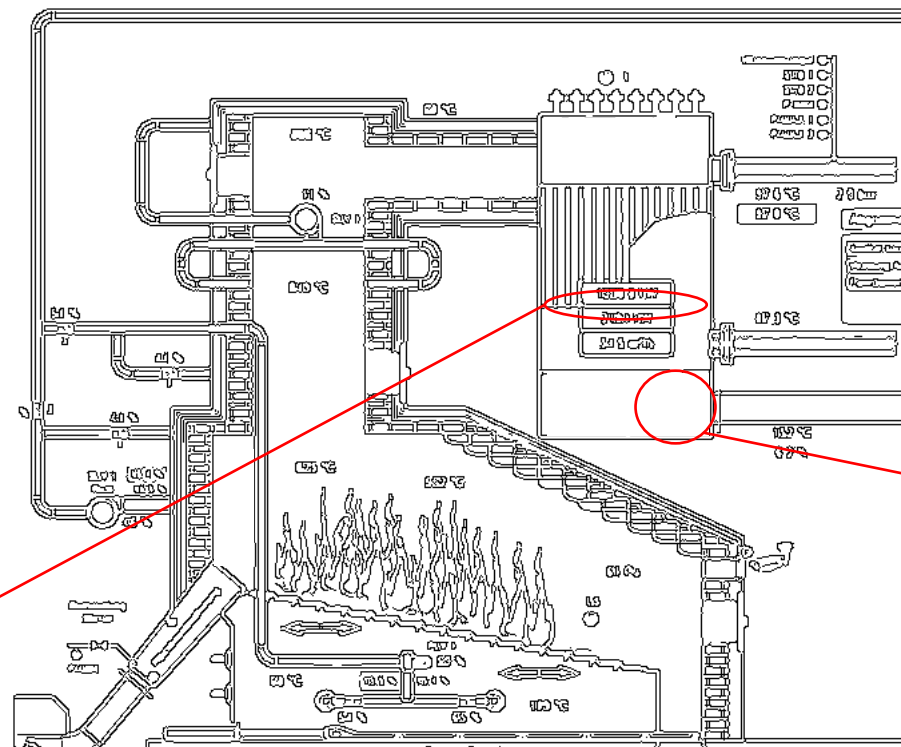
Kesselplatte oben
T = 95-100°C

Mit Unterstützung von

Ausgangslage



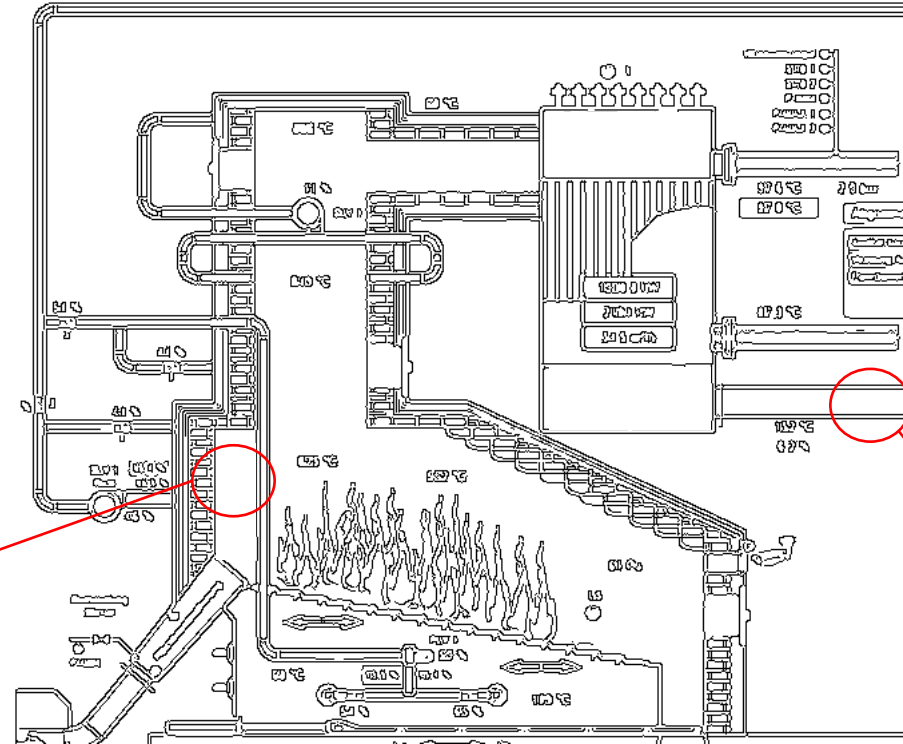
Kesselplatte unten
T (lastabhängig) = 82-93°C



Wendekammer unten
T = ca. 150°C

Mit Unterstützung von

Probenahme Korrosionsprodukte



Probe Feuerkammer

- Sulfat
- Calcium

Probe
Abgasventilator

- Ammonium
- Chlorid

Probenahme Korrosionsprodukte: Resultate

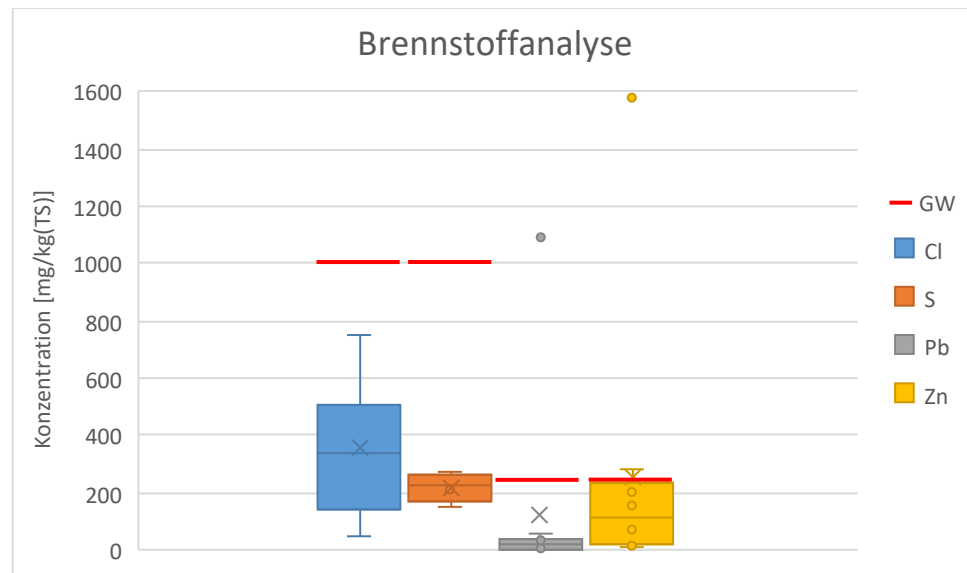
Gefundene Bestandteile:

- Sulfat: aus Brennstoff
(bildet K_2SO_4 , Na_2SO_4 , $CaSO_4$)
- Calcium: aus Brennstoff
- Chlorid: aus Brennstoff
- Ammonium: Bildung über NH_3
(aus Brst oder SNCR)

			P1, Feuerkammer	P2, Ventilator
pH-Wert		[-]	10.1	3.1
el. Leitfähigkeit	μ	[$\mu S/cm$]	21700	7320
Chlorid	Cl^-	[Ma-%]	0.16	3.61
Sulfat	SO_4^{2-}	[Ma-%]	26.32	0.63
Nitrat	NO_3^-	[Ma-%]	n.n.	0.04
Phosphat	PO_4^{3-}	[Ma-%]	n.n.	n.n.
Formiat	$HCOO^-$	[Ma-%]	n.n.	n.n.
Acetat	CH_3COO^-	[Ma-%]	n.n.	n.n.
Ammonium	NH_4^+	[Ma-%]	n.n.	1.24
Kalium	K^+	[Ma-%]	13.65	0.26
Natrium	Na^+	[Ma-%]	4.27	0.15
Magnesium	Mg^{2+}	[Ma-%]	0.02	0.1
Calcium	Ca^{2+}	[Ma-%]	1.08	0.18
n.n. = nicht nachweisbar (<0.01 Ma-%)				

Brennstoffanalyse

- Grenzwert gemäss Ausschreibung: für Zink und Blei überschritten (Hinweis: Analyse von Holz bevor sortiert in Bunker gegeben wird)
- Grenzwert gemäss Brennstoffliefervertrag: nichts definiert



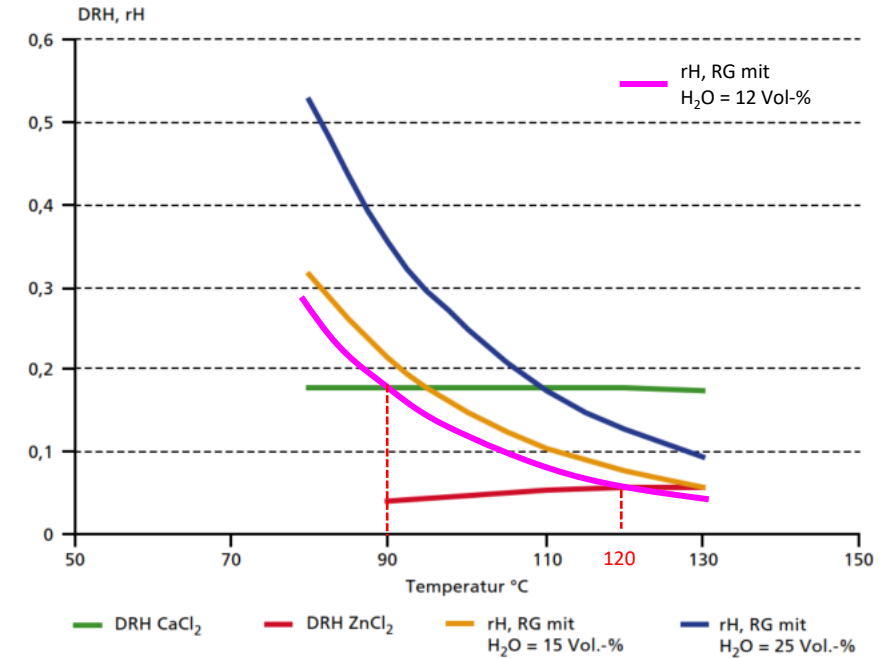
Mit Unterstützung von

Mögliche Ursachen für Korrosion

1. Hygroskopische Salze

Taupunkte:

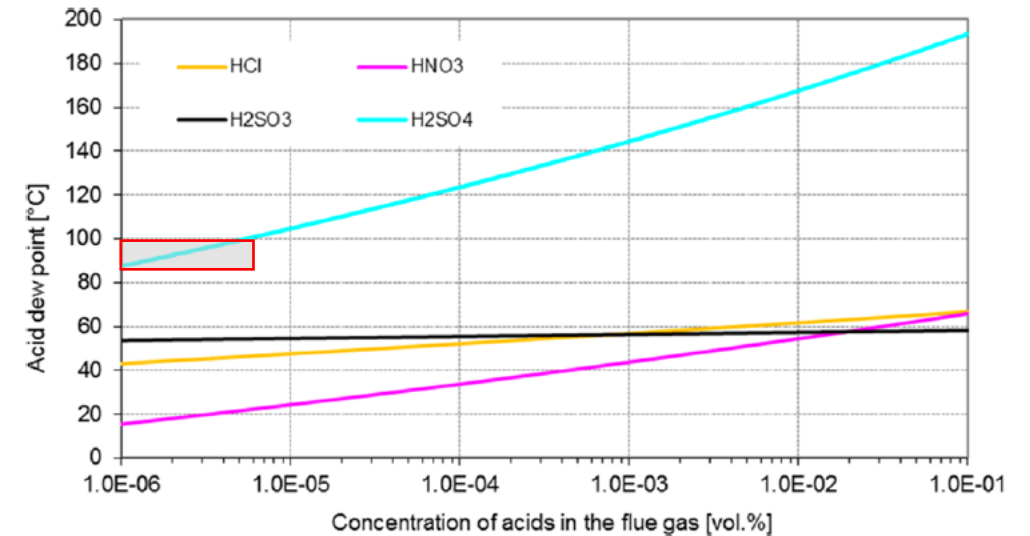
- ZnCl_2 : ca. 120°C
- CaCl_2 : ca. 90°C



Mögliche Ursachen für Korrosion

2. Bildung von Schwefelsäure aus Schwefel im Brennstoff

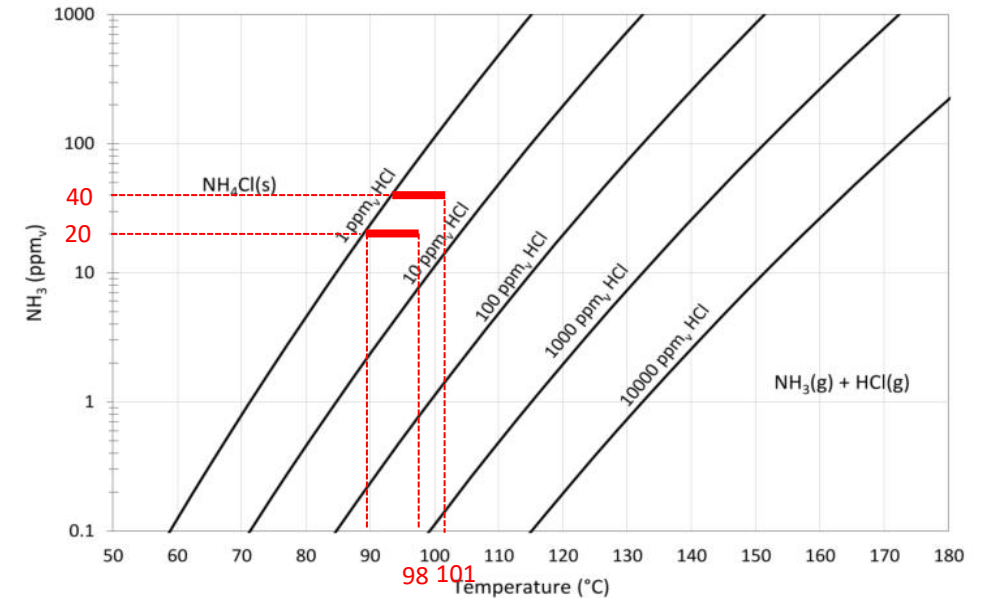
- Schwefelgehalt: ca. 150-250 mg/kg
- SO_2 im Rauchgas: 3-6 mg/m³
- Daraus zu SO_3 konvertiert: 0.01 – 0.08 ppm
- Säuretaupunkttemperatur: 81-97°C



Mögliche Ursachen für Korrosion

3. Bildung von Ammoniumchlorid auf Grund von NH_3 -Schlupf

- NH_3 -Schlupf: im Mittel $16 \text{ mg/m}^3 \rightarrow 20 \text{ ppm}$
Max. amtl. Messung: $33 \text{ mg/m}^3 \rightarrow 40 \text{ ppm}$
- HCl, berechnet aus Brst-Analyse:
 $160 - 700 \text{ mg/kg} \rightarrow 1-5 \text{ ppm}$
- Resultierender Taupunkt: $90-98^\circ\text{C}$
- Mit max. NH_3 -Werten:
Resultierender Taupunkt: $>100^\circ\text{C}$

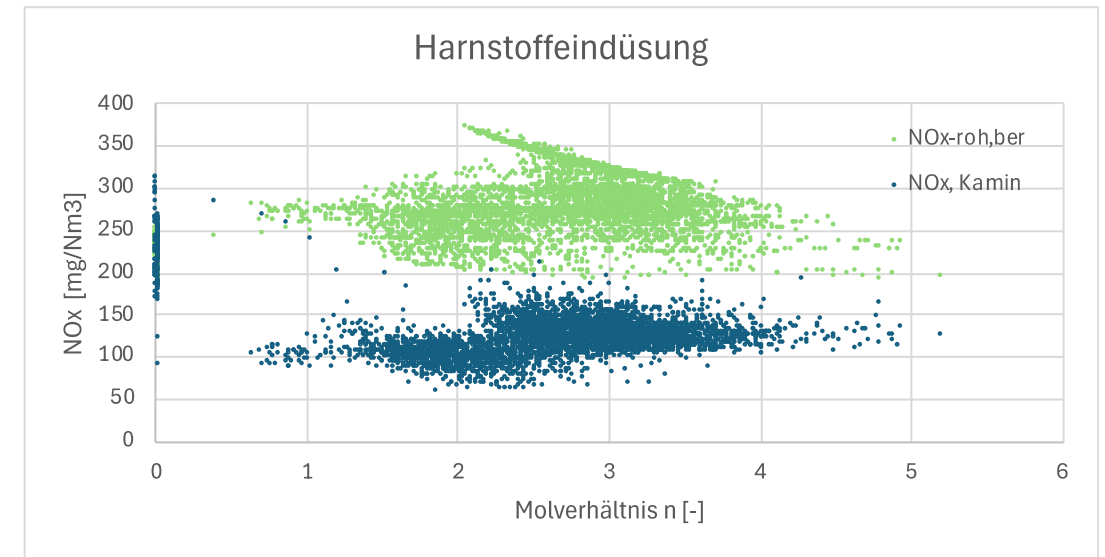


Mögliche Ursachen für Korrosion

3. Bildung von Ammoniumchlorid auf Grund von NH_3 -Schlupf

Auswertung SNCR-Anlage

- Sofern SNCR in Betrieb, ist NO_x -Grenzwert i. d. R. eingehalten
- Zielwert Molverhältnis NH_3 zu NO_x : $n \approx 2$
- Abschätzung Molverhältnis-Istwert: $1 < n < 4$
→ teilweise Überdosierung
- Bei zu tiefen Temperaturen und/oder zu kurzer Verweilzeit kann es zu NH_3 -Schlupf kommen
→ Korrosionsgefahr



Mögliche Ursachen für Korrosion: Schlussfolgerung

Mehrere Korrosionsmechanismen sind als Ursache (auch kombiniert) in Betracht zu ziehen:

Korrosionsmechanismus		krit Temp.	Betroffener Anlagenbereich
Hygr. Salze	MgCl	81 - 84	Nicht relevant
	CaCl	90 - 94	Unterer Kesselbereich
	NH ₄ Cl	90 - 98	Gesamter Kessel
	ZnCl	ca. 120	Gesamter Kessel
Säure	H ₂ SO ₄	81 - 97	Gesamter Kessel

- Kritische Temperatur: Kälteste Stelle=Kesselrücklauftemperatur
- Wichtigste Einflussgrösse:
Sollwert Kesselvorlauftemperatur: aktuell bei 97°C
Wird dieser erhöht steigt entsprechend auch die Kesselrücklauftemperatur an
- Korrekter Betrieb der SNCR-Anlage ist bez. Korrosion entscheidend

Grundlagenwissen

Entstehung von Flockenruss



Mit Unterstützung von



Staubarten

Russ entsteht bei
Luftmangel



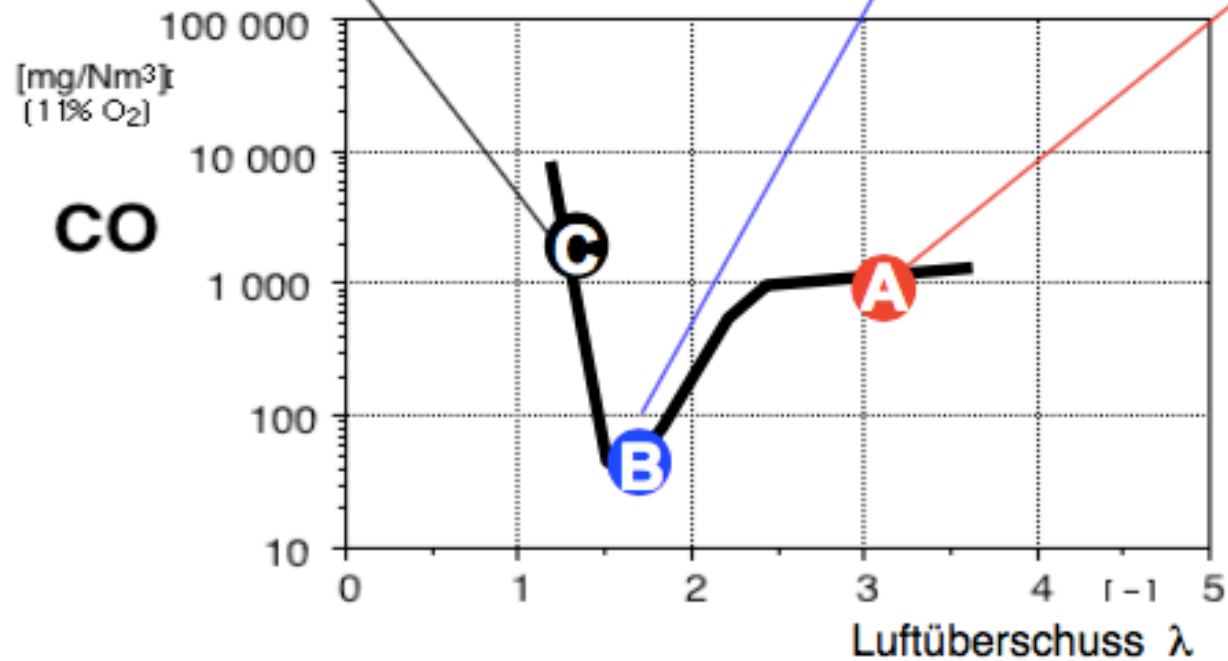
Russ



Salze



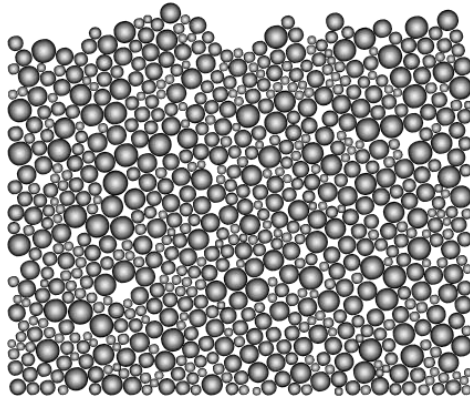
Teer (COC)



Mit Unterstützung von

Flockenbildung im Elektroabscheider

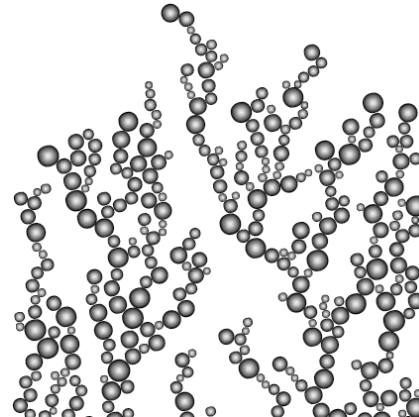
Salze oder Teer (COC)



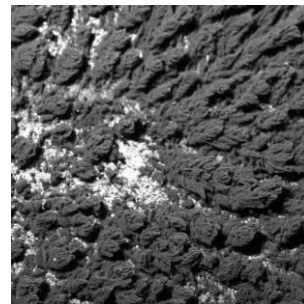
- tiefe oder mittlere Leitfähigkeit:
- kompakter Schichtaufbau
- mittlere Dichte



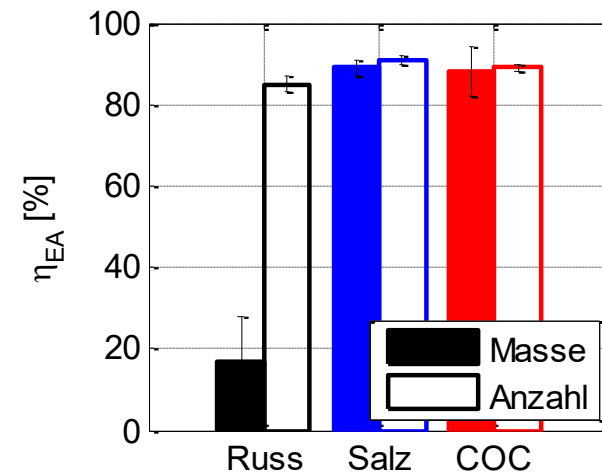
Russ



- hohe Leitfähigkeit:
- verästelter Schichtaufbau
- geringe Dichte



- Agglomeration von Russ im E-Filter
- Wiedereintrag wegen kleiner Dichte



Mit Unterstützung von

Grobstaubauswurf Ursachen: Pellets

sichtbar



Wasser



versteckt



mech. Zerkleinerung



Mit Unterstützung von

Grobstaubauswurf Ursachen: Kaminzug

Feuerungen ohne Primär- und Sekundärluftventilator benötigen klar definierte Rahmenbedingungen

- Unterdruck am Kesselausgang, z.B. 10 -15 Pa
- Herausforderung lange Abgasleitungen
- Multizyklon hilft (nicht)
- Zugregelklappen



Mit Unterstützung von

Grobstaubauswurf in der Umgebung: Schlussfolgerung

	Flockenruss in der Umgebung
Ungeeignete Brennstoffqualität • Feingutanteil reduzieren • gleichmässigere Holzschnitzel • nur Energierundholz verwenden (keine Äste, Restholz etc.)	wichtig
Primärluft	zu wenig
Kaminzug	zu grosse Abweichung von Sollwert

Schlussfolgerungen Dienstleistung QS Support

Bei Anfragen an QS-Support zeigt sich oft, dass:

- das Problem bereits über längere Zeit besteht
- keine gesamtheitliche Systemanalyse vorliegt
- die tatsächliche Ursache noch nicht identifiziert werden konnte
- das Vertrauensverhältnis zwischen den involvierten Parteien eingeschränkt ist
- eine sachliche Diskussion daher oft schwierig ist
- bereits erhebliche Kosten entstanden sind

→ Oftmals ist es ein KOMMUNIKATIONSPROBLEM

Schlussfolgerungen Dienstleistung QS Support

Die Erfahrung zeigt, dass mit Unterstützung durch QS-Support

- meist einvernehmliche Lösungen gefunden werden
- die Umsetzung technischer Massnahmen oft mit vergleichsweise geringem Aufwand möglich ist

→ Es kann auch für Lieferanten, Behörden und Kontrollpersonen zielführend sein, Betreiber frühzeitig auf das Angebot von QS-Support aufmerksam zu machen.

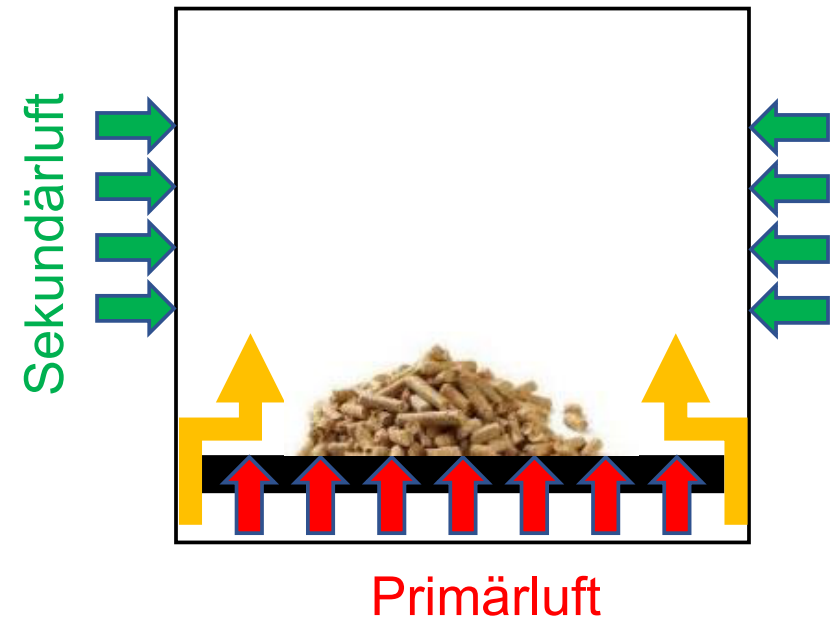
Schlussfolgerungen Dienstleistung QS Support

Im Rahmen von QS-Support unlösbare Fälle

- Versteckte Mängel
- Selten und unregelmässiger Staubauswurf
- Schwachstellen im Anlagenkonzept

Offene Fragen:

- Grenze des »Normalen«
- Tipps für Kaminanlagen



Diskussion

- Fragen?
- Was sind Ihre Erfahrungen?
- Anregungen?

Kontakt

Holzenenergie Schweiz

Laurent Audergon
Geschäftsführer
Neugasse 10
8005 Zürich
044 250 88 11
audergon@holzenenergie.ch

Adrian Lauber

Koordinationsstelle QS Support
Flimatec AG
6048 Horw
076 477 64 12
adrian.lauber@flimatec.ch

Martin Kiener

EnOp GmbH
3125 Toffen
077 422 21 19
martin.kiener@enop.ch

Thomas Baltensperger

Baltensperger Energie GmbH
6594 Contone
079 192 63 32
info@baltensperger-energie.ch

www.holzenenergie.ch

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Quellen:

Lauber et al: Beurteilung von automatischen Holzfeuerungen mittels Langzeitmessungen im Praxisbetrieb – Validierung von Messmethoden, Auswerteverfahren und Beurteilung der Messresultate, 2016

Lauber et al: Praxisuntersuchung zur Vermeidung von Partikelaustritt bei Holzfeuerungen bis 500 kW mit Elektroabscheider, 2018

Lauber et al: Praxisbeispiele zu QS-Support im Alltag, Holzenergiesymposium 2020

Lauber A.: Grobstaubaustritt von Holzfeuerungen: Erfahrungen und Massnahmen, Runder Tisch 2021

Mit Unterstützung von