

Entwicklung von neuer Rauchgassensorik zur optimierten Ofenregelung für das Projekt: CleanFIRE (Entwicklung des ersten Pelletofens mit null Schadstoffemissionen)

Frank Hammer, Saner Akan, Arvind Balakrishnan

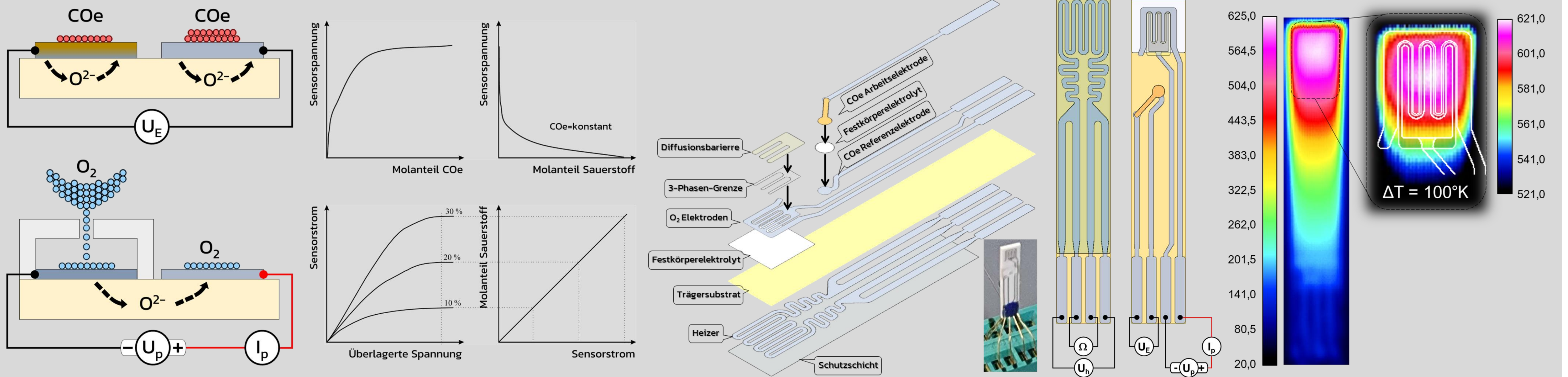
LAMTEC GmbH & Co. KG, Josef-Reiert-Str. 26, Walldorf

Emissionsarmer Pelletofen mittels sensorischer Abbrandoptimierung

Das Förderprojekt CleanFIRE hatte die Entwicklung eines Pellet-Kaminofens für einen Betrieb bei quasi-Null-Emissionen an CO <math>< 30 \text{ mg/Nm}^3</math> (13% O₂ tr), und bei Wirkungsgraden, die deutlich über dem Stand der Technik liegen zum Ziel. Die dafür erforderliche Rauchgassensorik zur Messung des Sauerstoffgehaltes O₂ und der Gehalte an unverbrannten Komponenten CO_e im Rauchgas soll mit geeigneter Regelung dafür sorgen, dass eine saubere und effiziente Verbrennung erzielt werden kann. Um eine schnelle Ansprechzeit und Robustheit im aggressiven Rauchgas zu erreichen, wurden im Teilprojekt das potentiometrische CO_e- und das amperometrische O₂-Messprinzip in einem hochtemperaturbeständigen, miniaturisierten Festkörper-Elektrolyt-Sensorelement kombiniert. Dieses wurde in eine hochtemperaturbeständige Gehäuseperipherie integriert, im Labor charakterisiert und im Rauchgas des Pelletofens verifiziert. Dabei konnten Aussagen zu Alterung und Drift gewonnen werden.

CO_e und O₂-Messung mit einem Sensor: KombiSEN

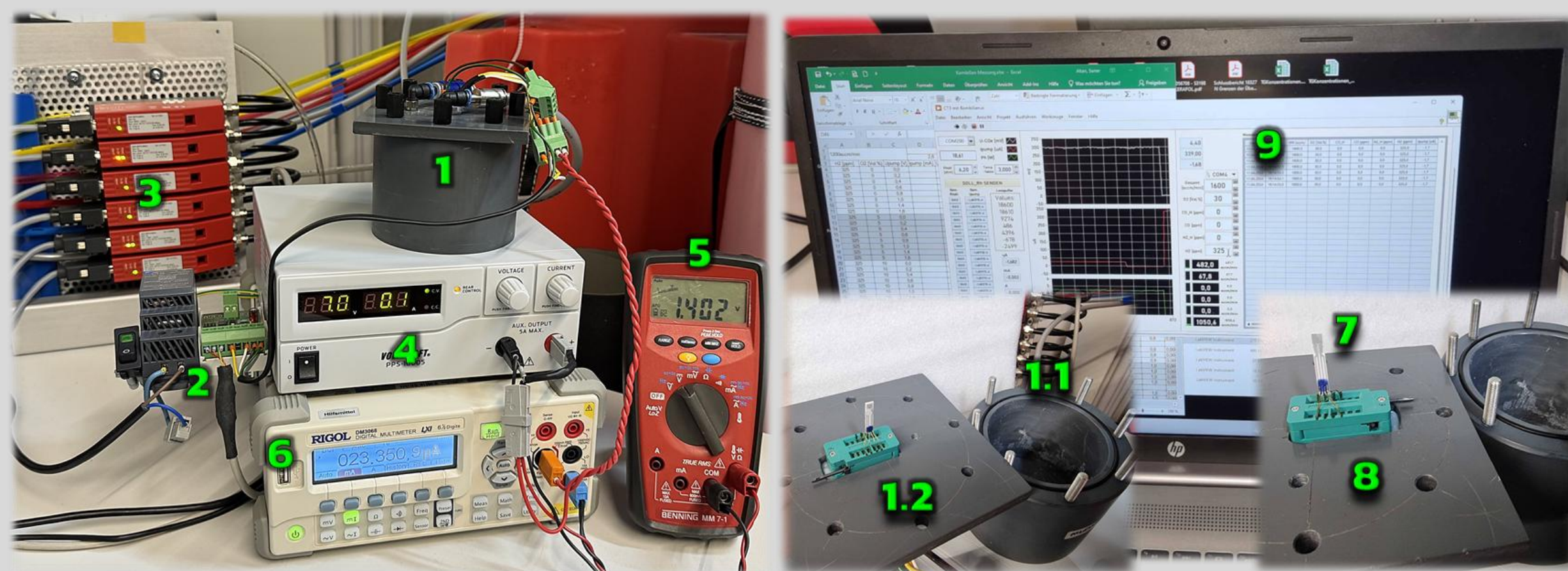
Das Messprinzip für O₂ zwischen 0 - 21 Vol.%, beruht auf der Amperometrie, das für CO_e zwischen 0 - 1 Vol.% auf dem Mischpotentialprinzip. Für die nötige Ionenleitfähigkeit wird der Festelektrolyt auf eine Betriebstemperatur >400°C gebracht. Die Entwicklungsarbeiten am CO_e/O₂-Sensorelement fokussierten sich auf die Optimierung des Sensorlayouts mit bis zu 14 im Multilayer-Verfahren übereinander siebgedruckten Schichten beiderseits auf einem keramischen Trägersubstrat.



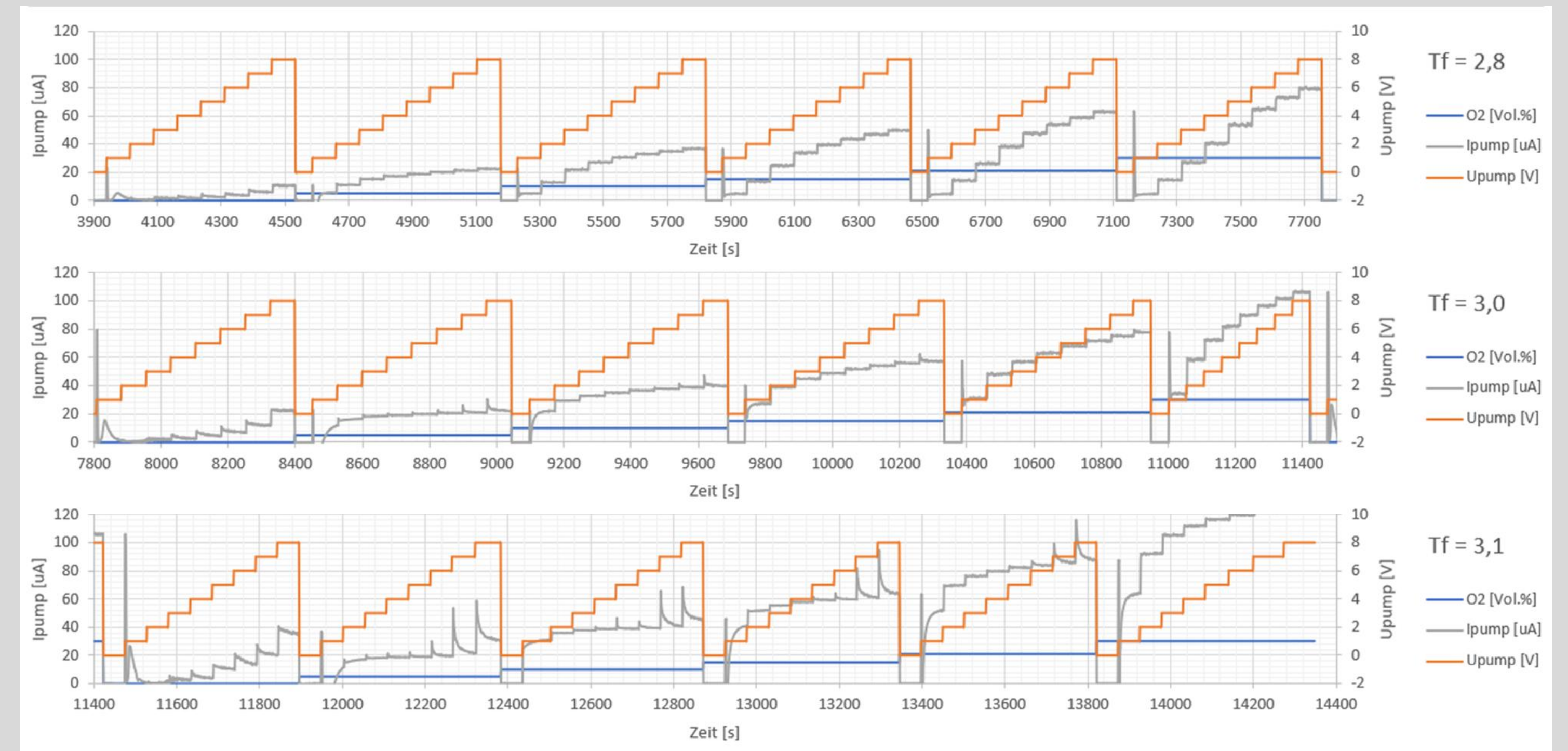
Auf einem 23x3,5x0,5 mm³ Al₂O₃-Substrat befindet sich die Heizerstruktur (Pt) auf der einen und die Funktionskeramik (YSZ) samt O₂- (Pt) und CO_e-Elektrodenstrukturen (Pt/EM-Cermet) auf der anderen Seite. Mittels Thermografie-Messungen wurde die ideale Position der O₂-Strukturen im Temperaturbereich ca. 600°C und die der CO_e-Elektrode für eine hohe Sensitivität bei ca. 450°C bestätigt. Zuleitungen führen die Heizer- und Sensorsignale vom heißen Sensorkopf weg in den kühleren Kontaktpad (Pt)-Bereich zum Signalabgriff. Dieser wird mittels spaltgeschweißten Drähten (Pt/Ni, d = 0,2 mm) realisiert, die mittels Spezialglas mechanisch fixiert werden.

CO und O₂-Charakteristiken

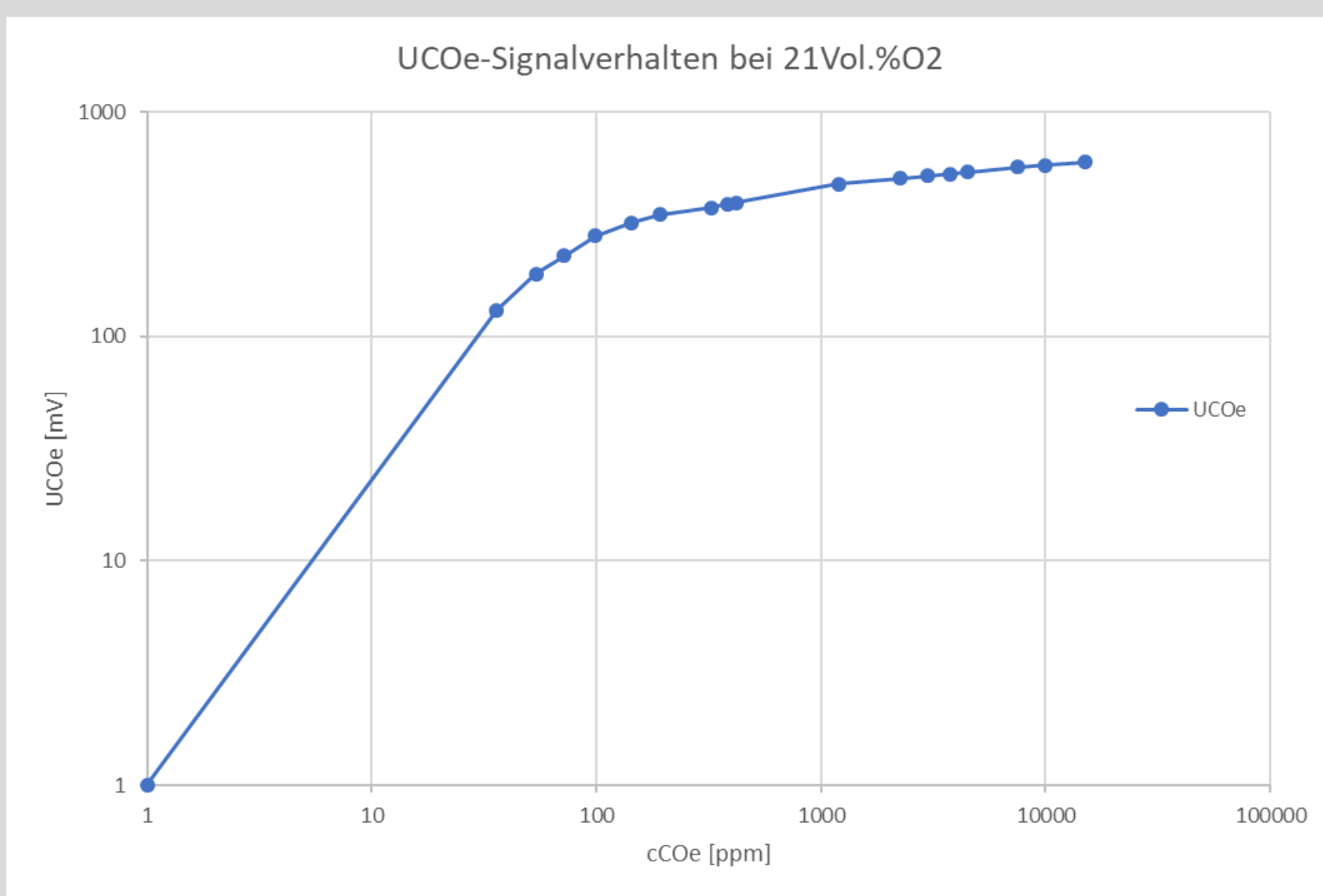
Der getestete CO_e/O₂-Sensor hat bei optimaler Betriebstemperatur (Temperaturfaktor Tf = 3,1) und einer O₂-Pumpspannung von 0,8 V die für eine 1-Punkt-Kalibrierung an Luft vorteilhafte lineare Ursprungskennlinie zwischen 0 - 21 Vol.% und die erwartete O₂-abhängige annähernd logarithmische CO_e-Kennlinie zwischen 0 - 10.000 ppm. Die O₂-Querempfindlichkeit kann mit dem gemessenen O₂-Messwert korrigiert werden.



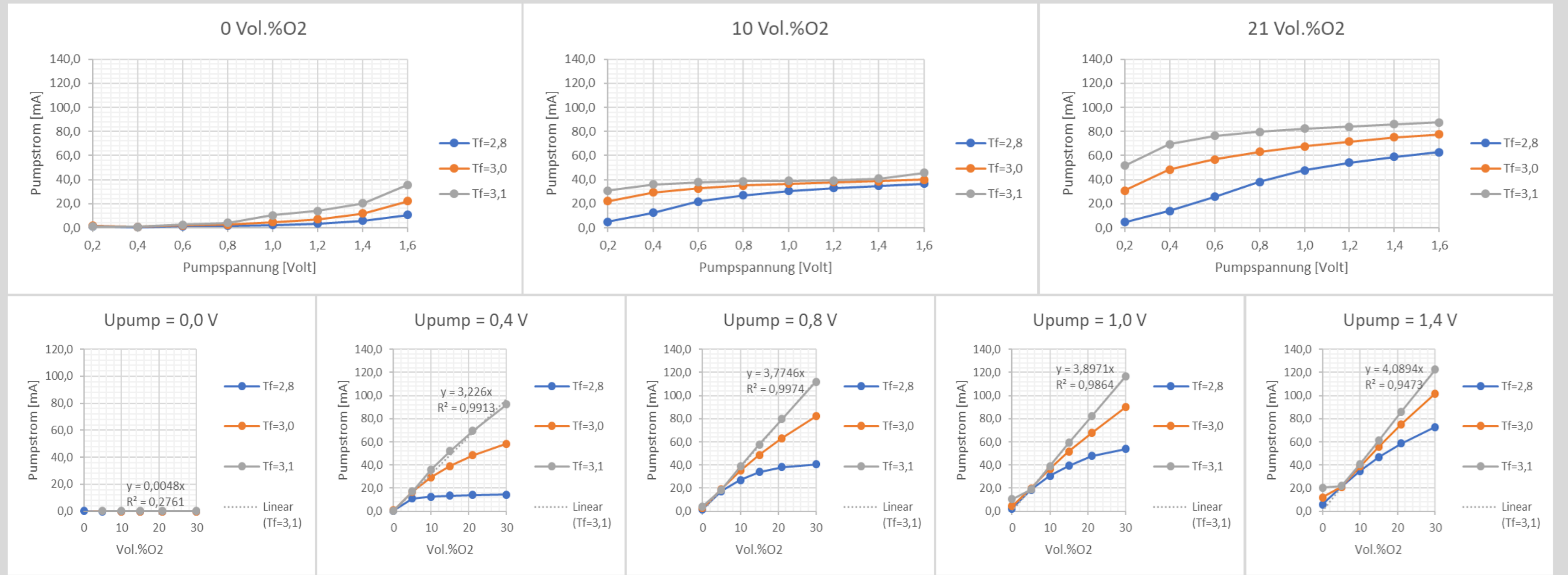
- Messkammer
- 1: Topf
- 2: Deckel
- Sensorelektronik
- Flow-Controller (Testgasquelle)
- Pump-Spannungsquelle für U_p [V]
- Multimeter für Messung U_p [V]
- Multimeter für Messung I_p [μA]
- Sensorelement mit Kontaktierungsdrähten
- Socket zur Sensorkontaktierung
- Laptop zu Steuerung, Visualisierung und Speicherung



Zeitlicher Verlauf der O₂-Sensorsignale (I_p) bei unterschiedlichen O₂-Konzentrationen mit unterschiedlichen Pumpspannungen (U_p) bei drei unterschiedlichen Sensor-Temperaturfaktoren (Tf)



c_{COe}-U_{COe}-Kennlinien der CO_e-Seite des CO_e/O₂-Sensors



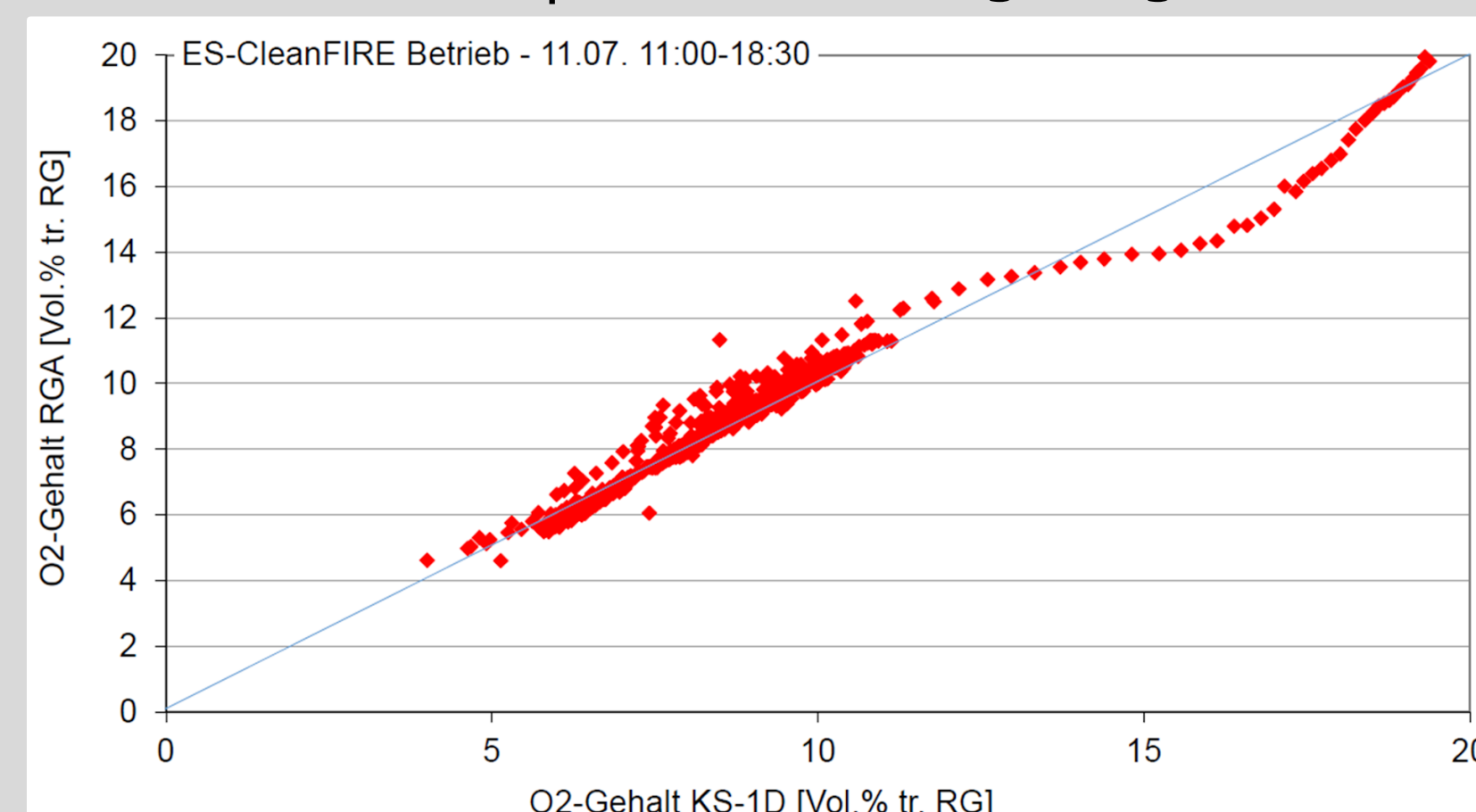
Oben: U_p-I_p-Charakteristiken, Unten: Die daraus entwickelten c_{O2}-I_p-Sensorstrom-Kennlinien der O₂-Seite des CO_e/O₂-Sensors

Zuverlässigkeit und Lebensdauer im Kamin

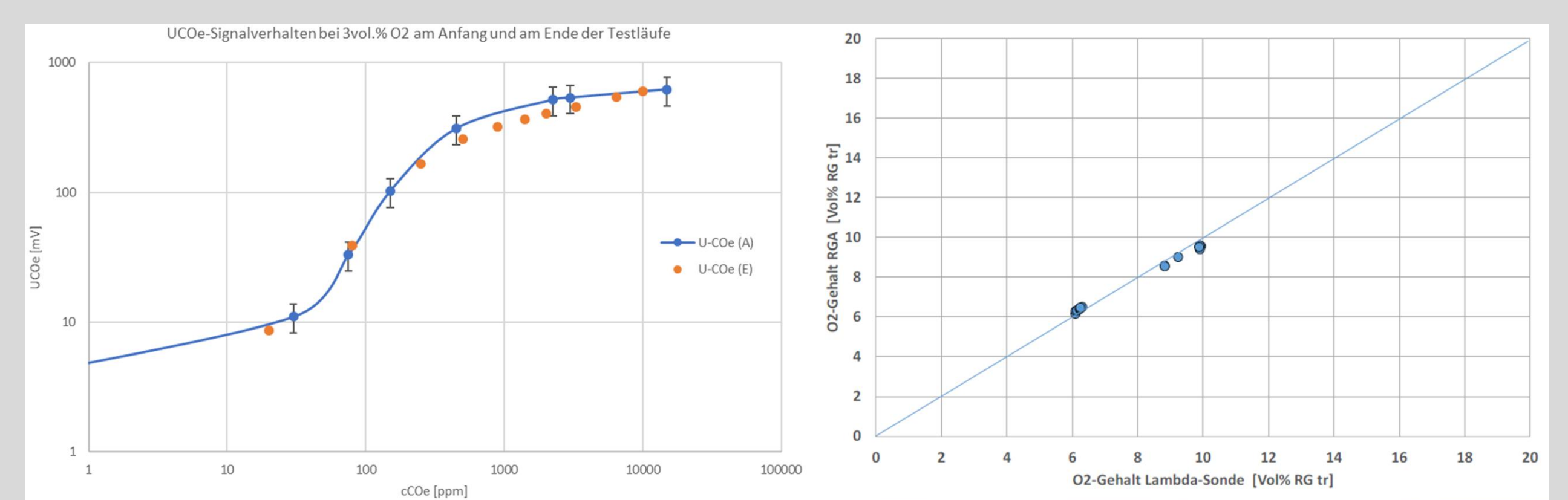
Die CO_e-Empfindlichkeit unter nominellen Betriebsbedingungen des Pellet-Ofens zwischen 0 - 80 ppm CO_e lag bei 0,6 bzw. 0,9 mV/ppm CO_e vor bzw. nach den Tests und ist zur Regelung des „sauberen“ Ofens ab etwa 10 ppm CO_e ausreichend. Am Ende wurde der Sensor über ca. 200 h Betriebsstunden im Kaminofen erfolgreich betrieben. Die Auswertung im Rauchgas mittels konventioneller Rauchgasanalytik als Referenz ergab (im Rahmen der spezifizierten Messgenauigkeit) keine erkennbare Drift in O₂ (±5 % omv) und CO_e (±25 % omv).



Versuchsanlage 2 am Prüfstand



O₂-Gehalt versus O₂-Gehalt des Referenzmessgeräts beim Ofen-Prototypen Versuchsanlage 2



	VA2 BIOS	VA2 BIOS	VA2 BIOS	VA2 BIOS	VA2 BIOS	VA2 BIOS	VA2 BIOS
	Kerzenförmig Betrieb NL	Kerzenförmig Betrieb NL	Kerzenförmig Betrieb NL	Kerzenförmig Betrieb 4 kW	Kerzenförmig Betrieb 2,5 kW	Kerzenförmig Betrieb 4 kW	Kerzenförmig Bewertung NL
von bis	02.07. 12:30	11.07. 12:45	16.07. 10:30	29.07. 11:50	30.07. 12:50	01.08. 11:00	06.08. 11:00
Dauer	04:00:00	01:00:00	00:45:00	05:00:00	05:00:00	06:00:00	05:00:00
O ₂ -Gehalt Lambda-Sonde	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
O ₂ -Gehalt RGA	6,3	6,1	6,1	8,8	9,9	8,8	6,3
	6,5	6,3	6,3	8,6	9,4	8,5	6,5

Sonde weist keinen Drift bzgl. O₂ auf

Oben links: UCO_e-Kennlinie bei 3 Vol.% O₂ am Ende der Testläufe (orange) im Vergleich zur Anfangskennlinie (A)

Oben rechts: Vergleich O₂-Messwert mit dem Referenzmessgerät beim Ofen-Prototypen Versuchsanlage 2