

# Korrosions- und Verschmutzungspotenzial bei der Chemical-Looping-Verbrennung von Ersatzbrennstoff bei unzureichendem Temperaturregime der Reaktoren

Marie Kaiser, Stephan Beckord, Philipp Mohn und Jochen Ströhle

1.	Einführung .....	1
2.	Versuchsfahrt in der CLV-Pilotanlage .....	2
2.1.	Rahmenbedingungen.....	3
2.2.	Sondeneinsatz und Beprobung der Abgänge.....	4
3.	Ergebnisse und Diskussion.....	6
3.1.	Abgasweg nach Luftreaktor .....	8
3.2.	Abgasweg nach Brennstoffreaktor .....	11
4.	Fazit.....	12
5.	Ausblick .....	13
6.	Quellen .....	14

## 1. Einführung

Bei der thermischen Verwertung von Abfällen entstehen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die teilweise fossilen Ursprungs sind. Zur Vermeidung dieser CO<sub>2</sub>-Emissionen können Technologien zur Abscheidung und anschließenden Nutzung oder Speicherung von CO<sub>2</sub> (CCUS) eingesetzt werden [1]. Das Carbonate-Looping-Verfahren, welches bereits im Pilotmaßstab erprobt ist [2], bietet den Vorteil der effizienten Nutzung der eingesetzten Energie, benötigt aber technisch reinen Sauerstoff zur Regeneration des Sorbens [3]. Ein äußerst effizientes Verfahren mit inhärenter CO<sub>2</sub>-Abscheidung ist die Chemical-Looping-Verbrennung (CLV). Die Oxidation des Brennstoffes erfolgt bei der CLV in zwei Schritten. Ein Metalloxid (MeOx) als Sauerstoffträger liefert den Sauerstoff für die Umsetzung des Brennstoffs im Brennstoffreaktor. Das reduzierte Metalloxid (MeOx<sub>Red</sub>)

wird in den Luftreaktor überführt und dort in einer exothermen Reaktion mit Luft wieder oxidiert. Da die Luft im Luftreaktor niemals mit dem eigentlichen Brennstoff in Kontakt kommt, verlassen ein hochkonzentrierter Strom aus  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  den Brennstoffreaktor und die an Sauerstoff abgereicherte Luft den Luftreaktor. Beide Reaktoren arbeiten auf einem hohen Temperaturniveau ( $> 900\text{ °C}$ ), was die Nutzung der Abwärme zur Stromerzeugung in einem hoch-effizienten Dampfprozess ermöglicht. Da im Luftreaktor eine geringe Belastung durch korrosive Gase/Beläge erwartet wird, könnten hier potenziell höhere Dampftemperaturen und somit eine effizientere Stromerzeugung als in konventionellen Abfallverwertungsanlagen realisiert werden.

Die CLV von Kohle und Biomasse wurde bereits im Pilotmaßstab erfolgreich getestet [4]. Zur CLV von Abfällen, insbesondere zur Beurteilung der Korrosionsneigung, gibt es bisher nur wenige Untersuchungen. An einer  $100\text{ kW}_{\text{th}}$ -Pilotanlage von SINTEF Energy (Norwegen) wurden im Jahr 2022 erstmals Versuche mit Pellets auf SRF (solid recovered fuel) durchgeführt [5]. Im Rahmen des Verbundvorhabens *Low-Cost  $\text{CO}_2$  Capture by Chemical Looping Combustion of Waste-Derived Fuels* (LOUISE) [6] fanden im April 2024 erstmals Pilotversuche mit SRF-Pellets an der  $1\text{-MW}_{\text{th}}$ -Versuchsanlage an der Technischen Universität Darmstadt statt.

Ziel des vorliegenden Beitrags ist eine möglichst realitätsnahe Bewertung von Korrosions- und Verschmutzungssituationen in Bezug auf die jeweilige Rauchgasstrecke nach Luft- und Brennstoff-Reaktor, sowie die Einordnung von möglichen Temperaturschwellen für Verdampfer-, Überhitzer- und Economiserbauteilen. Hierfür kamen während der  $1\text{-MW}_{\text{th}}$ -Pilotversuche Sonden zum Einsatz. Des Weiteren erfolgt die Bewertung des Prozesses anhand von orts- und zeit aufgelösten Untersuchungen an den Aschen. Im Fokus steht hierbei neben einer möglichen Veränderung (Alterung) des Sauerstoffträgers Ilmenit im Betrieb auch dessen Interaktion mit den Brennstoffkomponenten. Letzteres könnte zu einer Verschleppung von Neben- und Spurenelementen aus dem Brennstoff- in den Luftreaktor führen.

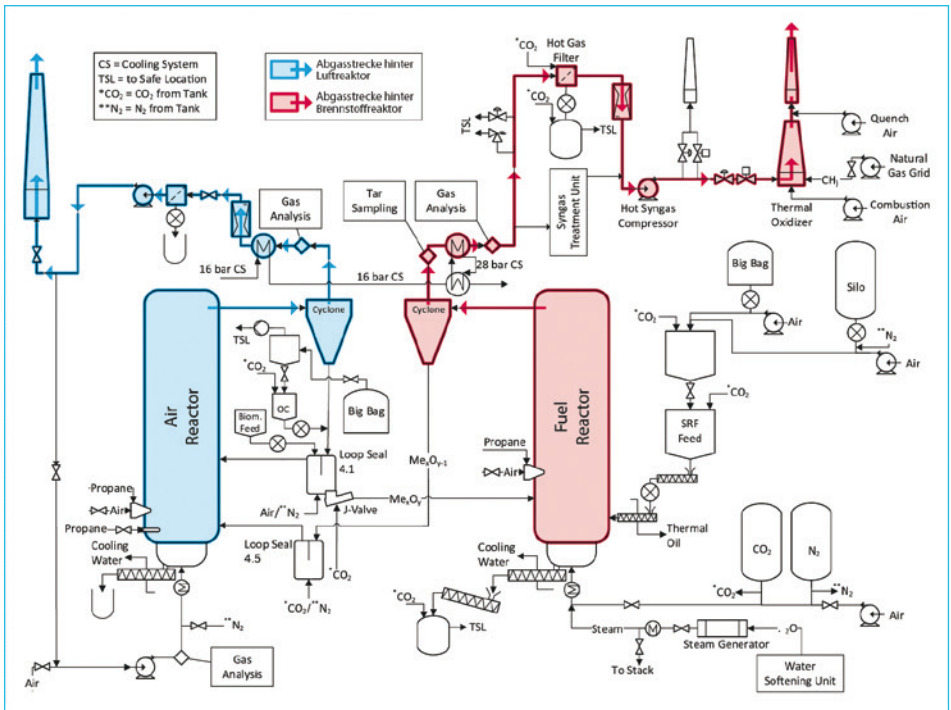
## 2. Versuchsfahrt in der CLV-Pilotanlage

In der Chemical-Looping-Pilotanlage der TU Darmstadt wurde eine Testverbrennung durchgeführt. In den Abgasstrecken nach den beiden Reaktoren kamen Sonden zum Einsatz, die realitätsnah Korrosions- und Verschmutzungsprozesse abbilden können.

## 2.1. Rahmenbedingungen

Die Testverbrennung wurde im April 2024 für ca. 260 h in der CLV-1-MW<sub>th</sub>-Versuchsanlage durchgeführt [7]. Als Brennstoff kam Ersatzbrennstoff (Lieferant N+P Group: Chlor 0,75 Gew.-%<sub>tr</sub>, Schwefel 0,2 Gew.-%<sub>tr</sub>) zum Einsatz. Als Sauerstoffträger wurde Ilmenit verwendet. Ziel war es, über ca. 2 Wochen einen möglichst gleichmäßigen Betriebszustand mit Temperaturen im Brennstoffreaktor von > 900 °C zu erreichen.

Die Nutzung von Abfällen in einem Chemical-Looping-Prozess wurde im Rahmen des Forschungsprojektes erstmals in dieser Anlagengröße erprobt. Eine schematische Skizze der Anlagenkonfiguration findet sich in der folgenden Abbildung 1.



**Abb. 1:** Skizze zur Anlagenkonfiguration der Versuchsverbrennung in der Pilotanlage der TU Darmstadt [8]. Farblich hervorgehoben: Blau entspricht der Abgasstrecke nach Luftreaktor, rot entspricht der Abgasstrecke nach Brennstoffreaktor.

Im Rahmen der Versuchskampagne konnten diverse Betriebspunkte für mehrere Stunden stabil eingestellt werden. Allerdings konnte kein vollständig stabiler Betrieb über den gesamten knapp zweiwöchigen Betriebszeitraum erreicht werden. Die Ursachen dafür lagen nicht im Prozess, sondern in der durch die Brennstoffe (SRF) stärker belasteten Peripherie der Pilotanlage. Dies be-

trifft insbesondere den Bereich der Abgasbehandlung. Dadurch kam es teils zu starken Temperaturschwankungen, temporär deutlich unter den angestrebten  $> 900\text{ °C}$ .

Das anschließende erneute Aufheizen des Systems erfolgte aus technischen Gründen nur langsam. Somit limitieren diese Ausfälle die angestrebte Betriebsdauer im gewünschten Temperaturbereich auf kurze Intervalle. Die temporär niedrigen Temperaturen im Brennstoffreaktor führten des Weiteren dazu, dass nicht immer ausreichend thermische Energie durch den zurückgeführten Ilmenit im Luftreaktor zur Verfügung stand. Dies machte den Einsatz eines sekundären Energieträgers im Luftreaktor nötig. Zum Einsatz kam hierfür *Pine Forest Residue* (aus Schweden: Chlor  $0,01\text{ Gew.-%}_{\text{tr}}$ , Schwefel  $0,025\text{ Gew.-%}_{\text{tr}}$ ).

Unter den gegebenen Rahmenbedingungen ist davon auszugehen, dass die thermochemischen Milieus in den Reaktoren deutlich von den Milieus bei den angestrebten Betriebsbedingungen  $> 900\text{ °C}$  abweichen.

## 2.2. Sondeneinsatz und Beprobung der Abgänge

Entlang der Abgasstrecke hinter Brennstoff- und Luftreaktor wurden an insgesamt fünf Positionen sechs Sonden eingesetzt. Zum Einsatz kamen gekühlte Sonden (Temperature-Range-Probes), mit denen es möglich ist, realitätsnah Wärmetauscherflächen zu simulieren [9] [10] [11]. Die folgende Abbildung zeigt exemplarische Ausführungen und das Funktionsprinzip (Abbildung 2). Die Sonde wird durch das vorbei- bzw. anströmende Abgas von außen aufgeheizt und von innen mit Druckluft gekühlt, hierdurch bildet sich ein Temperaturgradient entlang des Sondenkörpers aus. Dieser wird geregelt und möglichst konstant gehalten. Je nach Ausführung und Regeltemperatur lassen sich für Verdampfer-, Überhitzer- oder z. B. Economiserbauteile typische Temperaturniveaus abbilden.

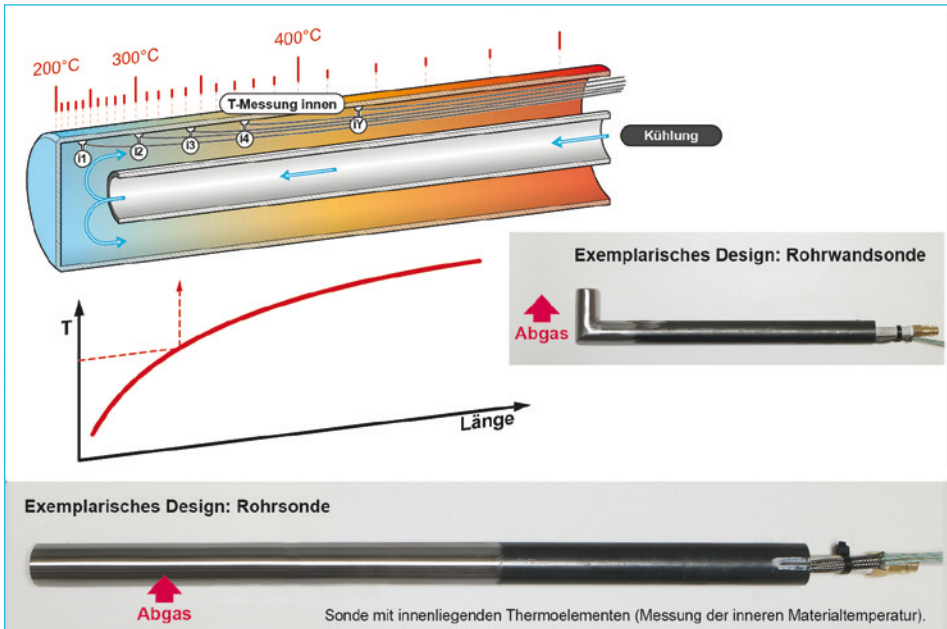


Abb. 2: Exemplarische Ausführung und Funktionsprinzip der Temperature-Range-Probe

Eingesetzt wurden vier Sonden im Abgasstrang nach Luftreaktor und zwei Sonden im Abgasstrang nach Brennstoffreaktor, jeweils für die gesamte Versuchszeit von ca. 260 Betriebsstunden. Als Werkstoff wurde für alle Sonden S235 verwendet. Ziel hierbei war die Vergleichbarkeit des Angriffs unabhängig von der Abgasstrecke und die Annahme, dass dieser Werkstoff bereits nach kurzen Einsatzzeiten neben den zu erwartenden Eisenoxidschichten, welche bei hohen Temperaturen zwangsläufig entstehen, auch Reaktionsprodukte von chloridisch oder sulfidisch induzierter Korrosion zeigen sollte, falls diese gegeben sind.

Im Zuge der Versuchsfahrt war es möglich, in der Abgasstrecke nach Luftreaktor eine Sonde auf Verdampfertemperaturniveau, eine Sonde auf Überhitzertemperaturniveau und eine Sonde auf dem Temperaturniveau des kalten Teils der Abgasstrecke einzusetzen. Eine weitere Sonde, welche auf Überhitzertemperaturniveau in einen weiter hinten gelegenen Teil der Abgasstrecke betrieben werden sollte, konnte aufgrund der gegebenen Abgastemperaturen am Einsatzort auf lediglich  $< 300\text{ °C}$  Werkstofftemperatur betrieben werden.

Im Bereich der Abgasstrecke nach Brennstoffreaktor kamen eine Sonde auf Überhitzertemperaturniveau und eine Sonde auf dem Temperaturniveau des kalten Teils zum Einsatz. Details hierzu finden sich in den folgenden Tabellen 1 und 2 in Kapitel 3.

Ergänzend wurde seitens CheMin die Interaktion des Sauerstoffträgers Ilmenit mit dem Brennstoff untersucht. Hierfür stehen zu ausgewählten Betriebspunkten Ascheproben zur Verfügung, diese wurden seitens TU Darmstadt an unterschiedlichen Positionen aus dem Prozess entnommen. Mit den Analysen wurde begonnen, eine Bewertung der Befunde erfolgte bisher nicht und ist daher nicht Teil des vorliegenden Tagungsbeitrages.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Auf den Sonden aus den heißen Bereichen der jeweiligen Rauchgasstrecken kam es im Rahmen des Versuches zu einem deutlichen Belagsaufbau. Aufgrund der im Durchmesser beschränkten Öffnungen gingen die äußersten Belagschichten bei der Entnahme zum Teil verloren. Die rohrnahen, für die Bewertung des Korrosionsangriffs relevanten, Beläge blieben bei allen Sonden erhalten. Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht der Sonden nach der Entnahme aus der Versuchsanlage (Abbildung 3).



Abb. 3: Makroskopische Sondenbefunde nach der Expositionszeit von ca. 260 h in der Pilotanlage

Aufgrund der Einschränkungen beim Betrieb der Anlage war es nicht möglich, für alle Sonden die Zieltemperaturen zu erreichen bzw. diese über die Versuchszeit konstant zu halten. Dies führte dazu, dass die Milieubedingungen im Umfeld der Sonden stark schwankten. Zu niedrige Rauchgastemperaturen führten teils zu einer Unterschreitung der Regeltemperatur. Jedoch auch, wenn die Regeltemperatur gehalten werden konnte, prägt sich mit zunehmendem Abstand zum Regelpunkt eine der fluktuierenden Rauchgastemperatur folgende Temperaturänderung auf dem Sondenkörper auf. Für die Interpretation der Korrosionsdynamik in Abhängigkeit der Werkstofftemperatur wurden die Sonden über die Länge an mehreren Temperaturpunkten im Detail untersucht. Einzelne Segmente wurden in Epoxidharz eingebettet und zur Erhaltung der wasserlöslichen Salze trocken präpariert. Die orts aufgelöste Bewertung erfolgte mikroskopisch und mikroanalytisch mittels REM-EDX.

Details zu den Einsatzorten, den betrachteten Temperaturbereichen sowie eine Zusammenfassung der Mikroskopie und der REM-EDX Befunde können den nachfolgenden Tabellen in den folgenden Kapiteln entnommen werden. Aufgrund noch weiterer ausstehender Analysen sind diese Befunde als vorläufig zu betrachten.

### 3.1. Abgasweg nach Luftreaktor

In folgender Tabelle werden die Sondenbefunde zusammengefasst.

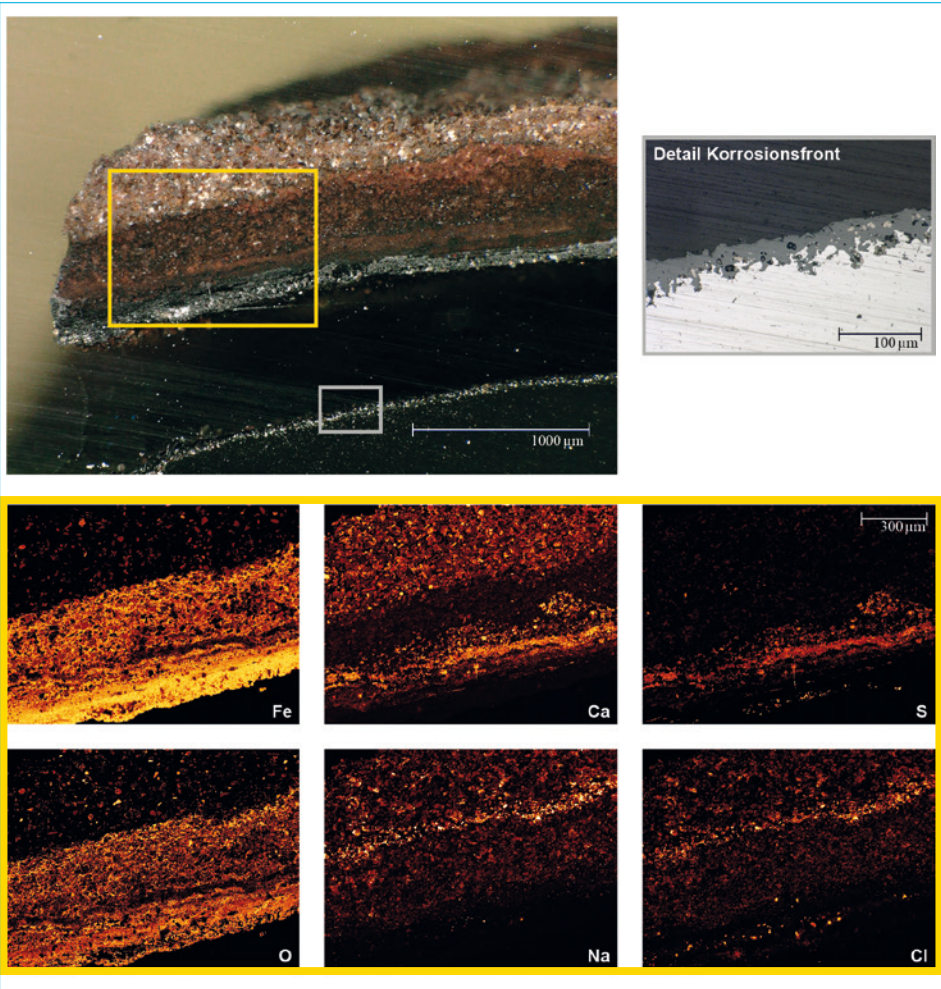
**Tab. 1:** Vorläufige Ergebnisse zu den Sonden aus der Abgasstrecke nach Luftreaktor

Position, Beschreibung	Makroskopischer Befund	Mikroskopie und REM-EDX Befund
Einsatz nach Zyklon, vor Wärmetauscher (Sonde 005)  <b>Überhitzermilieu</b> Werkstofftemperatur ca. 450 bis 600 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belagswechte an Anströmposition (im vorderen Bereich durch Sondenausbau stark beeinflusst)</li> <li>• Korrosionsprodukte im gesamten Temperaturbereich</li> <li>• Korrosionsangriff dynamischer als im Verdampfermilieu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohrnahe Beläge: Korrosionsprodukte und Salz-Asche-Beläge</li> <li>• Korrosionsprodukte: Eisenoxide, Eisenchloride, Eisensulfide</li> <li>• Salz-Asche-Beläge: Calciumsulfat, Alkalichloride, inerte Komponenten</li> <li>• Chlor und untergeordnet Brom ist Hauptursache für Korrosionsangriff, Rolle des Schwefels weiter zu prüfen</li> <li>• Chlorlieferant: überwiegend Alkalien, Calcium?</li> <li>• Korrosion verläuft interkristallin in den Werkstoff</li> <li>• Hinweis auf unverbrannte Kohlenwasserstoffe</li> </ul>



<p>Einsatz nach Zyklon, vor Wärmetauscher (Sonde 006)</p> <p><b>Verdampfermilieu</b> Werkstofftemperatur ca. 250 bis 315 °C</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belagsaufbau durch Sondenausbau stark beeinflusst</li> <li>• Korrosionsangriff nimmt mit steigender Temperatur zu</li> <li>• Korrosionsangriff insgesamt weniger dynamisch als im Überhitzenmilieu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohrnahe Beläge: Korrosionsprodukte und Salz-Asche-Beläge</li> <li>• Korrosionsprodukte: Eisenoxide, Eisenchloride</li> <li>• Salz-Asche-Beläge: Chloride und Sulfate, inerte Komponenten, auffällig ist Blei, u. a. als Lage gebunden als Blei-(Kalium)-Chlorid</li> <li>• Chlor und untergeordnet Brom ist ursächlich für Korrosionsangriff</li> <li>• Chlorlieferant: überwiegend Alkalien, Calcium?, Blei</li> <li>• beginnender interkristalliner Korrosionsangriff in den Werkstoff</li> <li>• Hinweis auf unverbrannte Kohlenwasserstoffe</li> </ul>
<p>Im Bereich des Wärmetauschers (Sonde 004)</p> <p><b>Überhitzer-/Verdampfermilieu</b> unter 300 °C, Regeltemperatur aufgrund zu niedriger Abgastemperaturen nicht erreicht</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dünne Belagsschicht</li> <li>• Geringe Korrosionsdynamik im gesamten Temperaturbereich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohrnahe Beläge: Korrosionsprodukte und Salz-Asche-Beläge</li> <li>• Korrosionsprodukte: Eisenoxide, Eisenchloride</li> <li>• Salz-Asche-Beläge: Chloride und Sulfate, inerte Komponenten</li> <li>• Chlor und untergeordnet Brom ist ursächlich für Korrosionsangriff</li> <li>• Chlorlieferant: Alkalien und Calcium</li> <li>• beginnender interkristalliner Korrosionsangriff in den Werkstoff</li> </ul>
<p>Hinter Wärmetauscher, vor Filter (Sonde 007)</p> <p><b>Milieu kaltes Ende</b> ca. 80 bis 120 °C</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dünne Belagsschicht, anströmseitig ab ca. 105 °C Hinweis auf Wechte (durch Sondenausbau beeinflusst), &lt; 105 °C gleichmäßige Belegung</li> <li>• Leichter Korrosionsangriff, abnehmend mit höheren Temperaturen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohrnahe Beläge: Korrosionsprodukte und Salz-Asche-Beläge</li> <li>• Korrosionsprodukte: Eisenoxide, Eisenchloride</li> <li>• Belag besteht je nach Temperatur hauptsächlich aus Ammoniumchlorid (90 °C- Pos.) oder Kaliumchlorid (110 °C- Pos.), keine Sulfate, keine Schwermetalle</li> </ul>

Hervorzuheben ist der chloridische Korrosionsangriff an allen Beprobungspositionen. Besonders intensiv zeigt sich dieser im Bereich hoher Werkstofftemperaturen. Dort erfolgt der Angriff interkristallin in das Werkstoffgefüge. Als primäre Korrosionsprodukte liegen Eisenchloride vor, lokal finden sich auch Eisensulfide. Inwieweit ergänzend zum chloridischen Angriff im hohen Temperaturbereich ein sulfidisch induzierter Korrosionsangriff vorliegt, lässt sich anhand des Probenmaterials nicht eindeutig einordnen. In der folgenden Abbildung zeigt sich deutlich die Bindung des Calciums als Sulfat und die Bindung der Alkalien als Chlorid in den Salz-Asche-Belägen (Abbildung 4).



**Abb. 4:** Mikroanalytische Untersuchung am Schliffpräparat der Sonde 005 aus der Abgasstrecke nach dem Luftreaktor. Detailbetrachtung der Befunde bei einer mittleren Werkstofftemperatur von ca. 510 °C anhand ausgewählter Elementverteilungsbilder.

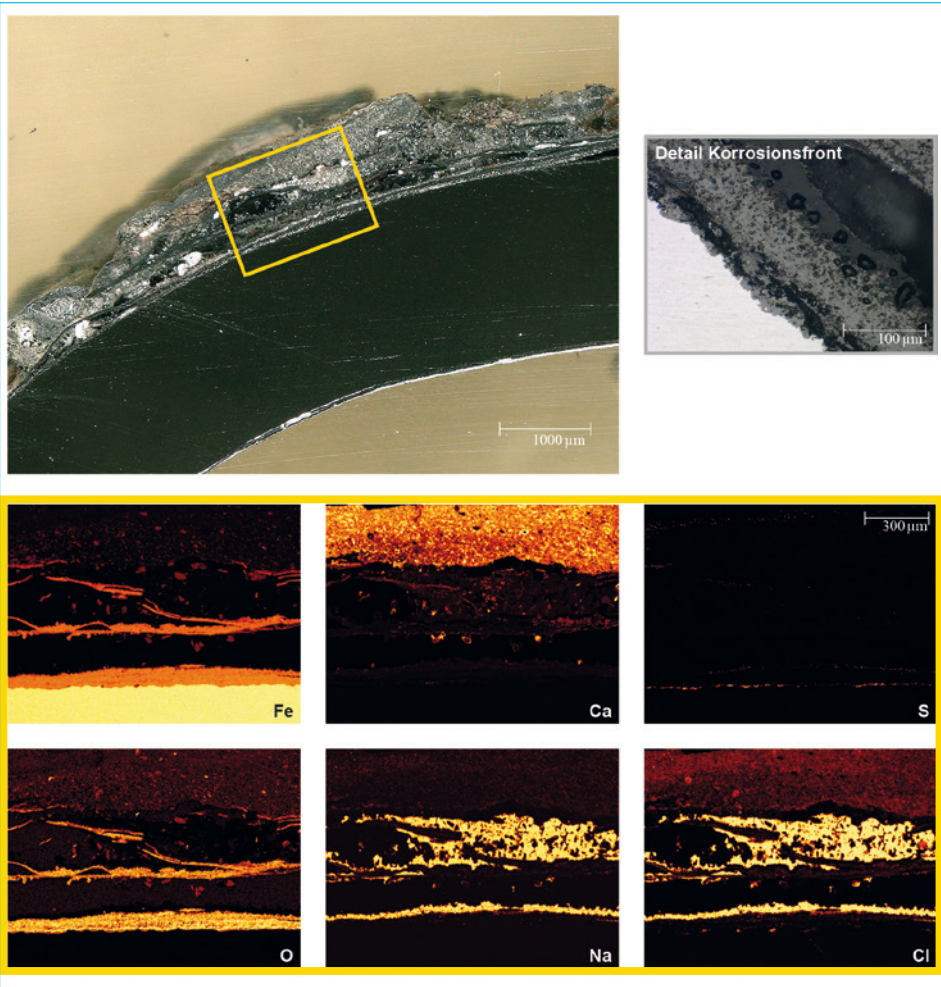
### 3.2. Abgasweg nach Brennstoffreaktor

In folgender Tabelle werden die Sondenbefunde zusammengefasst.

Tab. 2: Vorläufige Ergebnisse zu den Sonden im Abgasstrang nach Brennstoffreaktor

Position, Beschreibung	Makroskopischer Befund	Mikroskopie und REM-EDX Befund
Einsatz nach Zyklon, vor Wärmetauscher (Sonde 015)  <b>Überhitzermilieu</b> Werkstofftemperatur ca. 480 bis 600 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belagswechte an Anströmposition (im vorderen Bereich durch Sondenausbau stark beeinflusst)</li> <li>• Korrosionsprodukte im gesamten Temperaturbereich, Zunahme der Korrosionsdynamik mit steigender Temperatur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohrnahe Beläge: Korrosionsprodukte und Salz-Asche-Beläge</li> <li>• Korrosionsprodukte: Eisenoxide, Eisenchloride</li> <li>• Salz-Asche-Beläge: Hauptsächlich Chloride, inerte Aschen</li> <li>• Chlor ist ursächlich für Korrosionsangriff</li> <li>• Chlorlieferant: überwiegend Alkalien, Calcium</li> <li>• Korrosion verläuft teils interkristallin in den Werkstoff, zunehmende Intensität mit steigender Temperatur</li> <li>• Hinweis auf unverbrannte Kohlenwasserstoffe</li> </ul>
Hinter Wärmetauscher, vor Filter (Sonde 016)  <b>Milieu kaltes Ende</b> ca. 80 bis 135 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dicke schwarze Beläge (im vorderen Bereich durch Sondenausbau stark beeinflusst)</li> <li>• Leichter Korrosionsangriff im Temperaturbereich von &gt; 85 bis 130 °C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belag: Calciumsulfat, Ilmenit, Silikate, Chloride (Ursprung noch unklar)</li> <li>• Schwermetalle nicht in relevanten Mengen</li> <li>• Korrosionsprodukte (Eisenoxide, Eisenchloride)</li> <li>• Tiefe der Korrosionsmulden max. zwischen 30 und 40 µm</li> <li>• Prüfung auf Ammoniumsalze erfolgt noch</li> <li>• Hinweis auf unverbrannte Kohlenwasserstoffe</li> </ul>

Auch im Bereich des Abgasweges nach dem Brennstoffreaktor erfolgt der Korrosionsangriff hauptsächlich chloridisch. Bei hohen Temperaturen findet ein dynamischer Korrosionsfortschritt statt. Im Gegensatz zur Abgasstrecke nach dem Luftreaktor ergibt sich hier auch neben den Alkalien ein deutlicher Hinweis auf Calcium als Chlorlieferant.



**Abb. 5:** Mikroanalytische Untersuchung am Schliffpräparat der Sonde 015 aus der Abgasstrecke nach Brennstoffreaktor. Detailbetrachtung der Befunde bei einer mittleren Werkstofftemperatur von ca. 500 °C anhand ausgewählter Elementverteilungen.

## 4. Fazit

Entgegen der Erwartungen vor Versuchsdurchführung zeigen die Sonden, welche im Abgasweg nach dem Luftreaktor eingesetzt wurden, teils einen deutlichen Korrosionsangriff. Der Angriff liegt in allen untersuchten Temperaturmilieus (Überhitzer, Verdampfer und am kalten Ende des Prozesses) vor. Die Korrosion erfolgt überwiegend chloridisch. Als kationischer Partner für Chlorsalze in den Belägen auf den Sonden finden sich Alkalien, Calcium und lokal auch Blei.

Erwartungsgemäß und prozessbedingt ergibt sich ein chloridischer Angriff auch an den Werkstoffproben im Abgasweg nach dem Brennstoffreaktor. Der Nachweis erfolgte für ein Überhitzermilieu und für das kalte Ende des Prozesses.

Hinweise auf einen Angriff durch Schwefelsäure, wie z. B. durch den Nachweis von Eisensulfat als Korrosionsprodukt, gibt es in keiner der beiden Abgasstrecken.

Bei der Interpretation der Befunde ist zu berücksichtigen, dass die Sonden während der Versuchsfahrt nicht gezogen werden konnten. Dies führte dazu, dass die Sonden über die gesamte Versuchszeit den Temperaturexkursionen des Betriebes ausgesetzt waren.

Zudem kam es zu Verschleppungen von korrosionsrelevanten Salzspezies aus dem Brennstoffreaktor in den Luftreaktor, da der Brennstoffreaktor über die gesamte Versuchszeit niedrigere Temperaturen als der Luftreaktor aufwies. Dadurch war es möglich, Salze, in Form von Umkrustungen mit dem Ilmenit, aus dem Brennstoffreaktor auszutragen. Im Luftreaktor erfolgte aufgrund der höheren Temperatur der Übergang dieser Salze in die Gasphase. Somit ergab sich die Möglichkeit der Ablagerung von korrosionsrelevanten Salzen auf den gekühlten Sondenkörpern im Abgasweg nach dem Luftreaktor.

## 5. Ausblick

Unklar ist im Moment noch, in welchen Betriebsphasen es bevorzugt zu einer Verschleppung chloridischer Salze vom Brennstoffreaktor in den Luftreaktor kam. Ein Versuch der Einordnung erfolgt aktuell. Hierfür werden Ascheproben untersucht, welche zeit- und orts aufgelöst beprobt wurden und somit definierten Betriebszuständen zuordenbar sind. Aufgrund der angestrebten hohen Temperaturen  $> 900\text{ °C}$  ist eine Verschleppung von Salzen eigentlich, mit der Ausnahme von Calciumchlorid, im Regelbetrieb nicht zu erwarten. Wenn sich dies anhand der Ascheproben darstellen lassen sollte, kann davon ausgegangen werden, dass im Regelbetrieb der Korrosionsangriff an den Bauteilen im Abgasweg hinter dem Luftreaktor im Gegensatz zum vorliegenden Sondenbefund deutlich reduziert sein müsste.

Unabhängig von den weiteren Untersuchungen ist es sinnvoll, weitere Versuche mit einem optimierten Anlagendesign durchzuführen und diese mit Werkstoffsonden zu begleiten.

## Danksagung

Die vorliegenden Untersuchungen sind Teil des Verbundvorhabens Low-Cost CO<sub>2</sub> Capture by Chemical Looping Combustion of Waste-Derived Fuels (LOUISE), dieses wurde im Rahmen des ACT Programms Nr. 691712 durchgeführt. Die deutschen Projektpartner werden durch das BMWK (Förderkennzeichen 03EE5096) gefördert.

## 6. Quellen

- [1] Kouri, S.; Tsupari, E.; Kärki, J.; Teir, S.; Sormunen, R.; Arponen, T.; Tuomaala, M.: The Potential for CCUS in Selected Industrial Sectors – Summary of Concept Evaluations in Finland. *Energy Procedia*, Volume 114, July 2017, p. 6418–6431.
- [2] Haaf, M.; Hilz, J.; Peters, J.; Unger, A.; Ströhle, J.; Epple, B.: Operation of a 1 MW<sub>th</sub> calcium looping pilot plant firing waste-derived fuels in the calciner. *Powder Technology*, Volume 372, July 2020, p. 267–274.
- [3] Haaf, M.; Anantharaman, R.; Roussanaly, S.; Ströhle, J.; Epple, B.: CO<sub>2</sub> capture from waste-to-energy plants: Techno-economic assessment of novel integration concepts of calcium looping technology. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 162, November 2020, 104973.
- [4] Ohlemüller, P.; Ströhle, J.; Epple, B.: Chemical looping combustion of hard coal and torrefied biomass in a 1 MW<sub>th</sub> pilot plant. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2017;65: p. 149–159.
- [5] Ø. Langørgen, I.; Saanum, R.; Khalil, Haugen, N. E. L.: CLC of waste-derived fuel and biomass in a 150-kW pilot unit, 6th International Conference on Chemical Looping, 19–22 September 2022, Zaragoza, Spain.
- [6] Ströhle, J.; Langørgen, Ø.; Atsonios, K.; Kayahan, U.; Kaiser, M.; May, A.; Bayer, T.; Modahl, I. S.; Ruud, Ø.; Larring, Y.: Low-Cost CO<sub>2</sub> Capture by Chemical Looping Combustion of Waste-Derived Fuels – The LOUISE Project. Zaragoza, Spain: 6<sup>th</sup> International Conference on Chemical Looping, 19–22 September 2022.
- [7] Ohlemüller, P.; Ströhle, J.; Epple, B.: Chemical Looping Combustion of Hard Coal and Torrefied Biomass in a 1 MW<sub>th</sub> Pilot Plant. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Volume 65, 2017, S. 149–159.
- [8] Dieringer, P.; Marx, F.; Michel, B.; Ströhle, J.; Epple, B.: Design and Control Concept of a 1 MW<sub>th</sub> Chemical Looping Gasifier allowing for efficient autothermal Syngas Production. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Volume 127, 2023, 103929.
- [9] Kaiser, M.: Effizienzsteigerung durch Einbindung thermochemischer Prozessparameter – Teil II. *Kraftwerkstechnik 2018 Power Plant Technology*, S. 569–576.
- [10] Magel, G.: Get to know the Corrosion Mechanisms in Waste-to-Energy-Plants. *IRRC Wien* 2017.
- [11] Müller, W.; Schneider, D.; Kaiser, M.; Brell, J.; Spiegel, W.; Pohl, M.: *Fuel leaflets* for the prevention of negative impact on the boiler from minor fuel constituents. *VGB PowerTech*. 2014, 7/2014, S. 76–81.