

Protokoll

zur 1. Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses (PA)

der AiF-Forschungsvereinigung Umwelttechnik

am 21.10.2019 von 13:00 Uhr bis 16:30 Uhr in Dresden

IGF-Vorhaben-Nr.	Bewilligungszeitraum	Forschungsthema (Kurzform)
20388 BG	01.01.19 - 30.06.21	Hg in REA

Teilnehmer Industrie:

Gabriele Boehm, Hamon Enviroserv GmbH

Jürgen Fritzsche, NET GmbH, Mannheim

Dr. Hans-Jörg Kersten, Bundesverband der Gipsindustrie e.V.

Klaus Niemann, Tiede- & Niemann Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburg

Cordelia Kappa, VPC GmbH

Ole Piepenbring, Lausitz Energie Kraftwerke AG

Dr. Dorian Rasche, Steinmüller Engineering GmbH

Dr. Sven-Olaf Schmidt, Bundesverband der deutschen Kalkindustrie e.V.

Reinhard Schu, EcoEnergy Gesellschaft für Energie- und Umwelttechnik mbH

Dr. Jan Schütze, IEM Förder Technik GmbH

Nils van Kessel, Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe GmbH

Sven Köhler, KSC Kraftwerks- Service Cottbus Anlagenbau GmbH

Michael Stein, KSC Kraftwerks- Service Cottbus Anlagenbau GmbH

Andreas Wecker, VGB PowerTech e.V.

Teilnehmer Forschungsstellen:

Dr. Andrea Ohle, EVT, Dresden

Mohammad Nader Alskaf, EVT, Dresden

Isabelle Klöfer, IUTA, Duisburg

Dr. Margot Bittig, IUTA, Duisburg

Forschungsstelle 1: Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA), Duisburg

Forschungsstelle 2: Professur für Energieverfahrenstechnik (EVT), Dresden

13:00 Uhr Beginn der Sitzung

Nach Begrüßung der Anwesenden stellen sich zunächst die Vertreter der Industrie, anschließend die Mitarbeiter der Forschungsstellen vor.

Frau Bittig führt in das Thema ein (Folien der Präsentation unter „20388BG Präsentation_IUTA PA 2019-10-21.pdf“). Dazu werden die Motivation für das Vorhaben, der aktuelle Stand der Forschung und die geplanten Forschungsschwerpunkte zusammengefasst (Folien 3-7). Das Projekt startete offiziell zum 01.01.2019. Die Besetzung der Stelle eines wissenschaftlichen Mitarbeiters der Forschungsstelle EVT erfolgte im Juli 2019.

Die Ergebnisse der Arbeiten am IUTA werden von Frau Klöfer präsentiert.

Neben dem Betrieb der Versuchsanlage mit unterschiedlichen Betriebsparametern ist die Analyse der Feststofffraktion wesentlicher Bestandteil des Forschungsvorhabens. Dazu ist es erforderlich, eine Methode zu entwickeln, die es erlaubt, nicht nur die Quecksilberkonzentration in der Feststoffphase zu messen, sondern auch Aussagen zu den Quecksilberspezies zu machen. Diese Analyse soll mittels Thermodesorption gelingen. Dazu wurde ein Versuchstand entwickelt und aufgebaut. Das Übersichtsschema ist in Folie 10 dargestellt. In der ersten Versuchsreihe wurden die Spezies HgCl_2 , HgBr_2 , HgI_2 und HgSO_4 untersucht. Zunächst wurden die unterschiedlichen Temperaturstufen (siehe Folie 11) angefahren und so lange konstant gehalten, bis kein Quecksilber mehr im Abgas detektiert werden konnte. Diese Methode erwies sich als zeitaufwendig. Außerdem kam es mit der vorhandenen Regelung zum Übersteuern der eingestellten Temperatur, so dass das eingestellte Temperaturniveau nicht exakt eingehalten werden konnte. Die Ergebnisse zeigen (Folie 12 und 13), dass Halogenid-Verbindungen bereits ab 50 °C beginnen zu verdampfen. Außerdem kann keine wesentliche Temperaturverschiebung zwischen den unterschiedlichen Quecksilber- Halogeniden gefunden werden.

Alternativ wurde die Verdampfung mit einem konstanten Temperaturgradienten durchgeführt. Mit der vorhandenen Ausrüstung ist derzeit allerdings nur eine Aufheizung mit ca. 33 °C/min möglich. Deshalb wurde inzwischen ein neuer Regler angeschafft, mit dem kleinere Temperaturgradienten eingestellt werden können.

Mit der Aufheizung über eine Temperaturrampe ist es gelungen, Unterschiede im Verdampfungsverhalten der unterschiedlichen Hg-Spezies sichtbar zu machen. Während die Quecksilber-Halogenide einen ähnlichen Konzentrationsverlauf während der Verdampfung zeigen, unterscheidet sich das Abdampfverhalten von HgSO_4 davon erheblich (siehe Folie 14). Interessante Ergebnisse liefert auch der Vergleich zwischen den Einzelstoffen und den daraus erzeugten Stoffgemischen (Folie 15 und Folie 18).

Zur Untersuchung von Feststoffmischungen mit Hilfe der Thermodesorption wurden die beiden Hg-Spezies jeweils im Massenverhältnis 1:1 gemischt. Zukünftig werden die Mischungen so angesetzt, dass die Stoffmenge an Hg in allen Anteilen gleich ist.

Sehr vielversprechend ist die Analyse der Quecksilberproben unter Aufnahme sowohl der Quecksilber-gesamt-Emission als auch der $\text{Hg}(0)$ -Emission (Folie 16 und Folie 17).

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die Hg-Emission Konzentrationen von mehreren mg/m^3 erreichen kann. Deshalb ist es wesentlich, den Kalibrierbereich des Messgerätes entsprechend zu wählen.

Ein weiterer Parameter, der innerhalb der ersten Versuchsreihe untersucht wurde, war die Zusammensetzung des Trägergasstroms. Verwendet wurden Luft und Stickstoff. Es scheint einen Einfluss des Trägergases zu geben. Dieser muss jedoch in weiteren Versuchen abgesichert werden (Folie 20).

Evtl. kommt es bei Verwendung von Luft als Trägergas während der Aufheizung von HgSO_4 zur Bildung von HgO . Dies könnte die Unterschiede im Peak im Vergleich zur Aufheizung mit N_2 als Trägergas erklären.

Neben den Untersuchungen zur Thermodesorption wurde der Versuchswäscher aufgebaut und in Betrieb genommen. Folie 21 zeigt den schematischen Aufbau. Innerhalb der Inbetriebnahme wurde die Emissionssituation hinter Wäscher für unterschiedliche Konzentrationen verschiedener Quecksilberspezies in der Waschlösung untersucht (Folien 23-25).

Der Verlust an Quecksilber über die Gasphase während eines Wäscherversuchs liegt im $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Bereich. Dies ist bei einer Konzentration im Sumpf von $> 1 \text{ mg/l}$ zu vernachlässigen.

Die Erhöhung der Chloridkonzentration erfolgte mit CaCl_2 . Dies ist im Versuch ohne SO_2 -Dosierung problemlos.

Es existiert eine Querempfindlichkeit des SO₂ Messgerätes mit Hg⁰ im Abgasstrom.

Abschließend zeigt Folie 26 erneut Ergebnisse aus Thermodesorptionsversuchen. Gegenübergestellt ist die Emission einer Gipsprobe, die mit einer wässrigen HgCl₂ Lösung vermischt wurde. Nach dem Abnutschen der Gipsfraktion wurde diese zweifach mit VE-Wasser gewaschen. Die Quecksilberemissionen liegen bei 5 µg/m³_{n.tr.}. Dieselbe Waschsuspension wurde anschließend über 1 Stunde im Wäscherkreislauf geführt, wobei durch Zugabe von SO₂ im Gas und Kalkmilch in die Waschlösung zusätzliches Gipswachstum stattfand. Anschließend wurde mit gleichem Procedere eine Probe gezogen und thermodesorbiert. Diese Probe erzeugt eine deutliche Quecksilberemission bei ca. 400 °C.

Die Einlagerung von Hg bei der Bildung von Gips könnte auch gut untersucht werden mit Gips als Halbhydrat. Dieses reagiert bei Anmischung mit Wasser sehr schnell zu Dihydrat.

Dabei könnte dann untersucht werden, inwieweit Chlorid durch Sulfat aus dem HgCl₂ verdrängt wird.

Die Präsentation endet mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

14:15-14:45 Kaffeepause

Die Ergebnisse der Arbeiten an der Professur für Energieverfahrenstechnik der TU Dresden werden von Herrn Alskaf präsentiert. (Folien der Präsentation unter „20388BG Präsentation_EVT PA 2019-10-21.pdf“).

Die EVT stellt die bei Ihnen angesiedelten Arbeitspakete, sowie erste Ergebnisse der Modellrecherche und die Technikums-REA vor.

Es soll ein Modell zur Beschreibung der Stoff- und Wärmeübertragungsvorgänge von Quecksilber an Einzeltropfen einer Waschlösung in der REA entwickelt werden. Durch die Betrachtung aller Einzeltropfen wird die gesamte Waschflüssigkeit beschrieben. Mittels dieses Modells wird die Zusammensetzung der Waschflüssigkeit orts aufgelöst vorausberechnet. Die Wechselwirkung der Abgasbestandteile auf die im Absorberteil ablaufenden Reaktionen und ihr Einfluss auf die Absorptions- und Reemissionsvorgänge vom Quecksilber liegt im Fokus dieses Projektes.

Mit der Durchführung gezielter Versuche an einer Technikums-REA und Auswertung der Ergebnisse wird das Modell validiert. Zusätzlich dazu werden Versuche an einer Kraftwerks-REA geplant, um die Übertragbarkeit der Ergebnisse des Modells mit den Ergebnissen aus der Technikums-REA zu überprüfen.

Als Start wird zunächst der Absorber in Einzelemente diskretisiert. Diese Einzelemente haben identische Geometrien. Die Düsen sprühen die Waschlösung in den Absorber und bilden eine bestimmte Art von Tropfenzerfall mit definierten Tropfenparametern, wie z.B. Tropfendurchmesser, Tropfenzahl und Tropfengeschwindigkeit.

Nach der Definition dieser Parameter wird mit den Rechnungen als Startpunkt im Modell begonnen. Entlang des Absorbers unterliegen die Tropfen verschiedenen Vorgängen, was ihren Durchmesser und ihre Zusammensetzung beeinflusst. In jedem Einzelement werden diese berechnet. Durch die Wärmeübertragung zwischen der Gas- und Flüssigphase erfolgt Verdampfung bzw. Kondensation, was den Durchmesser des Tropfens ändert, dieser soll mittels eines Ansatzes wie dem D^2 -Gesetz beschrieben werden (s. Folien 1-6).

Die hier betrachteten Haupteinflussparameter auf die Stoffübertragungsvorgänge von Hg zwischen Gas- und Flüssigphase und die daraus resultierenden Reaktionsgleichungen sind: pH-Wert, SO_2 -Konzentration, SO_3 -Bildung und Halogene (s. Folien 7 – 11).

Eine Literaturrecherche zu den verschiedenen bereits veröffentlichten Untersuchungen zeigt jeweils die experimentelle oder theoretische Beschreibung von Teilaspekten (s. Folie 12- 13), die aber bisher alle nicht zu einer geschlossenen Darstellung der Hg-Absorptions- und – Reemissions-Vorgänge geführt haben.

Die Folien 14-18 zeigen die Anbindung der Technikums-REA an die Versuchsstaubfeuerung, sowie Details zu Verschaltung und Messmöglichkeiten.

Die Arbeitsgruppe führt derzeit noch Optimierungsmaßnahmen durch. Das in Folie 18 gezeigte Sprühbild der Wäscherdüse ist noch nicht befriedigend. Es wird getestet, ob eine Reinigung zur Verbesserung des Sprühbilds führt oder ob eine andere Düse gewählt werden sollte.

Ab 15:15 Uhr Besichtigung der Technikumsanlage

Ab 16:00 Uhr Abschlussdiskussion

Im Technikum wird eine Einkreis-REA betrieben. Ist geplant, die Großversuche ebenfalls an einer Einkreis-REA durchzuführen? Dies wird zur direkten Validierung als sinnvoll erachtet.

Die Großversuche werden mit Unterstützung der LEAG durchgeführt. Grundsätzlich sind sowohl Ein- als auch Zweikreiswäscher in Betrieb. Die LEAG hält den Betrieb der Zweikreis-REA für die Praxis für relevanter und bevorzugt daher eher eine Anlage mit Zweikreis-REA. Die Entscheidung ist jedoch noch nicht getroffen und hängt auch von der Genehmigungssituation ab.

Werden Betriebsparameter aus der Großanlage in die Technikumsanlage übertragen?
Ja, das ist geplant. Bereits im Frühjahr 2020 soll die Aufnahme von Betriebsparametern erfolgen. Die Identifikation relevanter Parameter und die Validierung der Simulation sollte am besten möglich sein, wenn die Technikumsanlage mit zur Großanlage ähnlichen Parametern betrieben wird.

Dafür würde sich das Kraftwerk in Jänschwalde anbieten, weil dort schon viele Untersuchungen durchgeführt wurden.

Es wird angeregt, sich nicht nur auf ein Kraftwerk zu beschränken, sondern Betriebsparameter aus unterschiedlichen Kraftwerken zu sammeln. Dazu sollte ein Datenblatt entworfen werden, das alle für die Simulation relevanten Parameter enthält, und damit eine Umfrage gestartet werden.

Zur Düsenwahl wird angemerkt, dass zurzeit gerne Doppelsexcenterdüsen eingesetzt werden. Der Vordruck hat dabei Einfluss auf das Sprühbild.

Die eingesetzte Membranpumpe ist wegen der Pulsation nicht ideal. Hier ist zu prüfen, ob die Druckschwankungen das Sprühbild in der Technikums-REA beeinflussen. Eine Kreiselpumpe wäre eventuell besser.

Die angestrebte Simulation der Gleichgewichte unter Berücksichtigung der Kinetik wird als ehrgeizig eingestuft. Die Untersuchung der Stoffsysteme startet mit Einstoffsystemen und wird Schritt für Schritt um weitere Komponenten erweitert. Untersuchungen mit Realsuspensionen sind Teil des Versuchsprogramms, werden jedoch für das Ende des Forschungsvorhabens angesetzt.

Die Mitarbeiter der Forschungsstellen bedanken sich bei den Teilnehmern für die interessanten und konstruktiven Diskussionen. Die Sitzungen werden im Jahresrhythmus angestrebt, sind aber auch vom Fortschritt und den Ergebnissen der Untersuchungen abhängig.

16:30 Uhr Ende der Sitzung

Dresden, 21. Oktober 2019

IGF 20388 BG: 1. Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses

Absorptions- und Re-emissionsvorgänge von Quecksilber in Wäschern zur Entschwefelung von Verbrennungsabgasen

Institut für Energie und Umwelttechnik e. V., Duisburg
Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik, TU Dresden

21.10.2019, Dresden

Herzlich willkommen

IGF-Förderkennzeichen **20388 BG** Projektlaufzeit 01.01.2019 – 30.06.2021



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 20388BG der Forschungsvereinigung Umwelttechnik wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Isabelle Klöfer
Margot Bittig
Viola Schörner

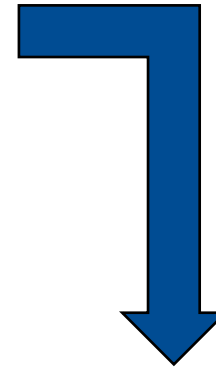
Institut für Energie und Umwelttechnik e. V.,
Duisburg



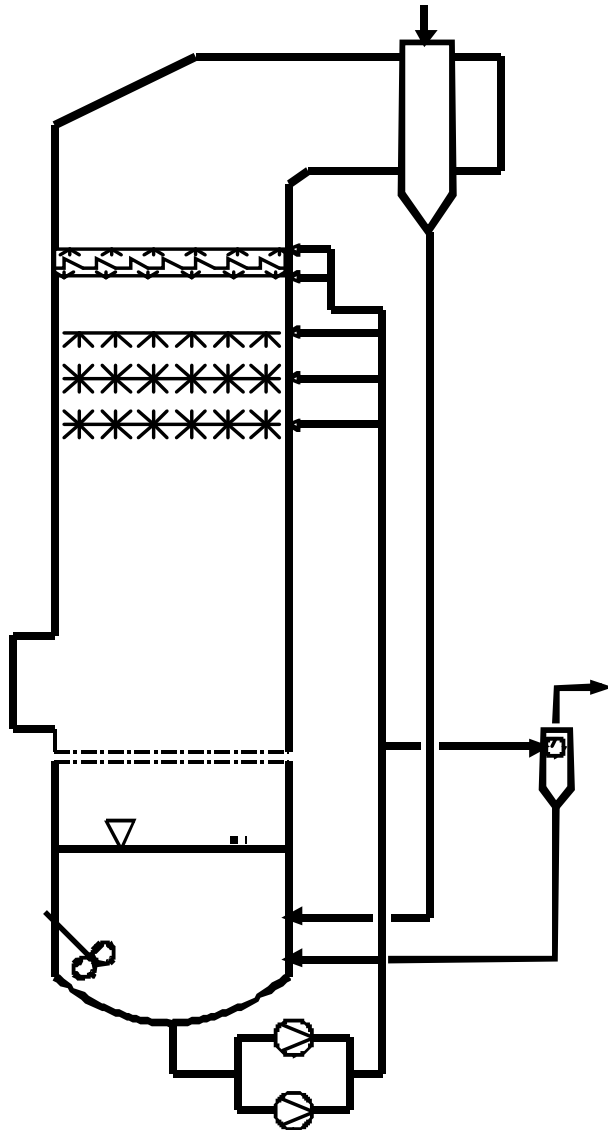
Mohammad Nader Alskaf
Andrea Ohle

Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik,
TU Dresden, Dresden

**Vollständige Beschreibung
des Quecksilberverhaltens
unter geg. Betriebsbedingungen**



**Handlungsempfehlungen für den Betrieb
von Wäschern zur Entschwefelung hinsichtlich
einer optimierten Quecksilberrückhaltung**



Modell für Halogenid dominierte Systeme

- Gas-Flüssig-Gleichgewicht
 - Komplexreaktionen
- (M. Bittig, B. Pieper)

Untersuchungen zu sulfidischen Systeme

- Wissenschaftliche Betrachtung in Labor-REA
- (B. Heidel, IFK Stuttgart)
- Phänomenologische Betrachtung durch Untersuchungen an Großanlagen
- (J. Schütze, AG Köser, Halle-Wittenberg)

Untersuchungen zur Leistung von Fällungsmitteln

- Wissenschaftliche Betrachtung in Labor-REA
 - Phänomenologische Betrachtung durch Untersuchungen an Großanlagen
- (J. Schütze, S. Weisbach, AG Köser, Halle-Wittenberg)

Computer gestützte Modellierung

- Einzeltropfenmodell bei hohen Temperaturen (EVT)
 - Gleichgewichts- und Transportmodelle für saure Schadgase
- (Eden, Lucas, RWTH Aachen, Kroll, TU Dortmund)

Was ist noch zu leisten?

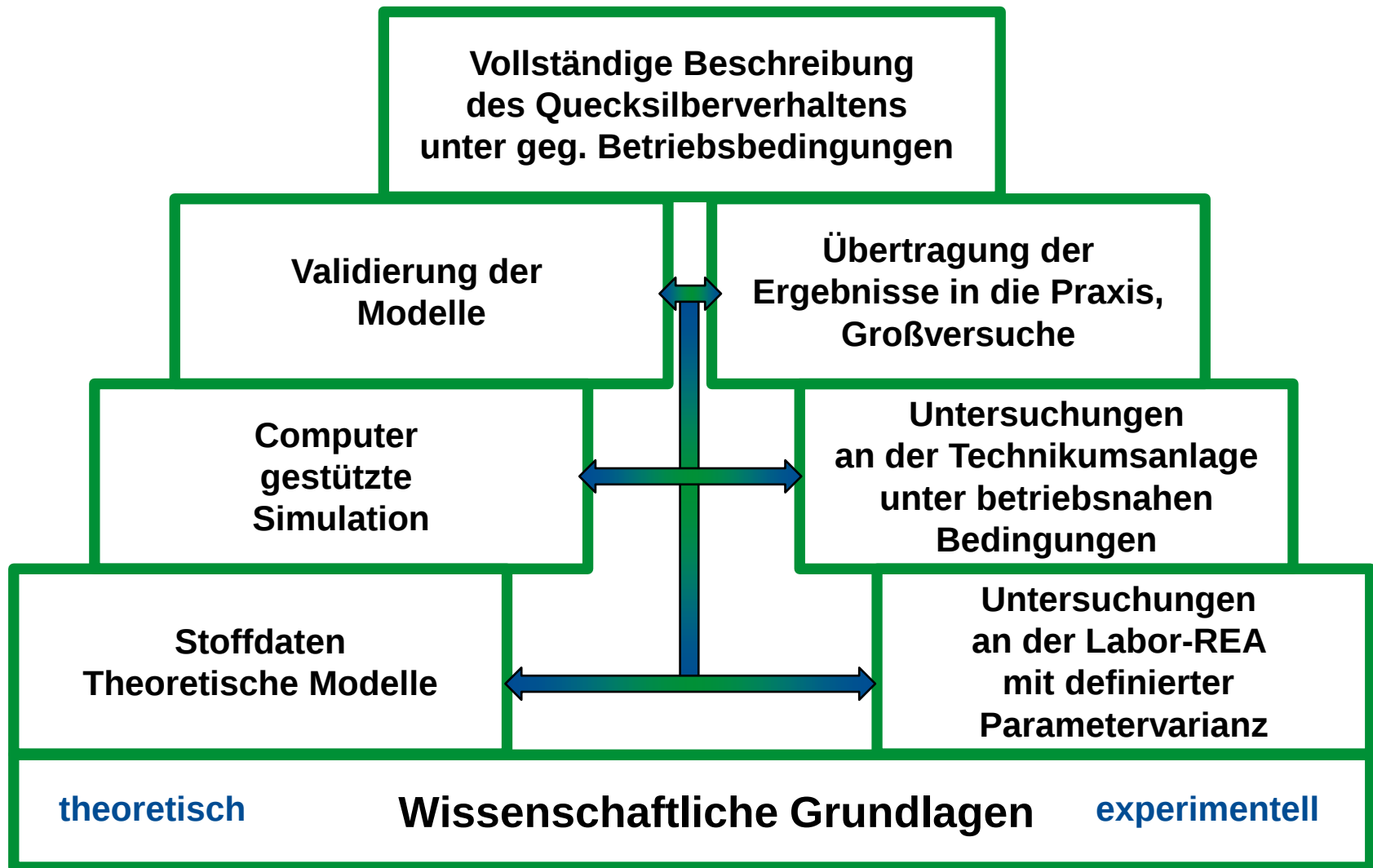
Erweiterung des Gleichgewichtsmodell um den Liganden
Sulfit (SO_3^{2-})

Implementierung des Gleichgewichtsmodells in die
Computer gestützte Simulation und

Berücksichtigung der Gleichgewichtsverschiebungen in
den Tropfen

Aufklärung der Reemissionsphänomene in REA-Wäschern

Ermittlung der Grenzen der Stabilität fester
Quecksilberverbindungen



Laufzeit 30 Monate

Finanzen

	<u>IUTA</u>	<u>EVT</u>
Personal:	194.480	185.370
Pauschale (7%):	13.600	12.970
Dritt-Leistungen:	-	11.795
Geräte:	-	-
Pauschale (20%):	41.600	39.635
Summe:	249.680	249.770

Gesamt

499.450

IUTA

Darstellung der Arbeiten

Präsentation der Ergebnisse

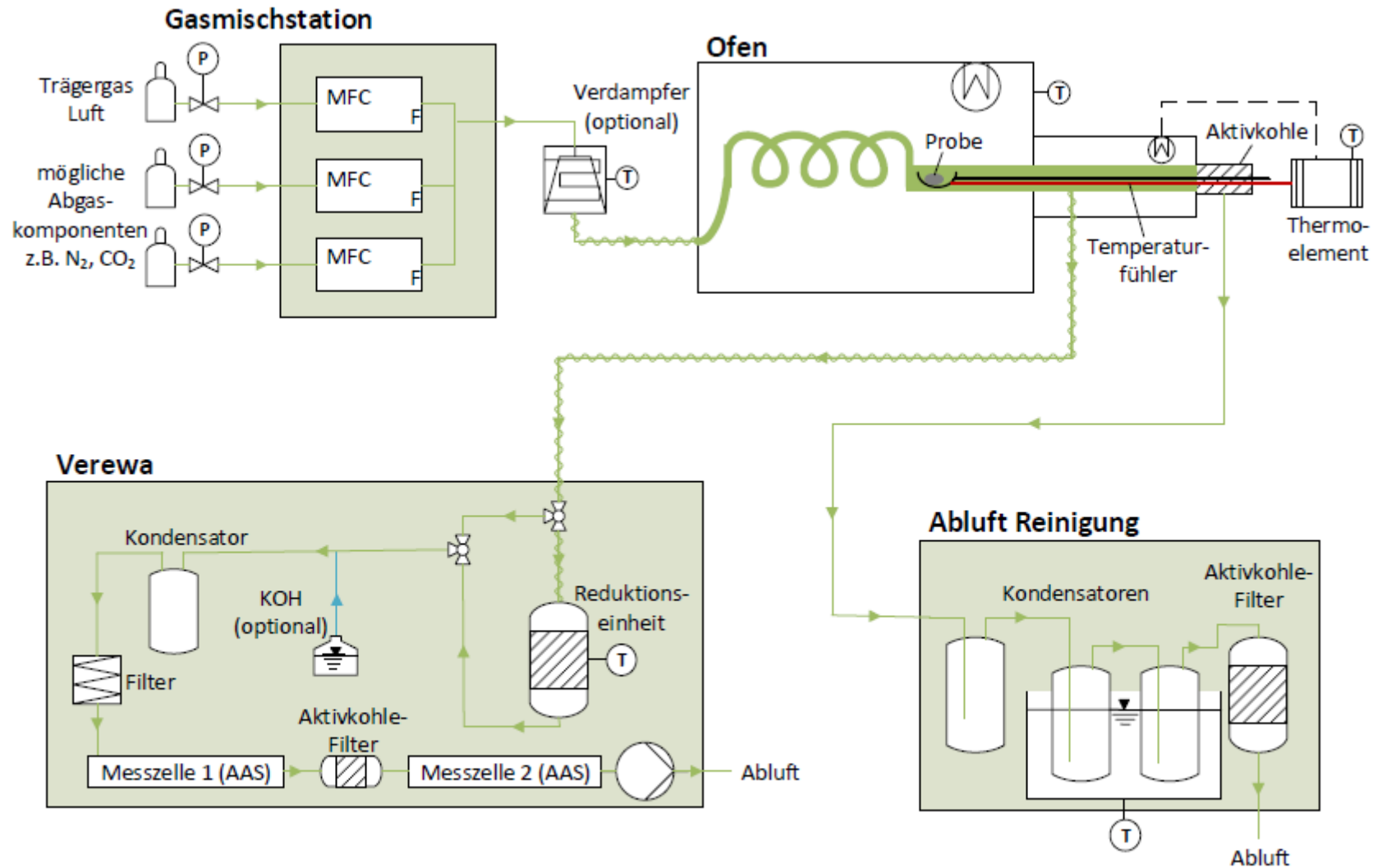
1. Analyse und Charakterisierung von Hg-Spezies mittels Thermodesorption

- Aufbau und Entwicklung unseres Messstandes
- erste Vorversuche

2. Inbetriebnahme der REA

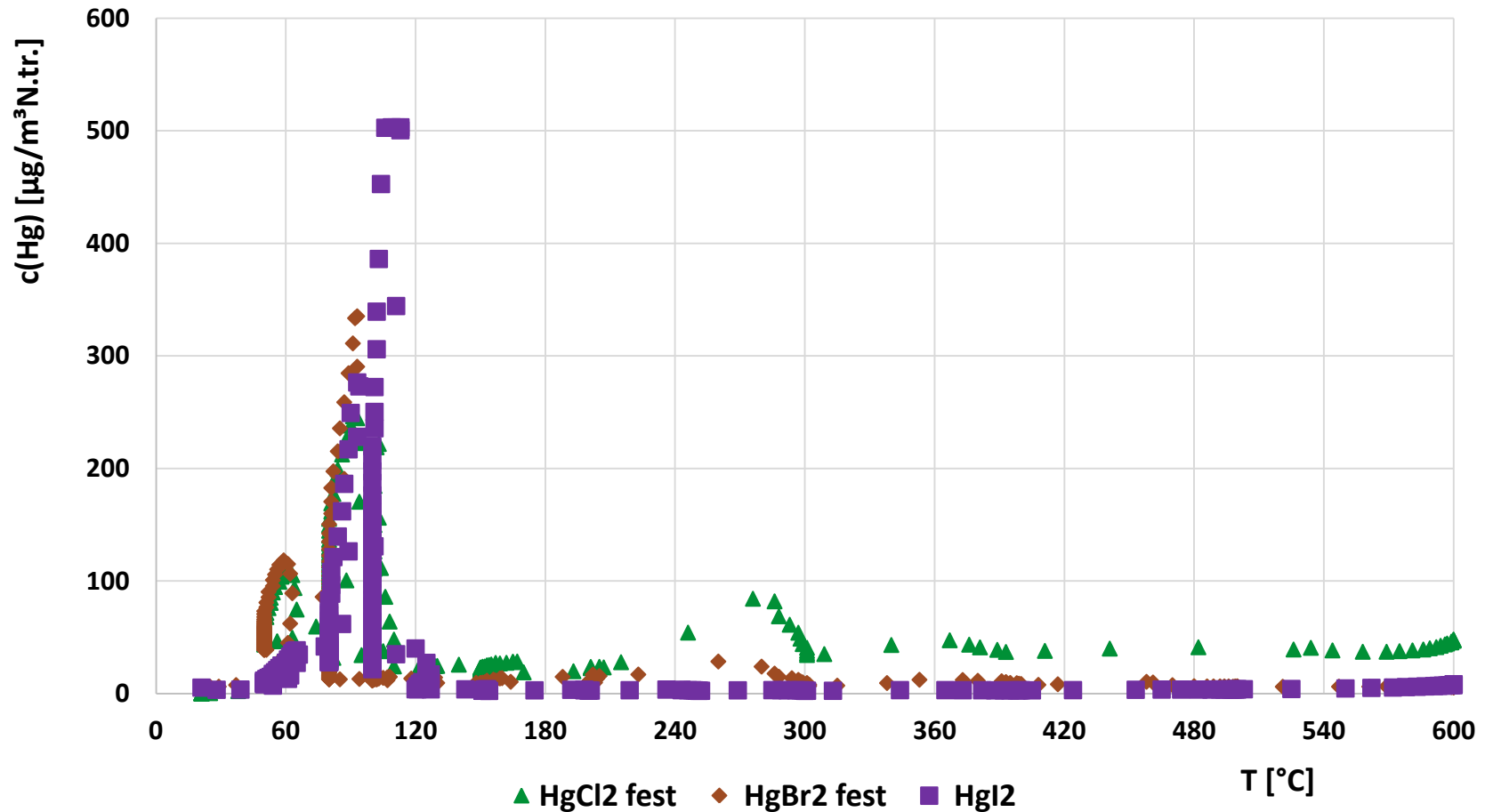
- Aufbau
- Anfahren der Anlage

3. Zusammenfassung und Ausblick



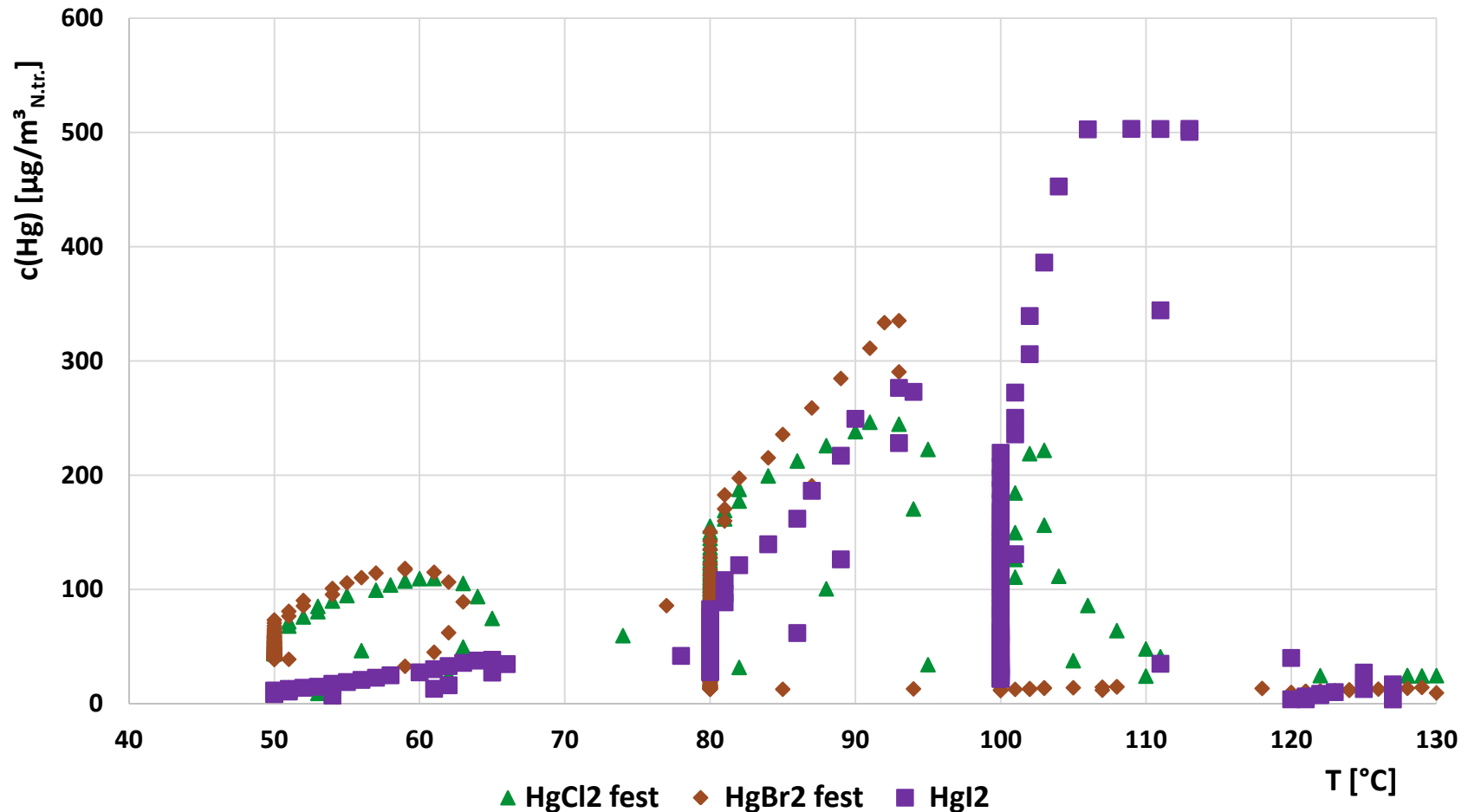
Hg(II)-Spezies	Mess-gerät	Trägergas	Gemessene Spezies	Aufheizung
HgCl_2	Verewa VM 3000	Synthetische Luft	Hg^t Hg^0	•Stufen 50;80;100;120;150;200;250;300;400;500;600 °C • Rampe 0-600°C
HgBr_2	Verewa VM 3000	Synthetische Luft	Hg^t	•Stufen 50;80;100;120;150;200;250;300;400;500;600 °C • Rampe 0-600°C
HgI_2	Verewa	Synthetische Luft	Hg^t	•Stufen 50;80;100;120;150;200;250;300;400;500;600 °C • Rampe 0-600°C
HgSO_4	Verewa VM 3000	Synthetische Luft N_2	Hg^t Hg^0	•Rampe 0-650°C

Aufheizen in Stufen / Vergleich Hg-Halogenidverbindungen



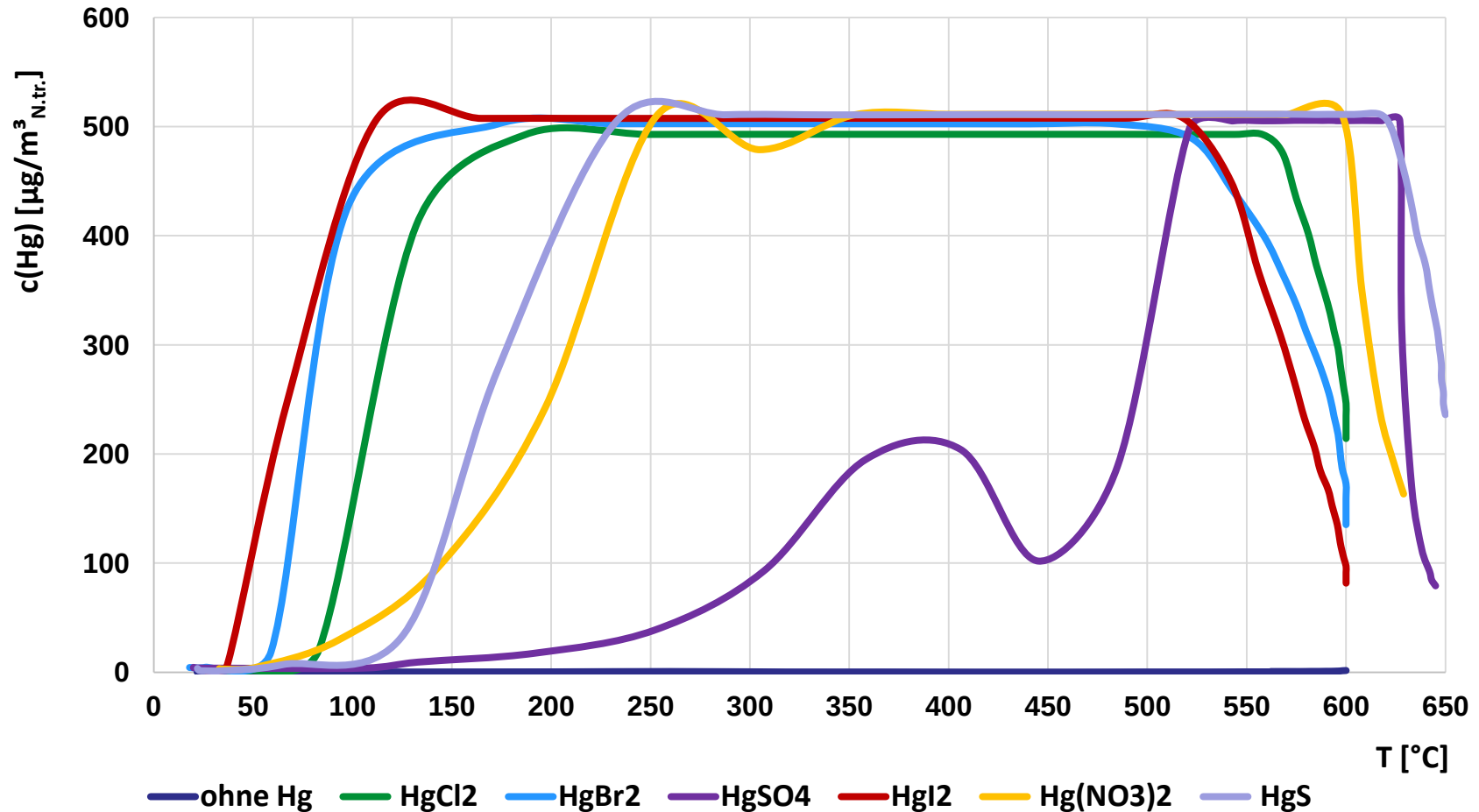
Trägergas synthetische Luft, 5 L/min; Messung Hgt Verewa, Kalibrationsgrenze 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{n.tr.}}$

Aufheizen in Stufen / Vergleich Hg-Halogenidverbindungen



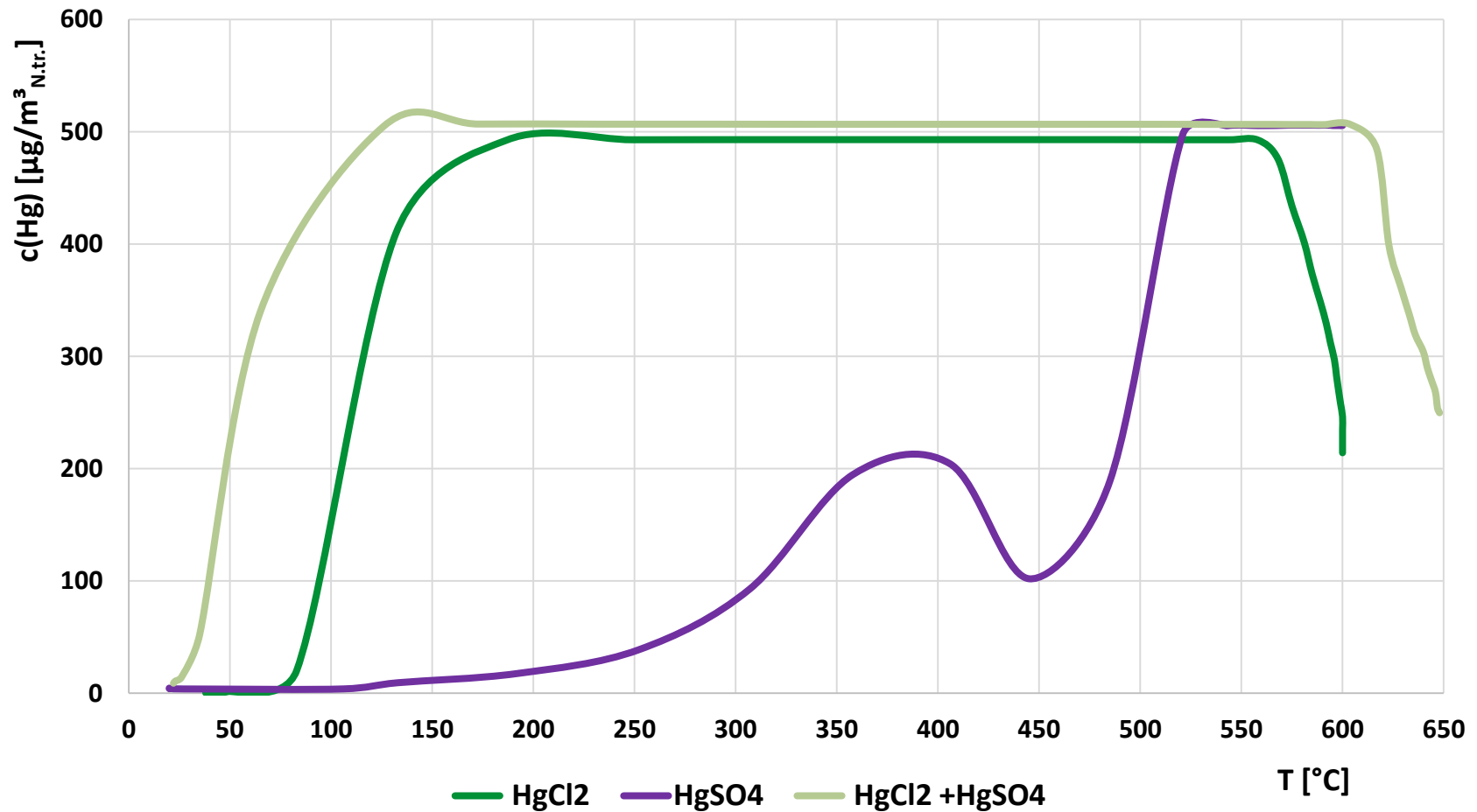
Trägergas synthetische Luft, 5 L/min; Messung Hgt Verewa, Kalibrationsgrenze $250 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{n.tr.}$

Verdampfung von Hg-Feststoffen



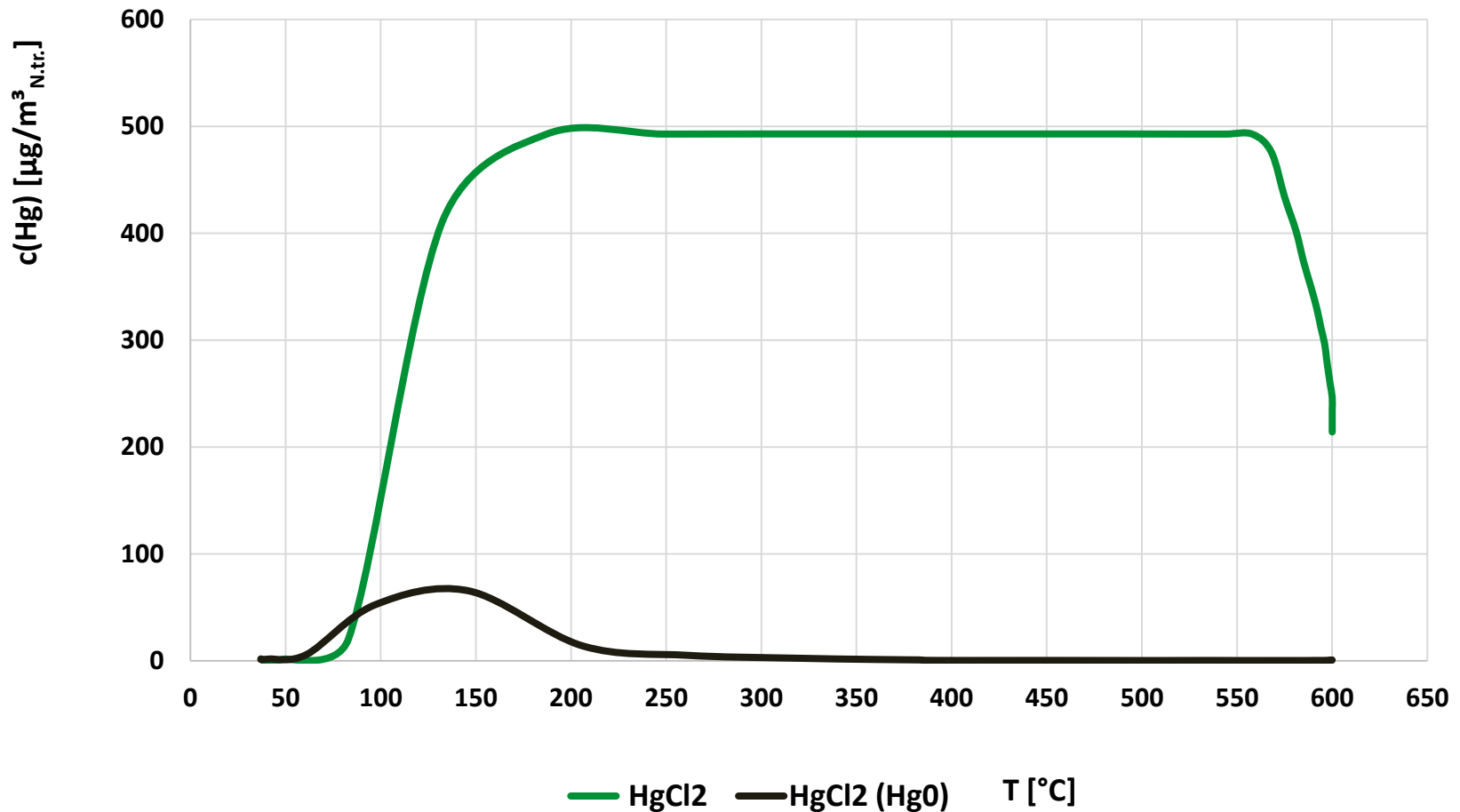
Trärgas synthetische Luft, 5 L/min; Messung Hg_t Verewa Kalibrationsgrenze 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{N.tr.}$

Einstoff- und Zweistoffsystem im Vergleich



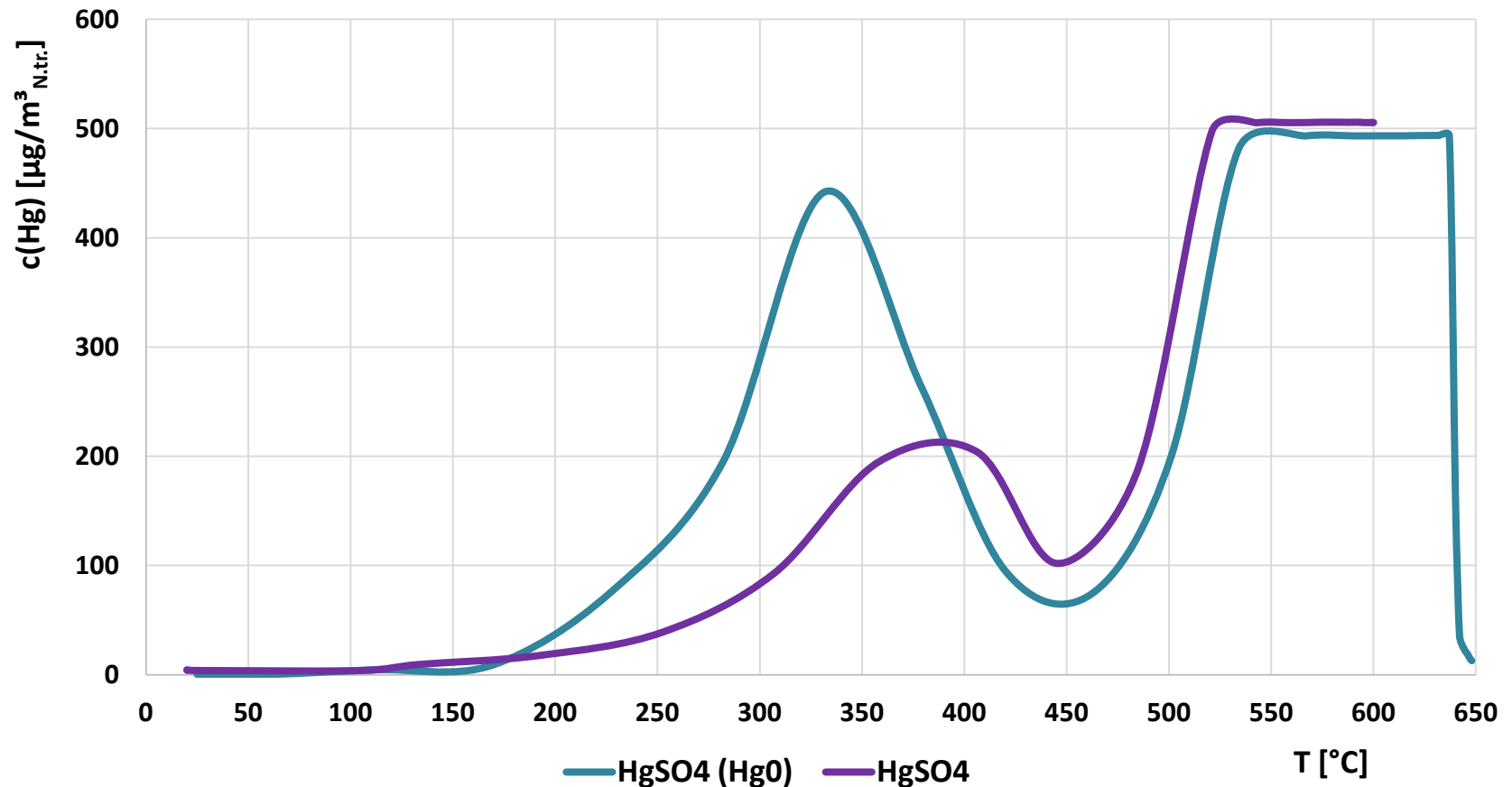
Trägergas synthetische Luft, 5 L/min; Messung Hg_t Verewa Kalibrationsgrenze 250 µg/m³_{n.tr.}

Hg^0 und Hg^{t} bei der Verdampfung von HgCl_2



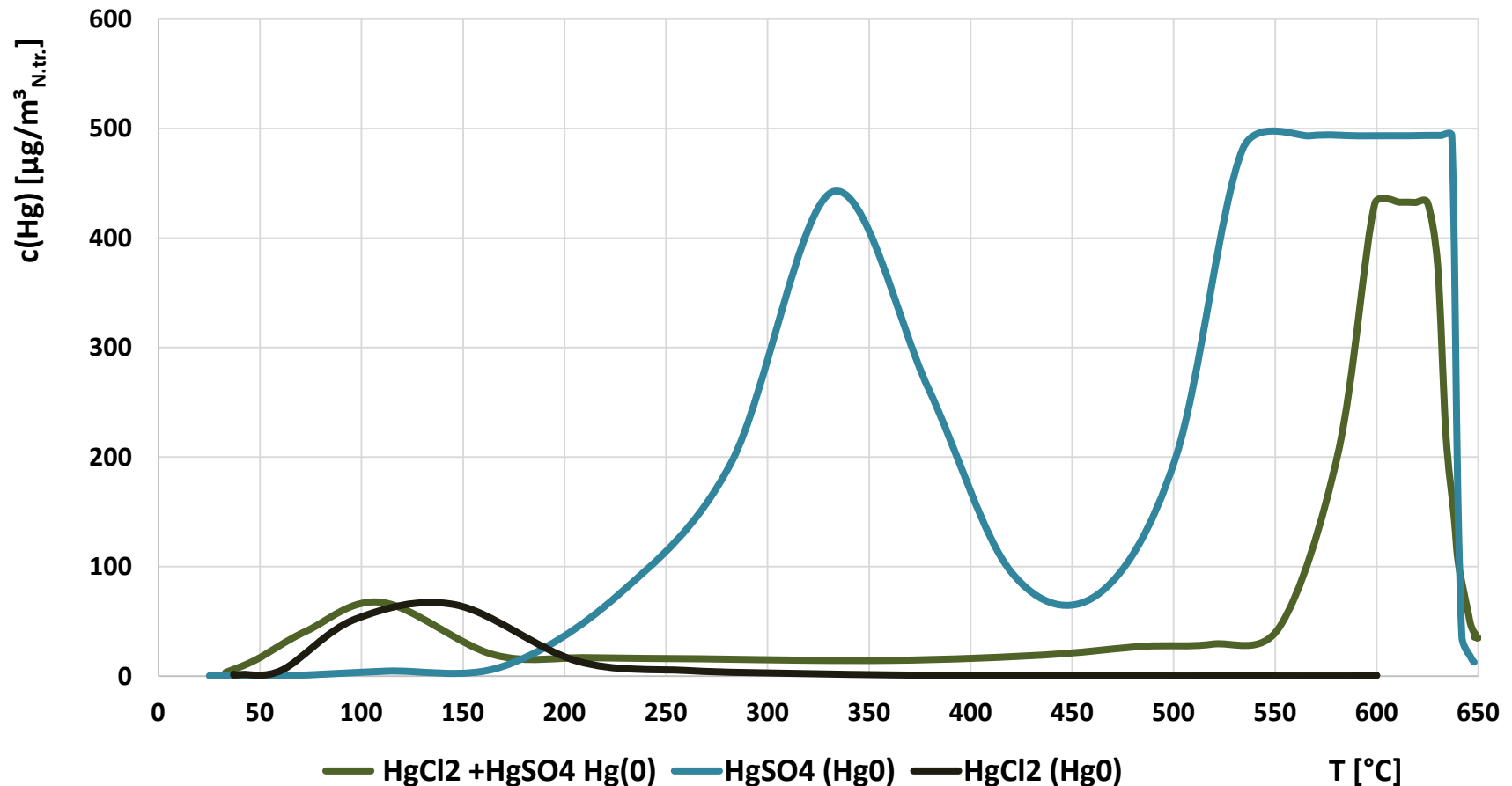
Trärgas synthetische Luft, 5 L/min; Messung $\text{Hg}^{\text{t}}/\text{Hg}^0$ Verewa, Kalibrationsgrenze 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{n.tr.}}$

Hg^0 und Hg^{t} bei der Verdampfung von HgSO_4



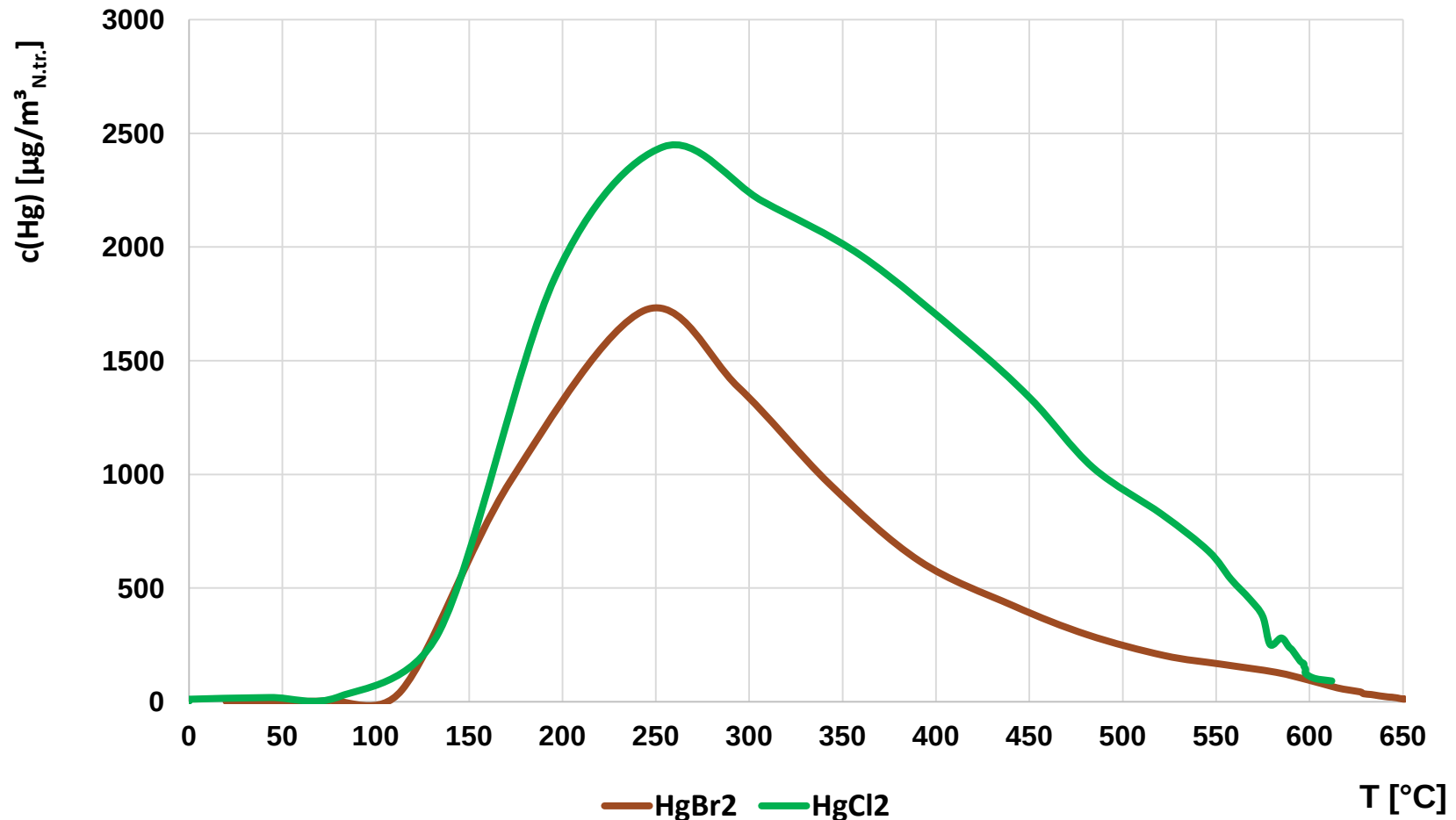
Trärgas synthetische Luft, 5 L/min; Messung $\text{Hg}^{\text{t}}/\text{Hg}^0$ Verewa, Kalibrationsgrenze $250 \mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{n.tr.}}$

Einstoff- und Zweistoffsystem im Vergleich



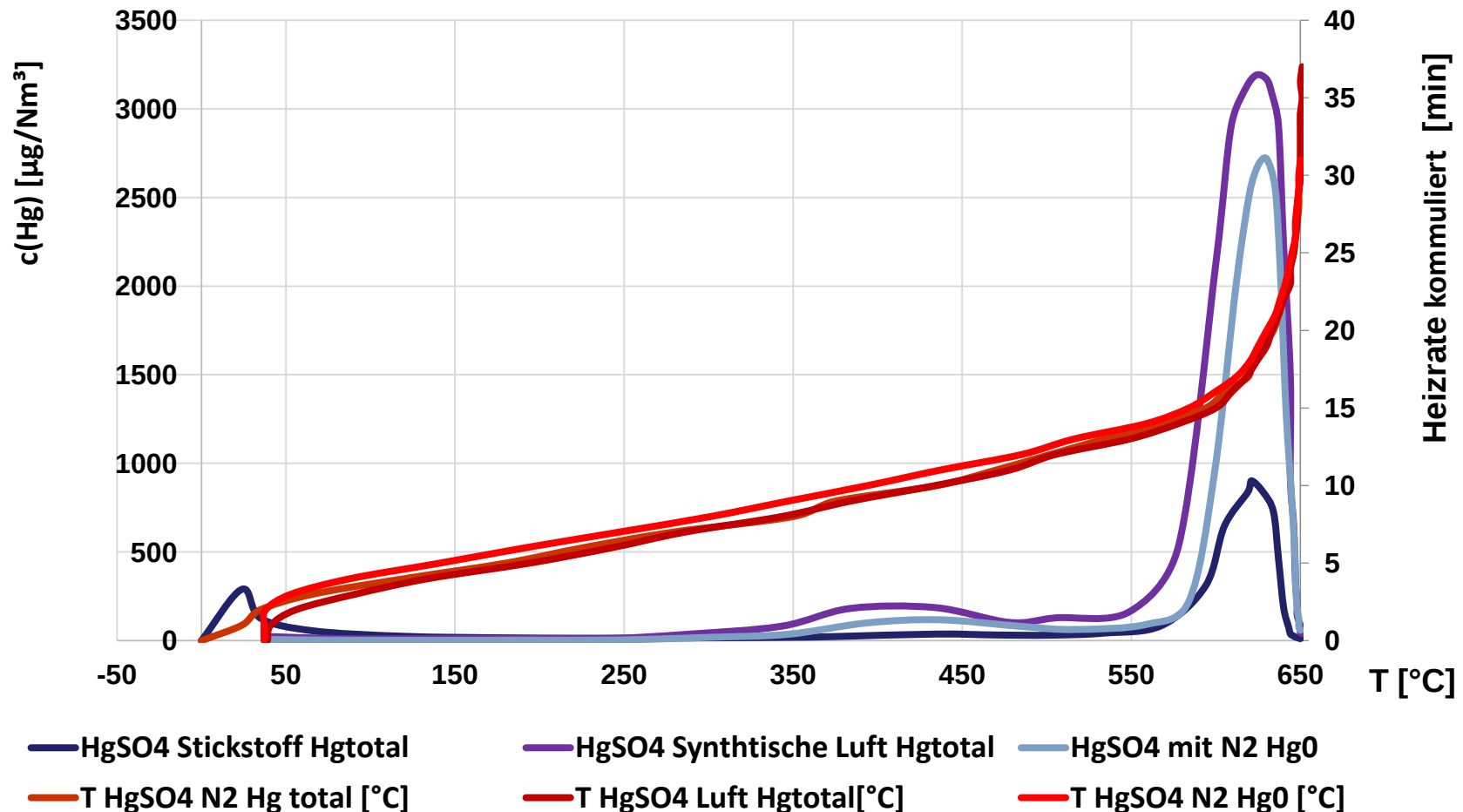
Trärgas synthetische Luft, 5 L/min; Messung Hg^0 Verewa, Kalibrationsgrenze $250 \mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{n.tr}}$

VM3000 Halogenide im Vergleich identische Einwaage

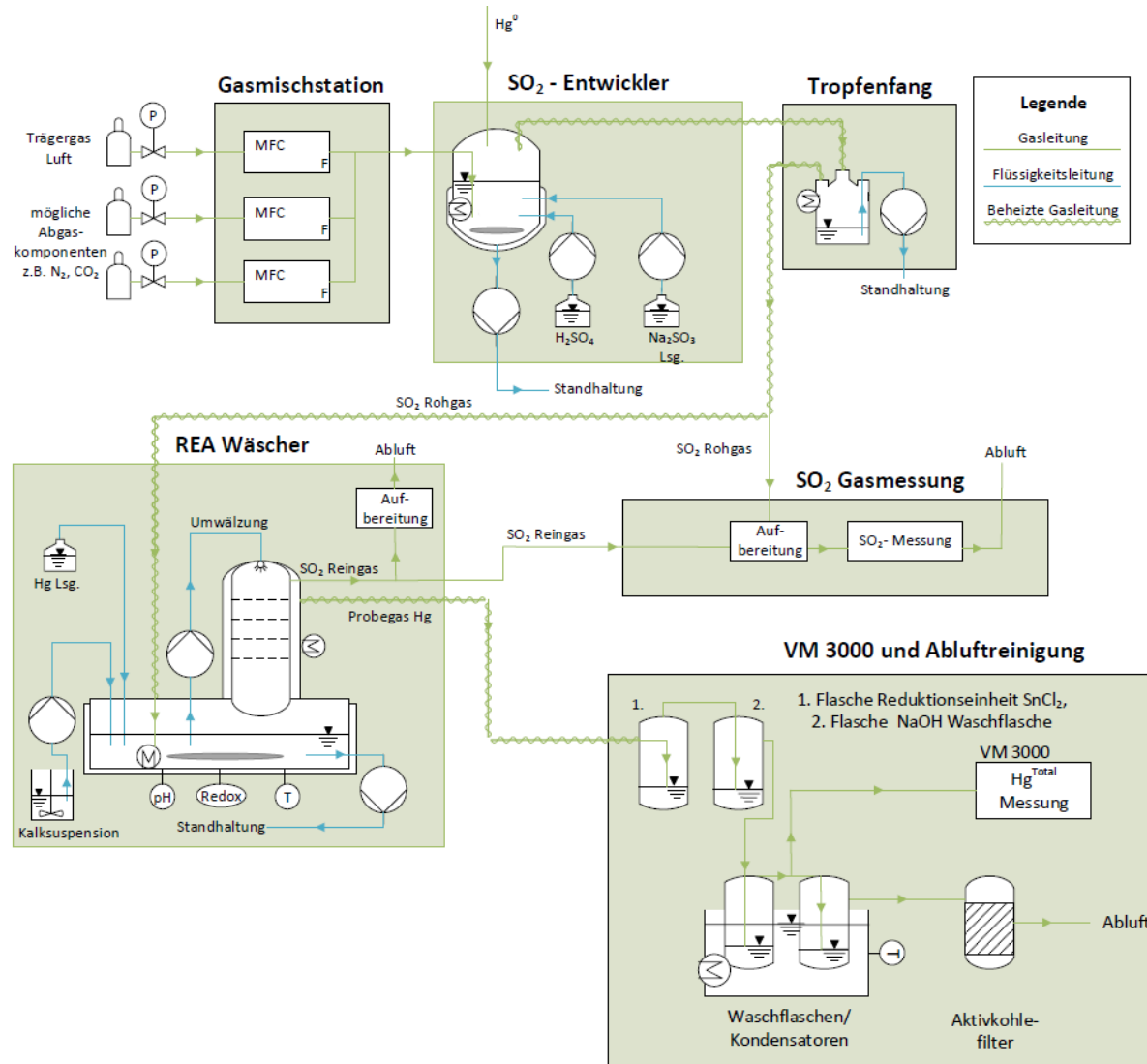


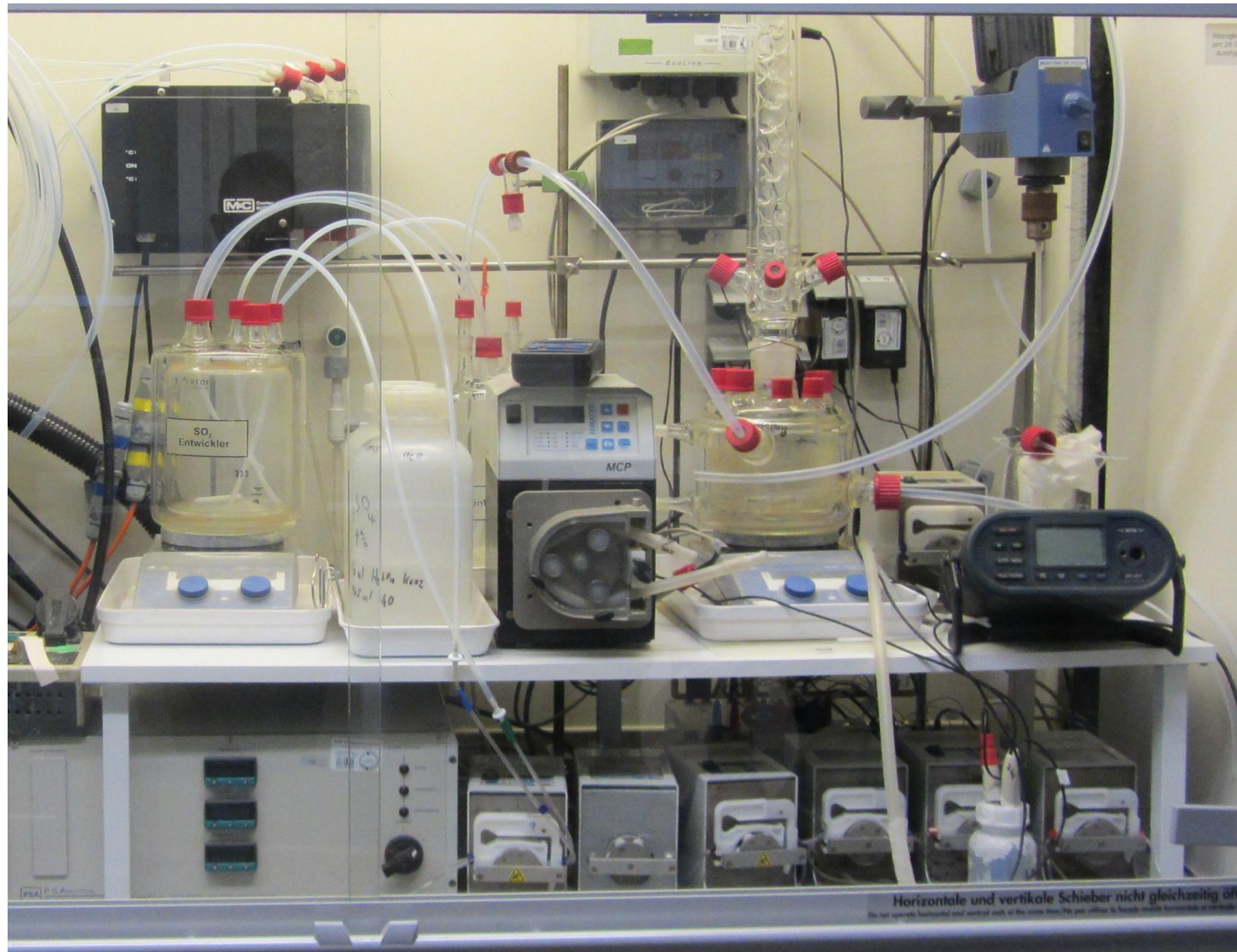
Trärgas synthetische Luft, 5 L/min; Messung Hgt VM3000, Kalibrationsgrenze 0-1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{n.tr}}$ und 0-2.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{n.tr}}$

Vergleich Trärgas: Stickstoff und synthetische Luft

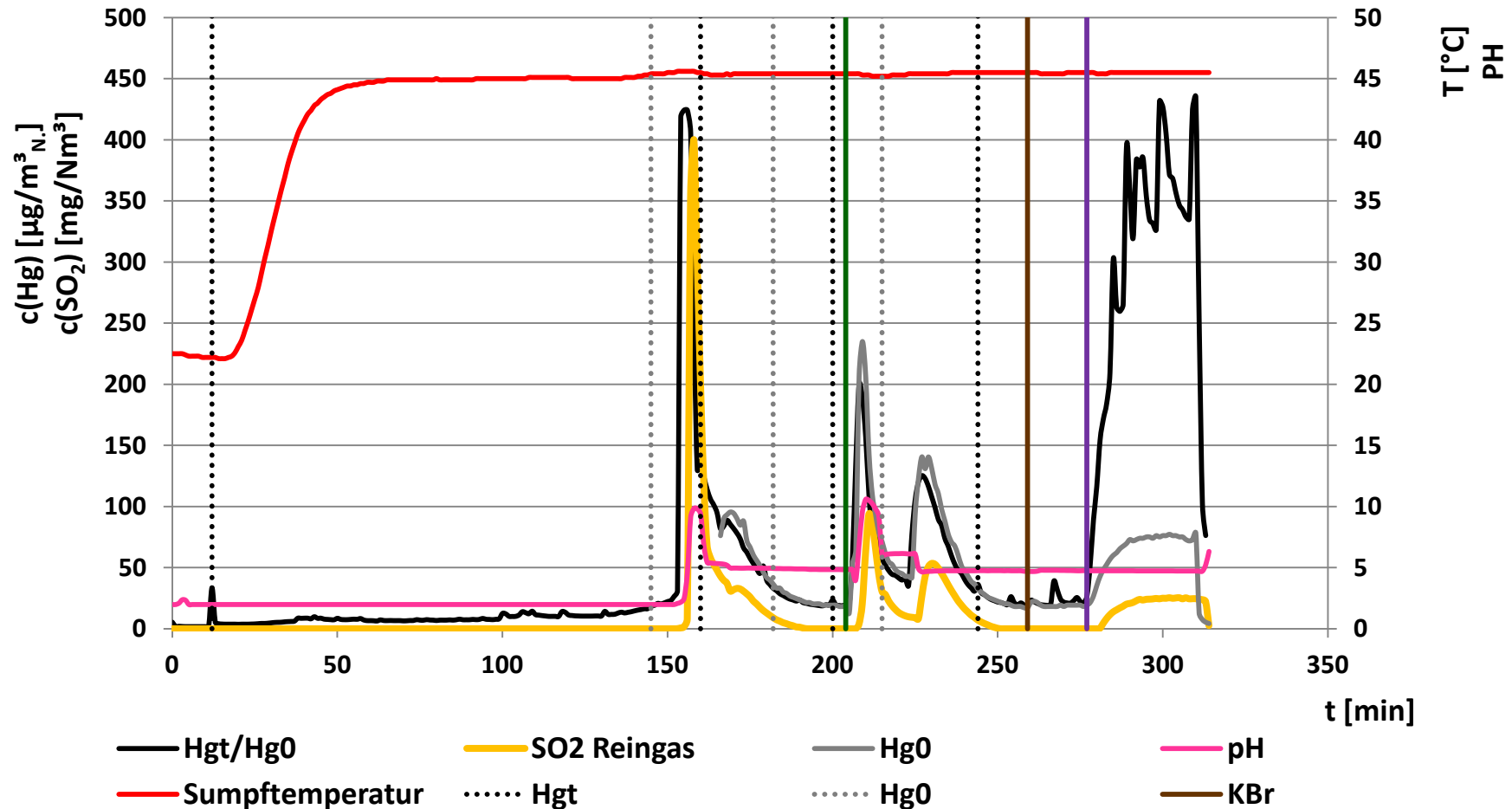


Trärgas synthetische/ N_2 , 5 L/min; Messung Hg0 VM3000, Kalibrationsgrenze 0-1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{n.tr}}$ und 0-2.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{n.tr}}$, KOH Waschflasche

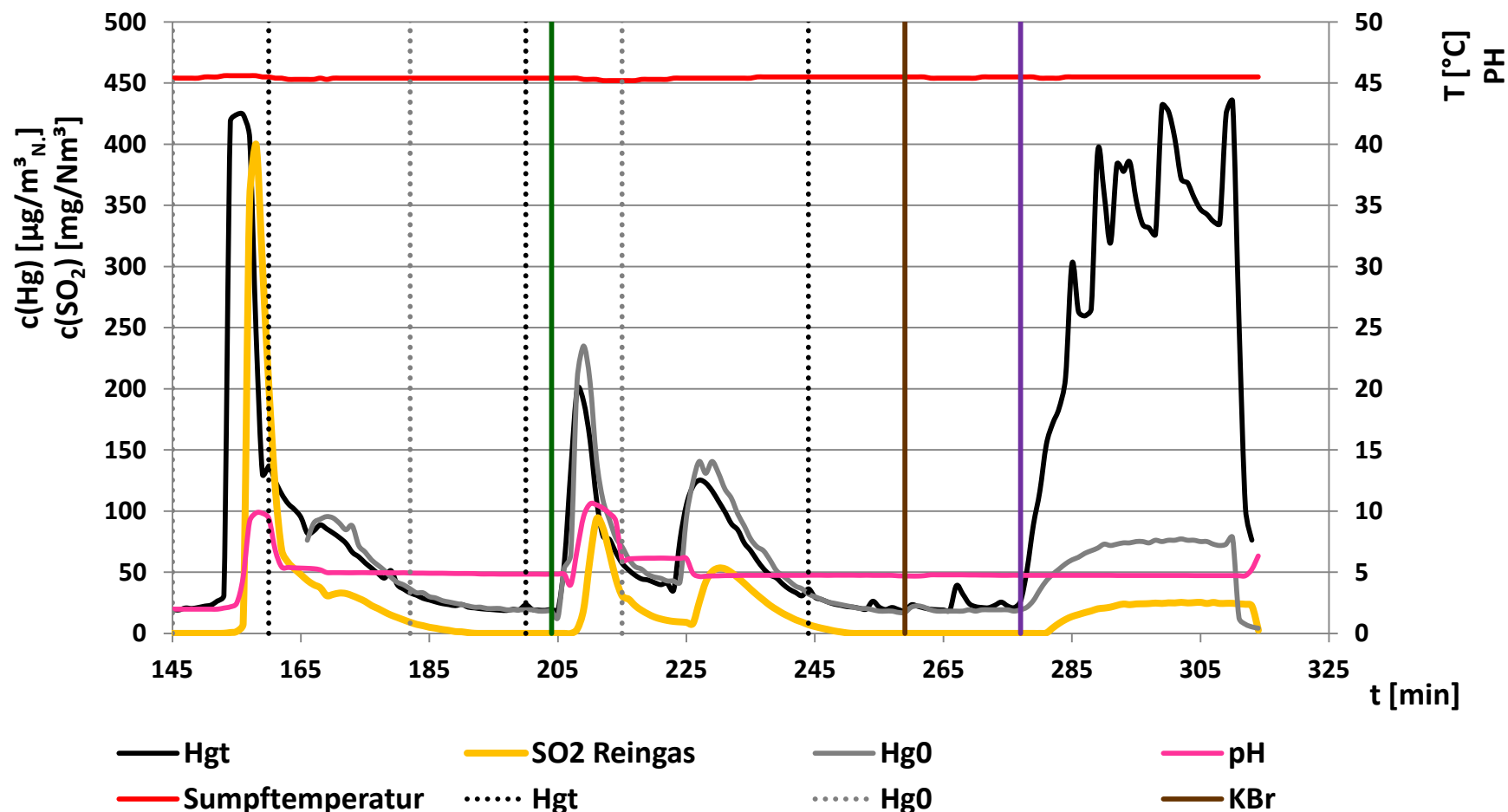




HgSO₄ im Halogenidsystem bei 45°C

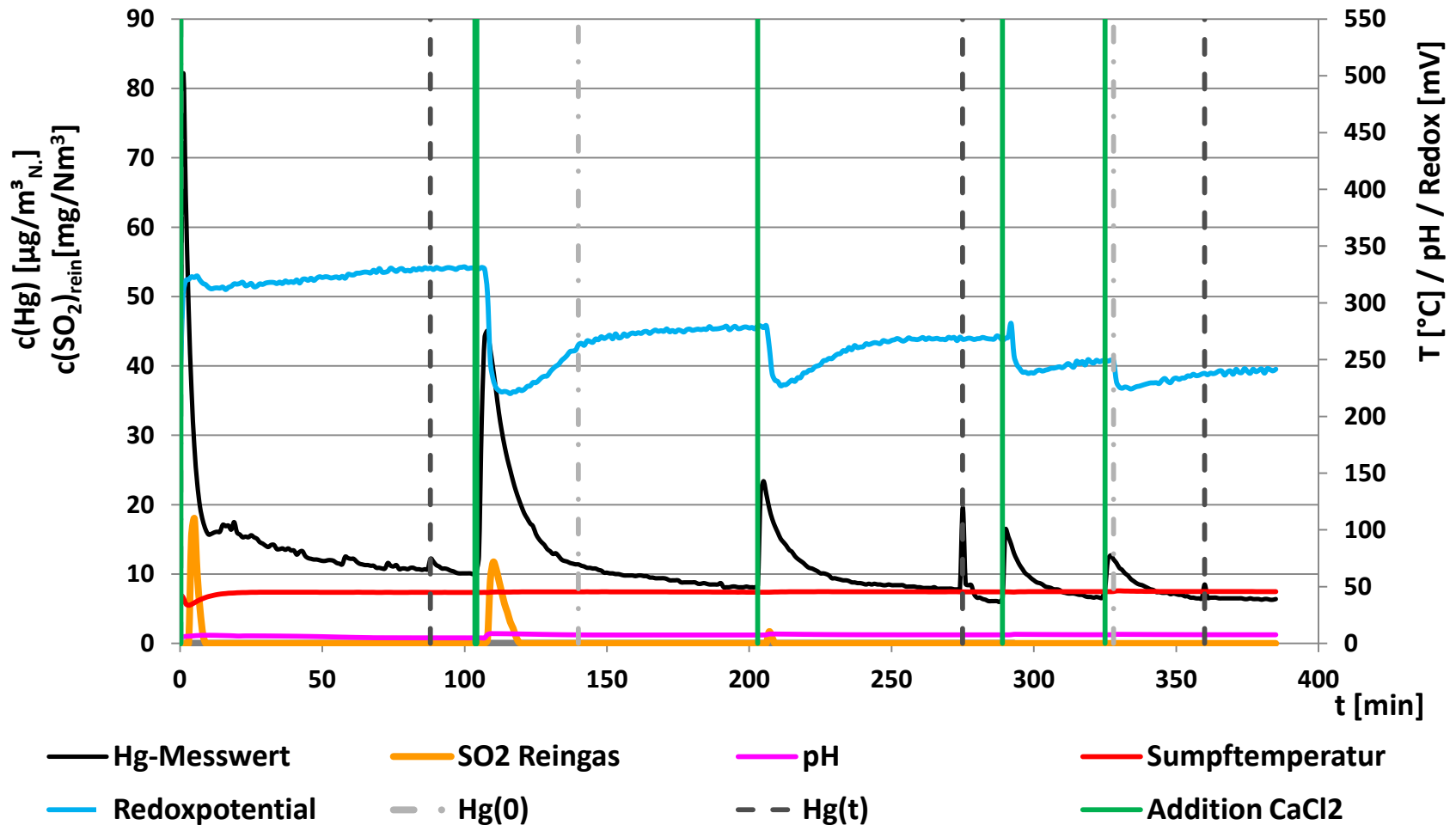


HgSO₄ im Halogenidsystem



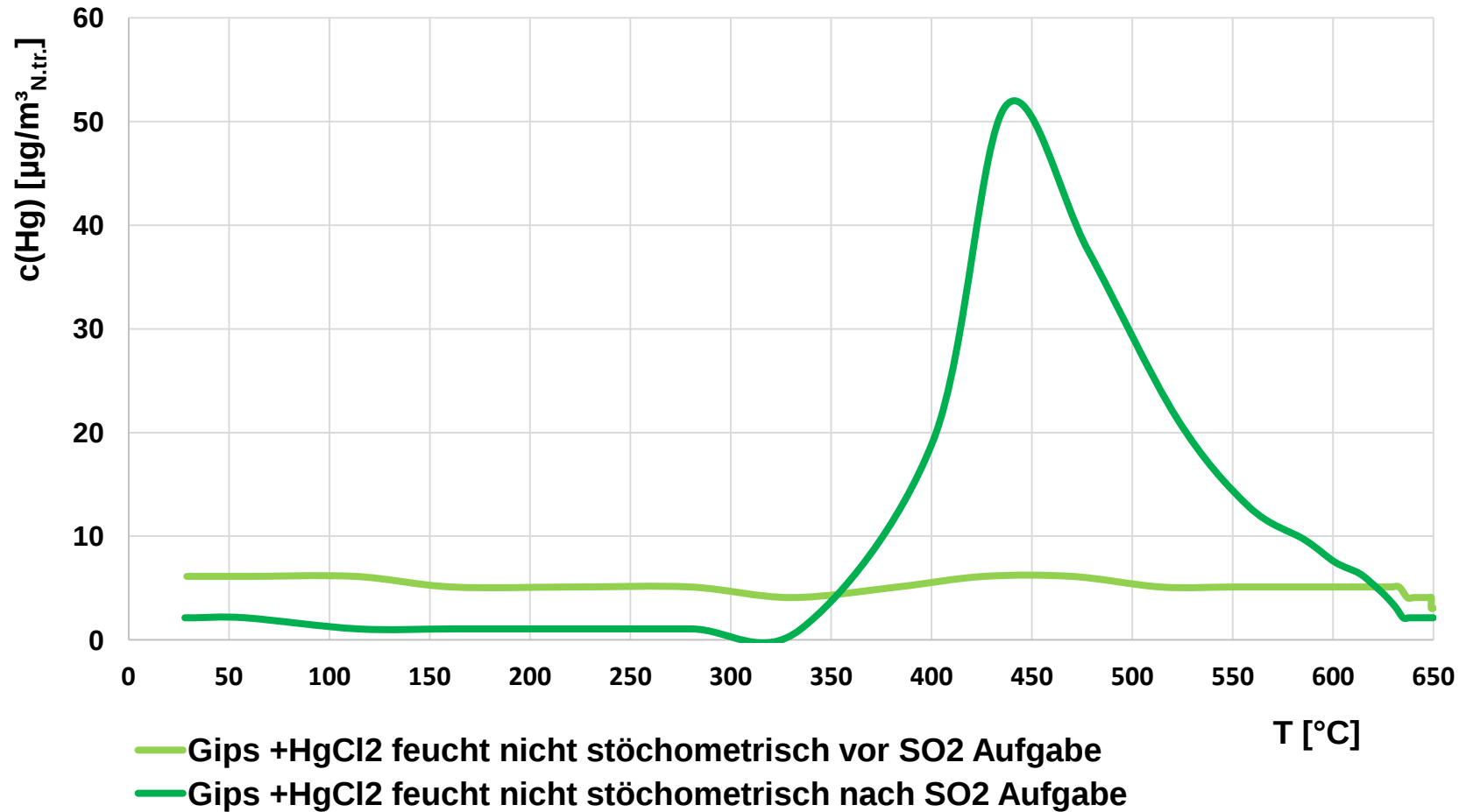
16.08.2019, HgSO₄ gelöst in 4% H₂SO₄ aufgefüllt mit VE-Wasser, Hg(t)/Hg(0) = 5·10⁻⁵ mol/l in VE-H₂O, kein SO₂ T= 50°C, Zudosierung von je 0,15 mol Halogenidionen

Verhalten von HgCl₂ im Chlorid-dominierten System



29.08.2019, HgCl₂, Hg(t)/Hg(0) = $5 \cdot 10^{-5}$ mol/l in VE-H₂O, kein SO₂ T= 50°C, Zudosierung von je 11 g CaCl₂ (0,2 mol Cl⁻)

Gipsproben vor und nach einem Wäscherversuch mit HgCl_2 und Gipsbildung



1. Thermodesorption:

- Temperaturstufen zeitaufwendig und sensibel gegenüber Regelung
- zur Standardanalyse von Hg-Spezies ungeeignet
- zur Generierung von Stoffdaten bevorzugte Methode
- Temperaturgradient zur Standardanalyse aussichtsreichere Methode
- umfassende Analyse erfordert $\text{Hg}(0)$ und Hg^{t}

2. REA-Wäscher

- IBN des bestehenden Systems weitestgehend abgeschlossen
- Erweiterung mit 2. Sumpf auf später verschoben

1. Thermodesorption:

- Gezielte Temperaturrampen
- Erstellung einer Datengrundlage
- Analyse von Gipsproben (fein und grob)

2. Ganzheitliche Hg-Bilanz des Wäschersystem

- Abhängigkeit der einzelnen Betriebsparametern
 - Halogenidkonzentration
 - Sulfit-Konzentration
 - Redoxpotential
 - pH-Wert
- Analyse der vorliegenden Hg-Spezies nach dem Wäscherbetrieb

EVT

Darstellung der Arbeiten

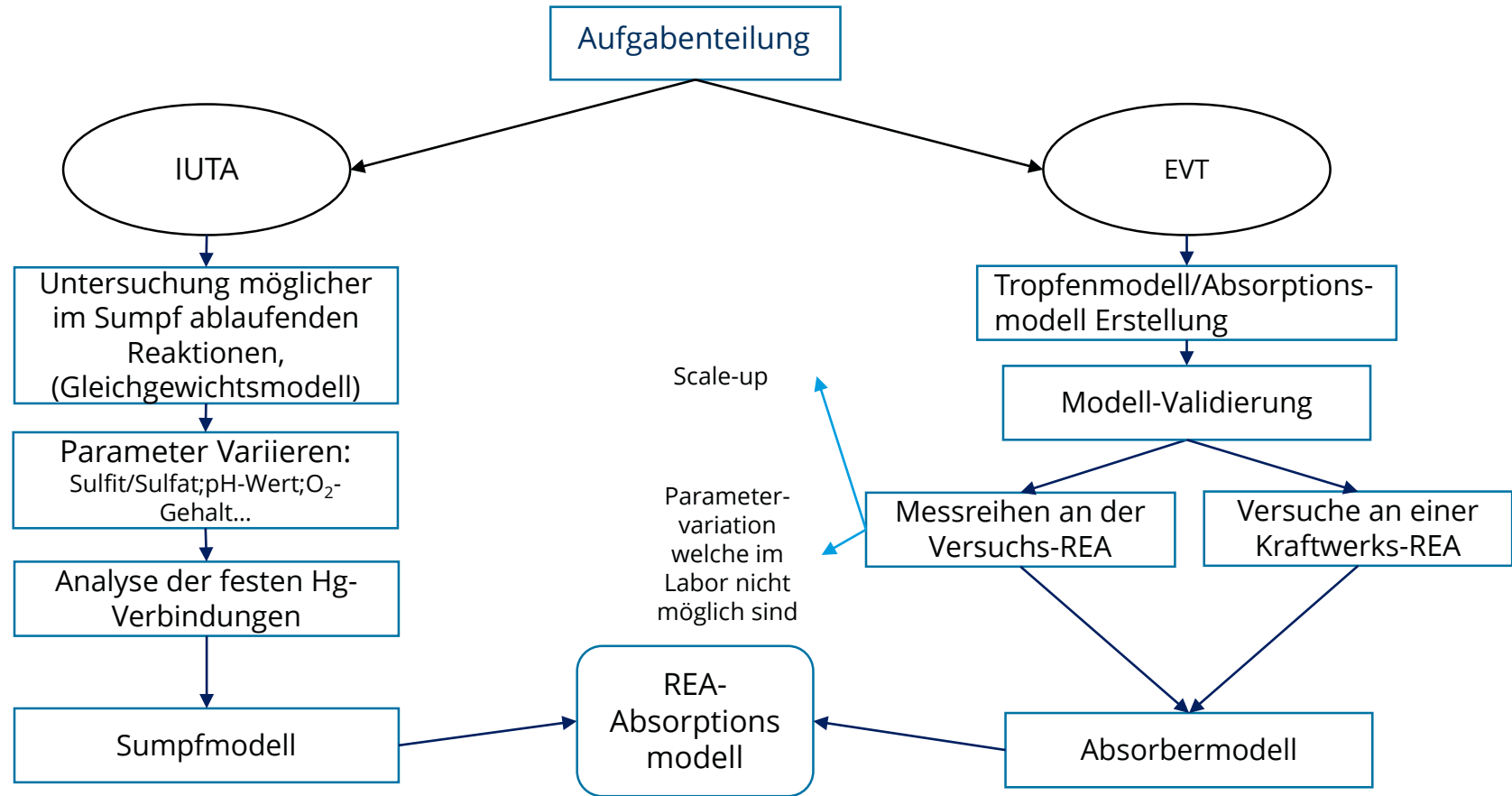
Institut für Energieverfahrenstechnik und Umwelttechnik

Absorptions- und Reemissionsvorgänge von Quecksilber in Wäschern zur Entschwefelung von Verbrennungsabgasen

Mohammad Nader Alskaf

Kickoff-Meeting Projektbegleitender Ausschuss, 21.10.2019 , Dresden

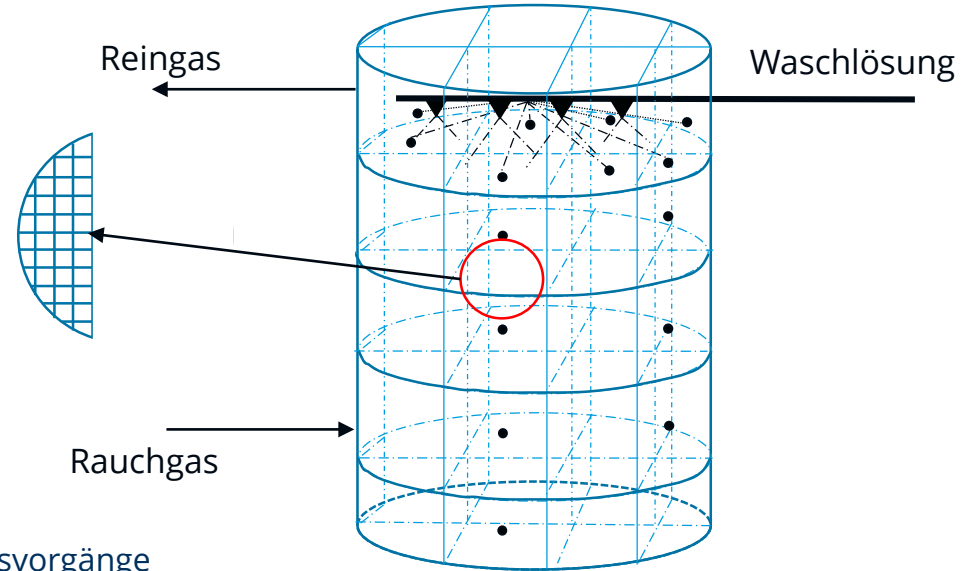
Aufgabenteilung – Tropfenmodell – Sorptionsvorgänge – Modellbausteine - Versuchsanlage



Tropfenmodell: Diskretisierung des Absorbervolumens

Vorgänge innerhalb der Sprühzone:

- Tropfenerzeugung durch Düsen
- Tropfenveränderung innerhalb der Sprühzone
- Wärmeübergangsvorgänge und Stoffübergangsvorgänge



Tropfenerzeugung durch Düsen abhängig von Düsenparameter:

Düsenart, Sprayform, Spraywinkel, Tropfengrößenverteilung...

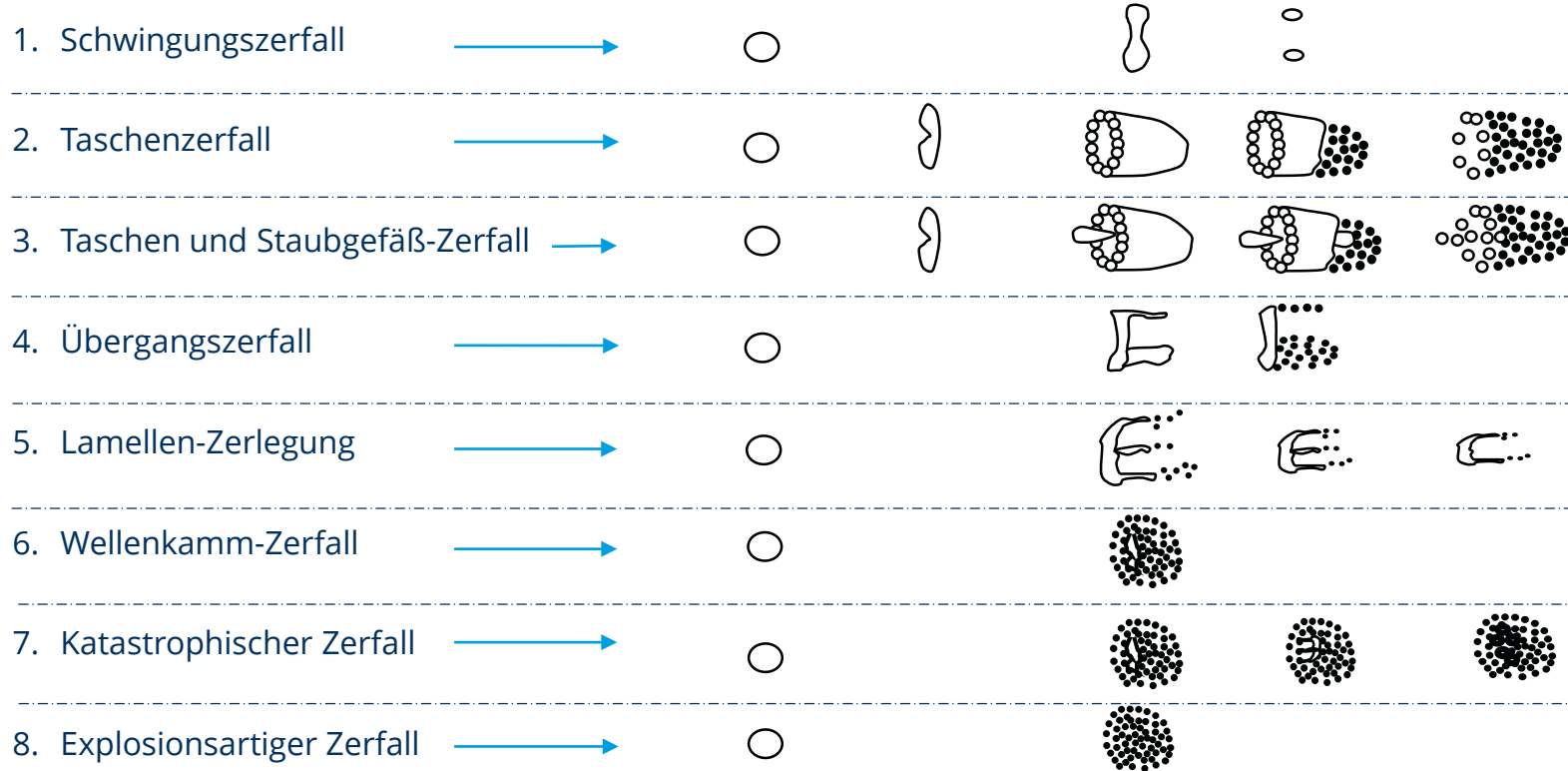


Spiraldüse



Außenmischende
Zweistoffdüse

Tropfenveränderung innerhalb der Sprühzone – mechanische Einflüsse / Düsenart:



Quelle: Zerstäubungstechnik, Günter Wozniak

Tropfenveränderung innerhalb der Sprühzone – thermische Einflüsse:

Wärmeübergangsvorgänge:

Aufgrund der Wärmeübertragung zwischen der Gas- und der Flüssigphase wird das Tropfen – zum Teil-
verdampft —————> Veränderung des Tropfendurchmessers.

– Verdampfung bzw. Kondensation abh. von Wasserdampfsättigung im Gasstrom, Rauchgaseintritts-
temperatur, Waschlösungseintrittstemperatur.

Tropfenveränderung innerhalb der Sprühzone – chemische Einflüsse:

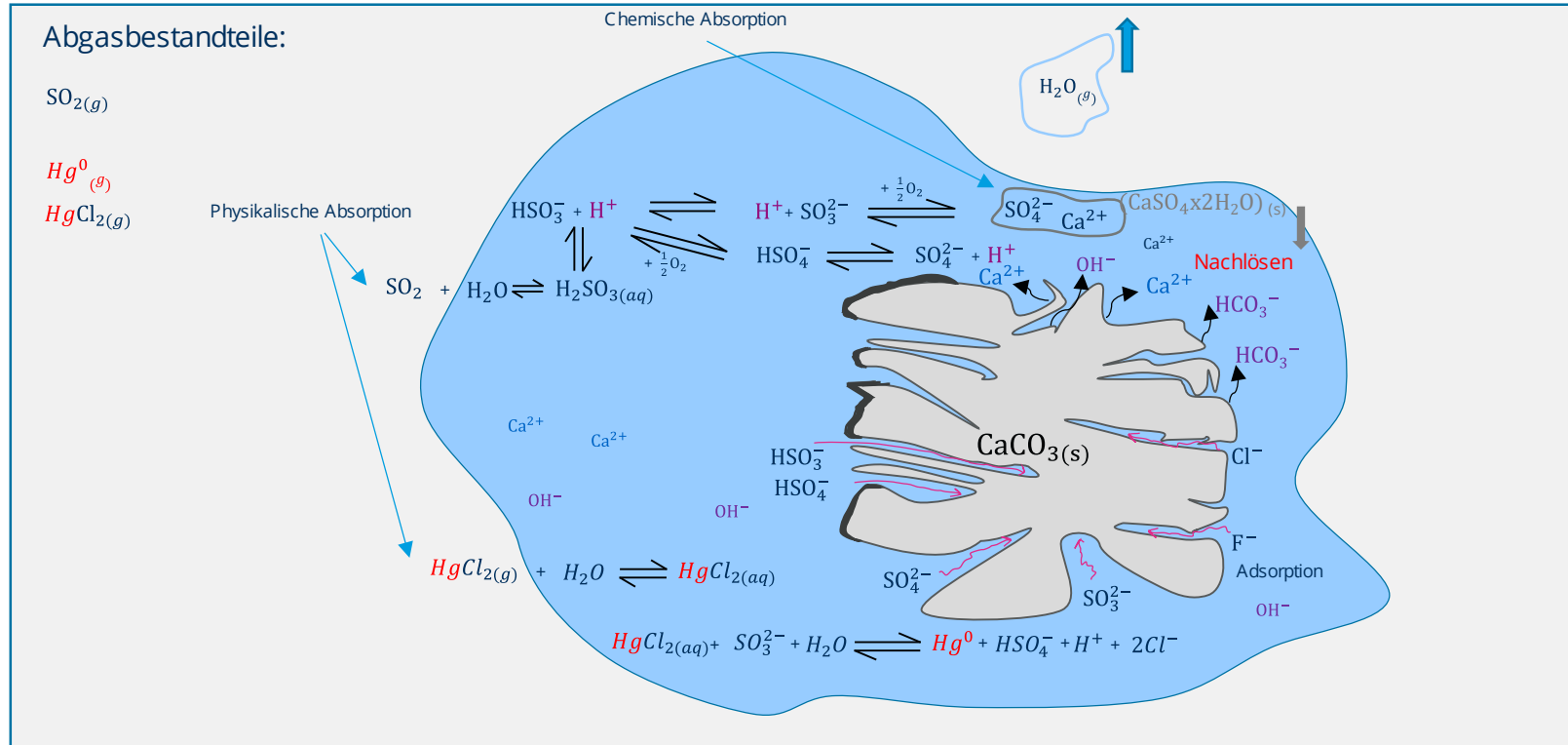
Stoffübergangsvorgänge:

chemische und physikalische Absorption und Adsorption:

Was betrachtet werden soll:

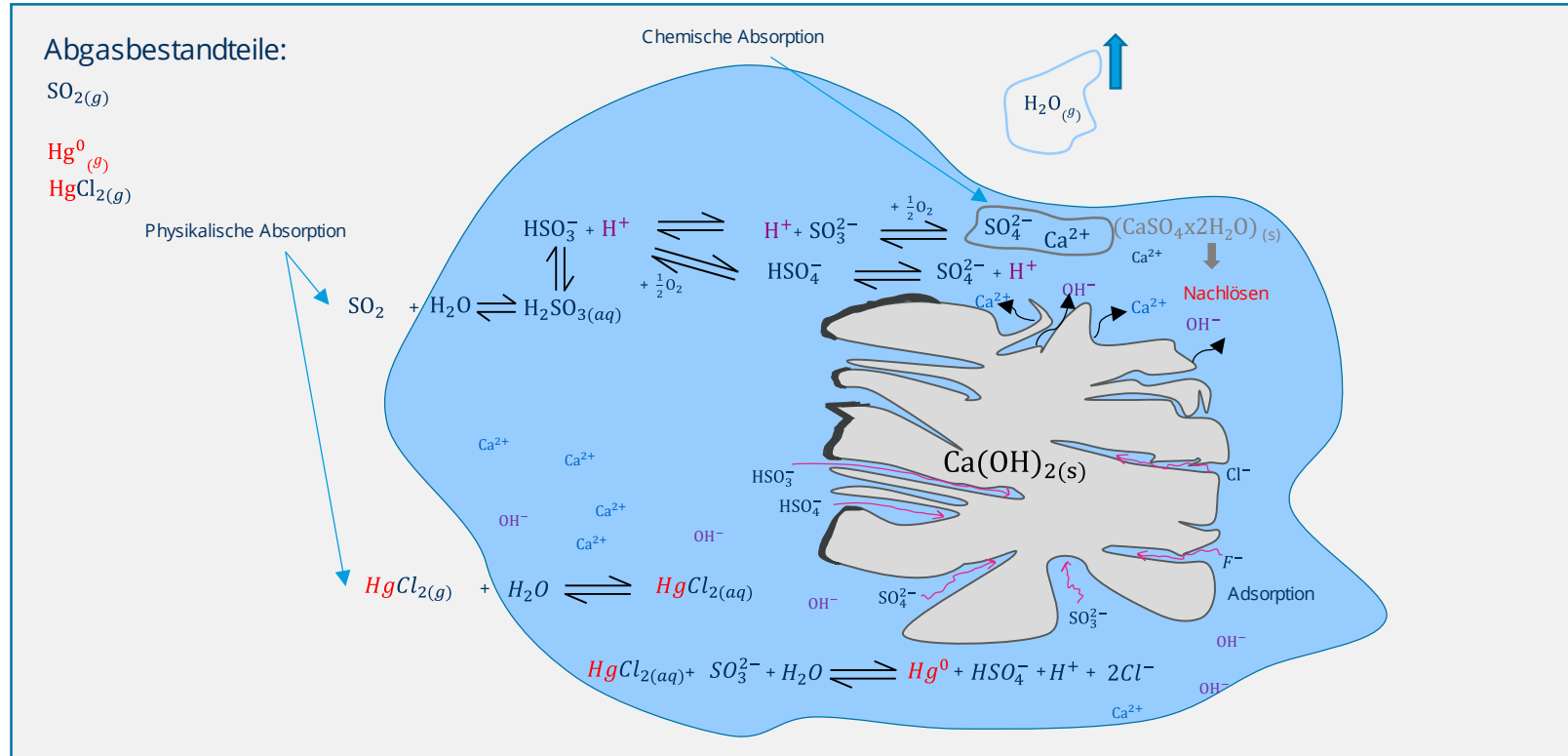
- Sulfit als potenzieller Ligand in dem Modell für Halogenid-dominierte Systeme integrieren.
- Identifizierung der wechselseitigen Beeinflussung der unterschiedlichen Betriebsparameter.
- Beschreibung der genauen Stoff- und Wärmeübertragungsabläufe zwischen der Gas- und Flüssigphase im Absorberteil der REA für Quecksilber.

Vereinfachte Darstellung der potenzielle Reaktionspfade am Tropfen der Kalkstein-Suspension



Quelle: Verändert aus Margit Löschau: Reinigung von Abgasen ; Gary M. Blythe, 2008, Bench-scale Kinetics Study of Mercury Reactions in FGD Liquors. Barna Heidel, 2015, Wechselwirkungen bei der Abscheidung von Schwefeldioxid und Quecksilber durch nasse Rauchgasentschwefelungsanlagen

Vereinfachte Darstellung der potenzielle Reaktionspfade am Tropfen der Kalkhydrat-Suspension



Quelle: Verändert aus Margit Löschau: Reinigung von Abgasen ; Gary M. Blythe, 2008, Bench-scale Kinetics Study of Mercury Reactions in FGD Liquors. Barna Heidel, 2015, Wechselwirkungen bei der Abscheidung von Schwefeldioxid und Quecksilber durch nasse Rauchgasentschwefelungsanlagen

		CaCO_3	Ca(OH)_2
Kosten		geringer	höher
Löslichkeit		geringer	höher
Reaktivität		geringer	höher
Anwendung		Groß-kraftwerke	TAV

Modellbausteine aus der Literatur

- Blythe et al. (2008): Untersuchungen zum Verhalten von Hg-Verbindungen in REA: Experiment und Modellierung: - weniger Re-emissionen mit mehr S- und Cl-Konzentrationen.
 - höhere Fällmittel-Konzentrationen (TMT-15) verursacht Reemissionen.
- Schütze et al (2015): Versuche an der REA des Kraftwerkes Lippendorf um den Hg-Abscheidegrad zu erhöhen.

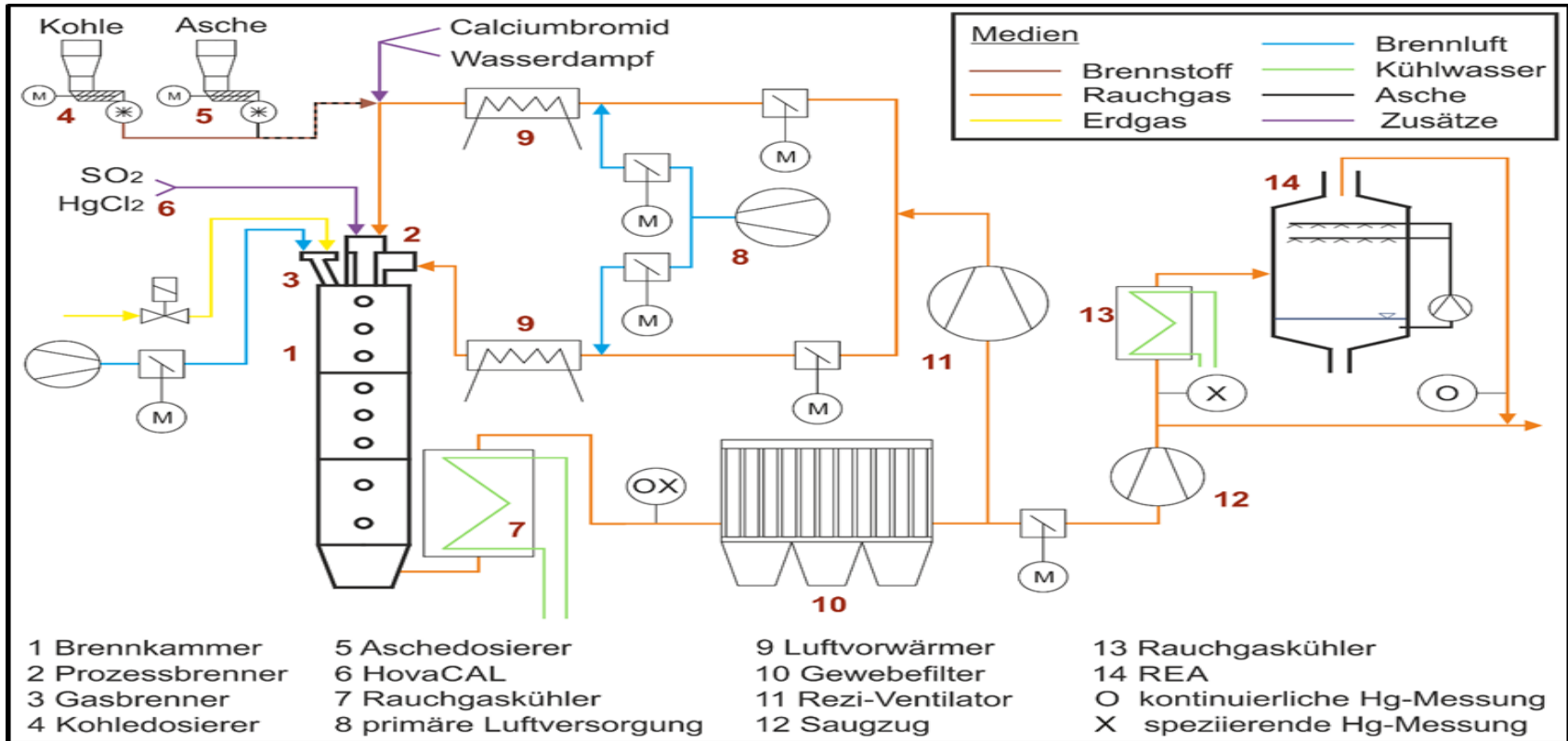
Test verschiedener Fällmittel => sulfidisches Fällungsmittel am wirksamsten

- Heidel (2015) : Wechselwirkung von SO_3^{2-} , Cl^- , Br^- , I^- und Hydroxid-Anion mit Hg.
- Krzyżyńska et al. (2018): Einfluss von NaClO_2 - und SO_2 -Zugabe auf Hg-Abscheidung.
- Agarwal (1995): Modellierung der REA mit kommerziellem Programm: Hg nicht betrachtet.
- Brogren (1997): Modellierung der SO_2 -Absorption in der REA mit Penetrationstheorie: Hg nicht betrachtet.
- Akbar et al. (2003): Modellierung der Gasabsorption in der REA mit innerer Zirkulation: Hg nicht betrachtet.

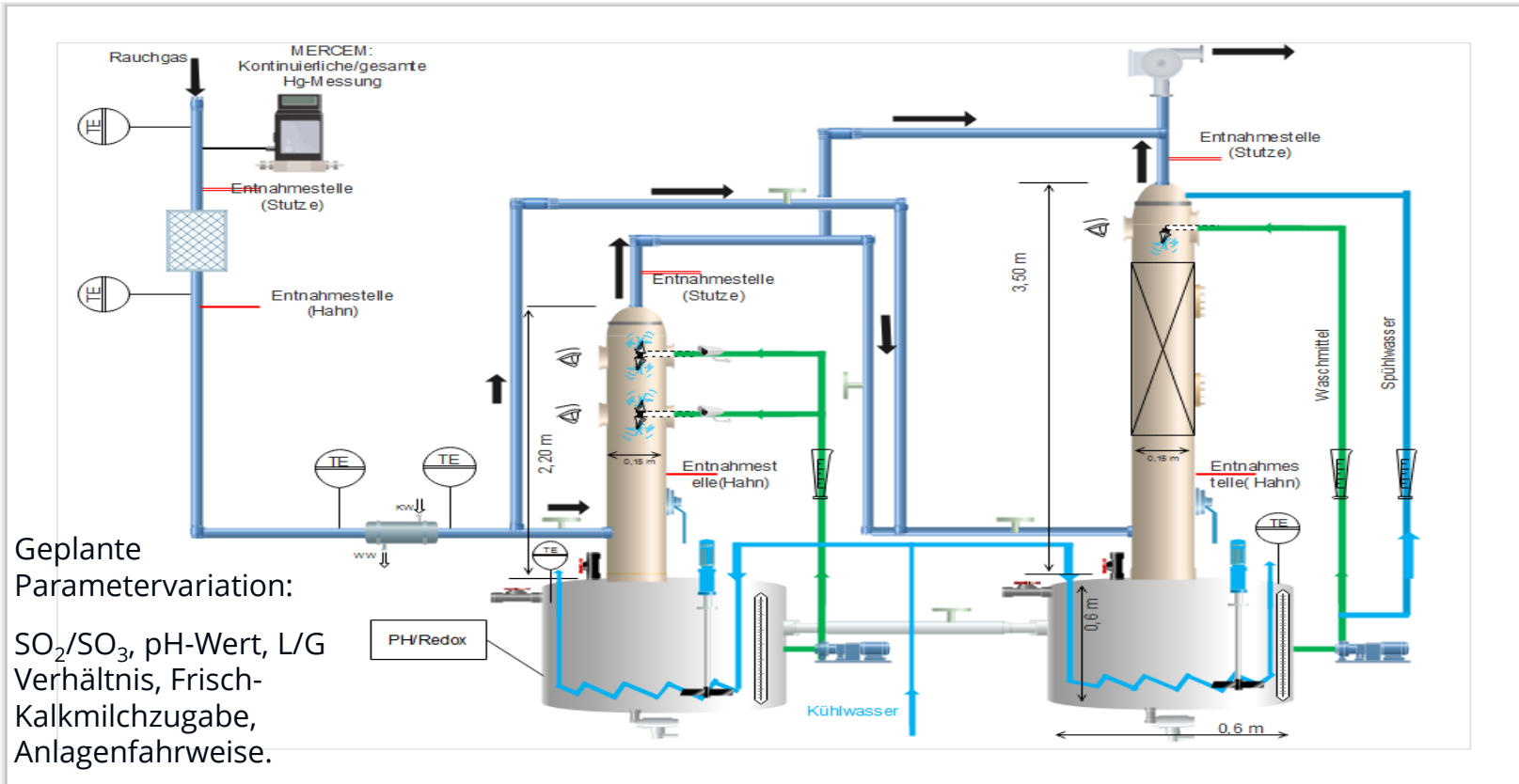
Modellbausteine aus der Literatur

- Brenn (2004): Beschreibung von Konzentrationsgradienten im Tropfen durch d^2 -Gesetz.
- Tokraz et al (2001): theoretische und experimentelle Studie für Stoffübertragung in Grenzschichten.
- Feldkamp et al (2004): Optimierung der Düsenposition in REA-Wäschern.
- Kaesemann und Fahlenkamp (2002): Modellierung für Tropfenkollisionen basierend auf experimenteller Untersuchung mit überlappenden Sprays.
- Schmidt und Mewes (2007): experimentelle Untersuchung des Einflusses der volumetrischen Zusammensetzung eines Drei-Komponenten-Tropfens auf das erzeugte Spray; zusätzlich orts aufgelöste Messung der Tropfengröße und Tropfengeschwindigkeit im Spray.
- Somoano et al. (2005): Verbesserung der Hg-Abscheidung in der REA durch Additivvariierung (MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , V_2O_5): pH-Wert und SO_2 -Konzentration haben großen Effekt.

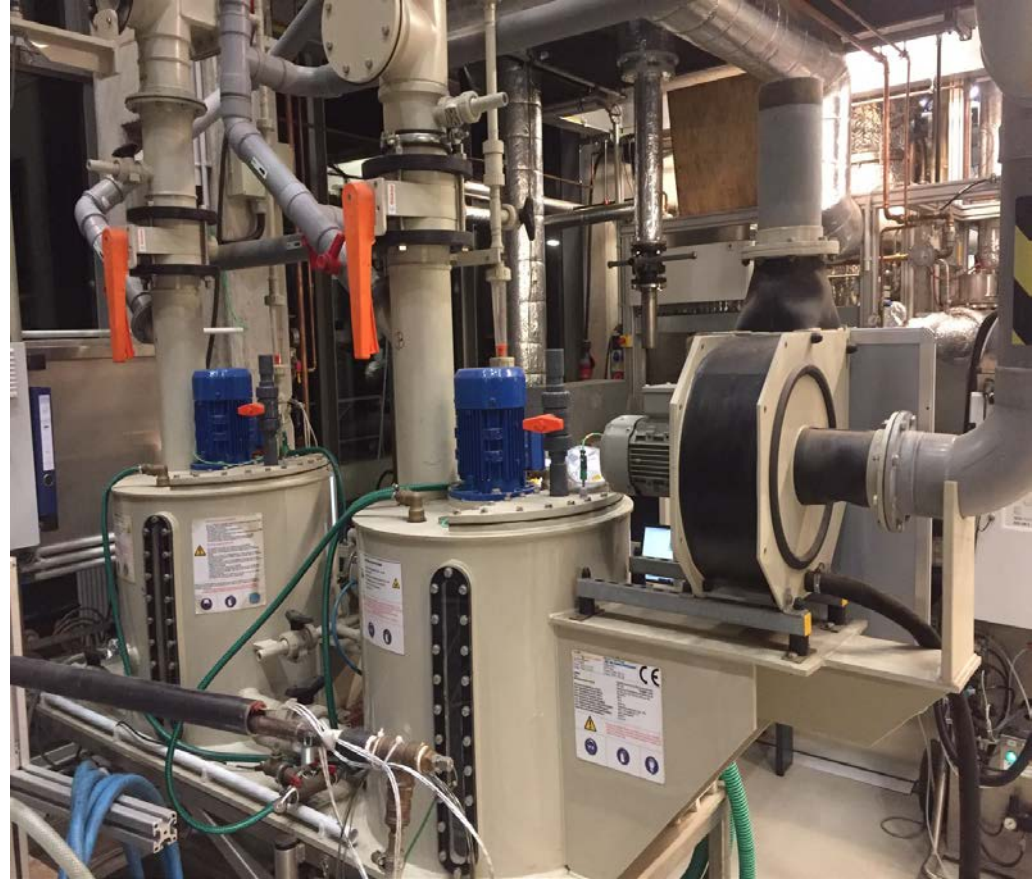
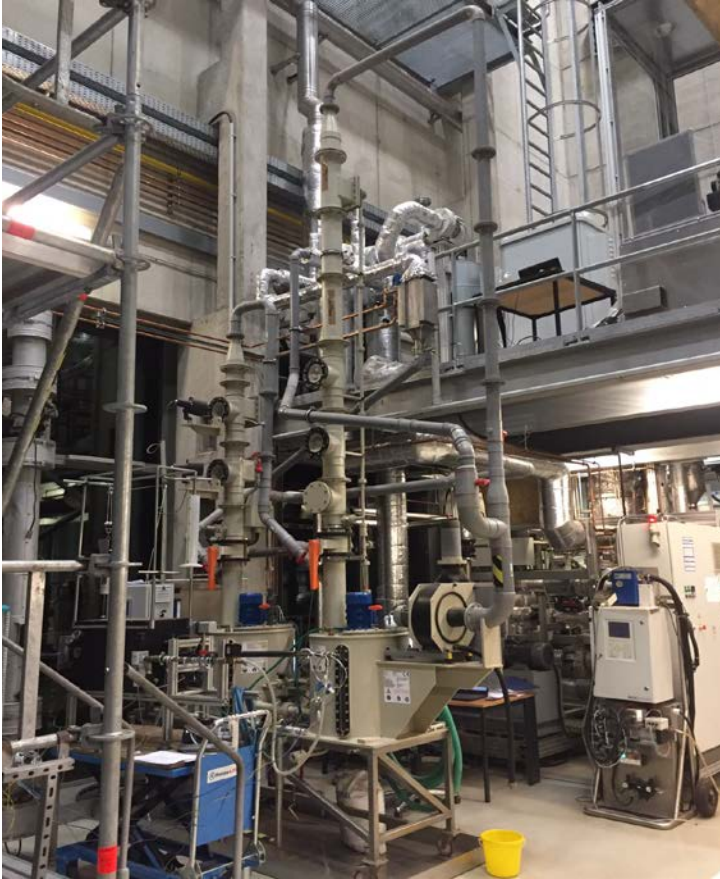
=> Für die Quecksilberabsorption- und -reemission existiert noch keine geschlossene Modellvorstellung!



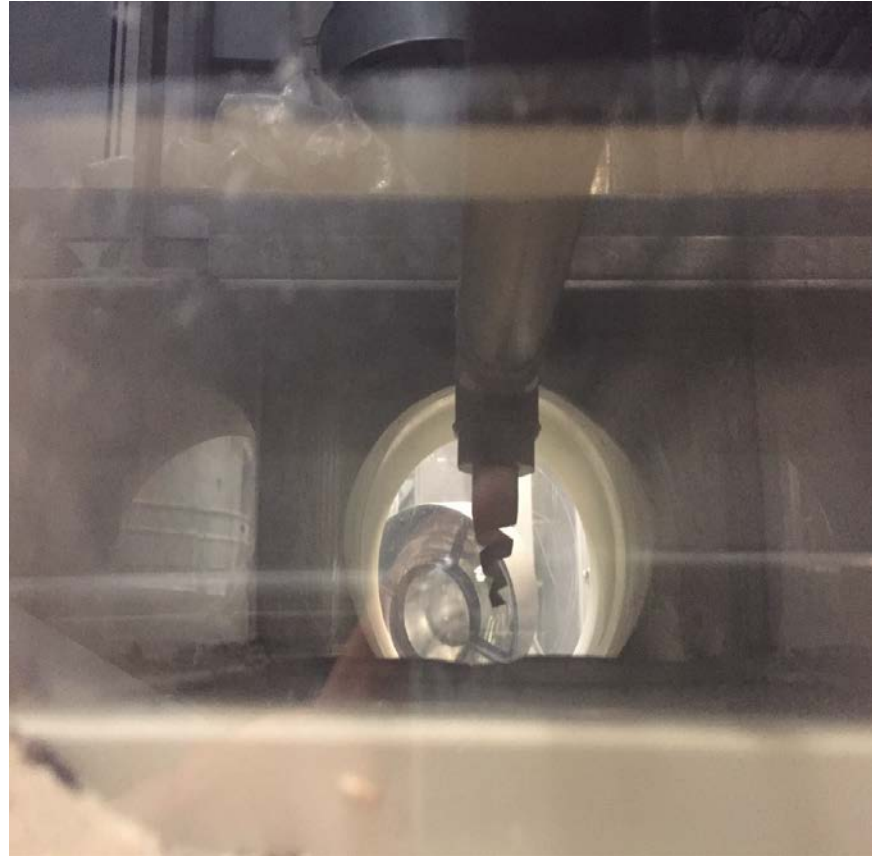
Versuchsstaubfeuerung mit angeschlossener Technikums-REA



Technikums-REA



REA Düsen



REA im Betrieb

Aufnahme mit
Hochgeschwindig-
keitskamera



Einladung zur Besichtigung



»Wissen schafft Brücken.«



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 20388BG der Forschungsvereinigung Umwelttechnik wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

M. Sc. Mohammad Nader Alskaf
Tel: +49 351 463 34036
Email: Mohammad_nader.alskaf@tu-dresden.de

Technische Universität Dresden
Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik
Professur für Energieverfahrenstechnik

Dr.-Ing. Andrea Ohle
Tel: +49 351 463 35470
Email: andrea.ohle@tu-dresden.de