

Optimierung der Emissionsminderungstechnik bei der Regenerativen Thermischen Oxidation (RTO)

Manuela Knoll

1.	Einführung in die Problemstellung	217
2.	Ammoniakreduktion: Stand der Technik.....	219
3.	Technische Beschreibung der RTO	219
3.1.	Hauptanlage	219
3.2.	Versuchsanlage	220
3.3.	Wesentliche Unterschiede zwischen Haupt- und Versuchsanlage	222
4.	Methodisches Vorgehen der Datenaufnahme und -bewertung.....	222
4.1.	Theoretische Verweilzeit	222
4.2.	Definition des autothermen Zustandes der RTO	223
4.3.	Auswahl der Leitsubstanzen und Bestimmung des Abscheidegrades....	226
5.	Ausblick und geplantes Vorgehen.....	228
6.	Quellenverzeichnis.....	229

1. Einführung in die Problemstellung

Die mechanisch physikalischen Abfallbehandlungsanlagen (MPS-Anlagen am Standort Berlin Reinickendorf und Pankow) sind nach 4. BImSchV¹ genehmigt und in diesem Zuge mit geeigneten Emissionsminderungsaggregaten ausgestattet. Durch jährliche, behördliche Überprüfungen wird unter anderem der Nachweis erbracht, dass die Emissionsminderungsaggregate dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Für die Emissionsminderung, der bei der Abfalltrocknung entstehenden Prozessluft, ist die Regenerative Thermische Oxidation (RTO) ohne vorgeschalteten sauren Wäscher vorgesehen. Da der Grenzwert für Ammoniak nicht immer sicher eingehalten wird, was in dem nachfolgenden Bild 1 gezeigt werden soll und der Einsatz eines sauren Wäschers nicht gewollt ist, sollen Maßnahmen identifiziert werden, welche die vorhandene Emissionsminderungstechnik optimieren können.

¹ § 4 Abs. 1 BImSchG in Verbindung mit § 1 Abs. 1 der 4. BImSchV Nr. 8.10b, Spalte 1 des Anhangs der 4. BImSchV

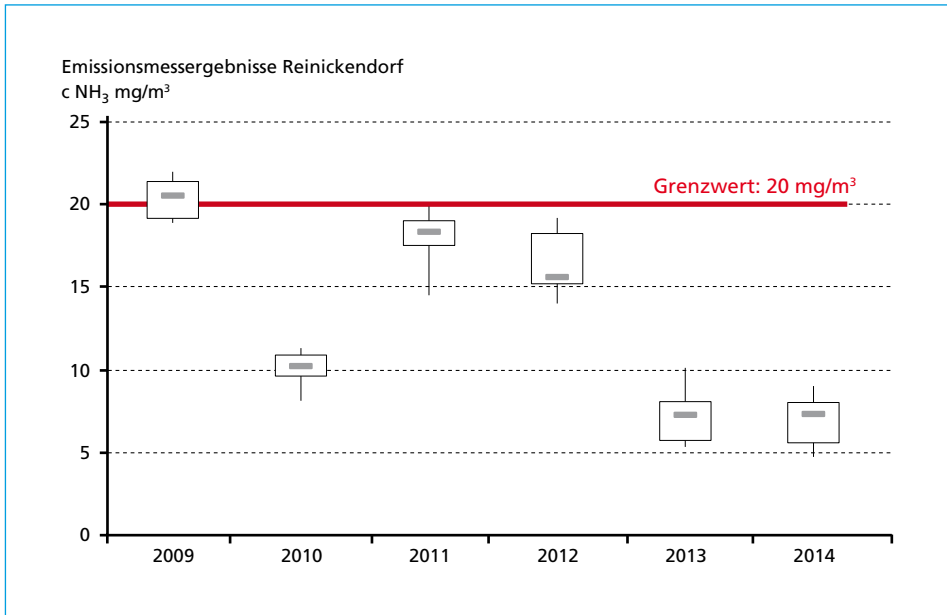


Bild 1: Emissionsmessergebnisse für Ammoniak der Jahre 2009 bis 2014 in der MPS Anlage Berlin Reinickendorf

Quelle: mps Betriebsführungsgesellschaft mbH: Interne Unterlagen. Berlin : s.n., 2014

Da die Gründe für die zeitweise auftretenden Grenzwertüberschreitungen noch nicht hinreichend bekannt sind, soll im ersten Schritt versucht werden Zusammenhänge zu erkennen, um daraus ableitend im zweiten Schritt die technischen Potenziale zur Optimierung der Emissionsminderungstechnik aufzuzeigen.

Bekannt ist, dass während des Behandlungsprozesses von Abfall eine Vielzahl von flüchtigen organischen und leicht zersetzbaren anorganischen Verbindungen entstehen, die vom verarbeiteten Input abhängen. Ein Großteil dieser Verbindungen wird in der RTO zu Kohlendioxid und Wasserdampf oxidiert. Bei stabileren Verbindungen kommt es jedoch teilweise zu Anoxidationen und Crackprozessen, sodass andere chemische Verbindungen entstehen.

Neben den Untersuchungen zum Abbauverhalten von Kohlenstoffverbindungen soll auch das Abbauverhalten von basischen Stickstoffverbindungen in der RTO zunächst analysiert werden, um dann geeignete Lösungsansätze abzuleiten, wie das Abbauverhalten gezielt beeinflusst und gesteuert werden kann. Diese Betrachtungen müssen parallel erfolgen, weil bei den angestrebten Optimierungsmaßnahmen für die Reduktion der Ammoniakemission, der Abbaugrad an Kohlenstoffverbindungen (TOC²) nicht negativ beeinflusst werden darf. In der jährlichen Emissionsmessung muss ein Abbaugrad für TOC größer gleich neunzig Prozent nachgewiesen werden.

² TOC: Total Organic Carbon

Aus der oben skizzierten Problemstellung leitet sich folgende Fragestellung ab:

Gibt es eine Möglichkeit die Emission von basischen Stickstoffverbindungen in der RTO zu mindern, ohne der RTO einen sauren Wäscher vorzuschalten?

2. Ammoniakreduktion: Stand der Technik

Das derzeit am weitesten verbreitete und als Stand der Technik anerkannte Verfahren zur Reduktion von Ammoniakemissionen ist die saure Abgaswäsche, unter bestimmten Voraussetzungen kommen auch Biowäscher und Biofilter zum Einsatz. Diese Methode wird auch im aktuellen BVT³-Merkblatt für Abfallbehandlung des Umweltbundesamtes benannt. Der ammoniakhaltige Abgasstrom wird dabei mit Schwefelsäure neutralisiert und als Ammoniumsulfat ausgefällt. [5]

Die Installation eines sauren Wäschers in der Prozessluftbehandlung bei den MPS-Anlagen ist keine Option. Es ist davon auszugehen, dass durch die Abkühlung des Abgasstromes Kondensationsprozesse aufgrund von Taupunktunterschreitungen auftreten und damit Korrosionsprozesse begünstigt werden.

Aus diesem Grund soll eine Alternative zur sauren Abgaswäsche gefunden werden.

3. Technische Beschreibung der RTO

Die entstaubte Prozessluft wird mittels Ventilator durch die RTO gedrückt, wo dann die thermische Oxidation der Schadstoffe zu Kohlendioxid und Wasserdampf stattfindet.

3.1. Hauptanlage

Die RTO in der MPS Anlage Reinickendorf besteht aus drei Kammern, wobei jede Kammer mit fünf Lagen keramischer Wabensteine bestückt ist, sodass eine Gesamthöhe an Wärmeaustauschmedien von 1,5 m erzeugt wird.

Die vom Gewebefilter gereinigte Prozessluft wird vom Ventilator in den Rohgaskanal unter der RTO gefördert. Von hier strömt die ungereinigte Abluft (Rohgas), je nach Klappenstellung in den Klappenkästen des Rohgaskanals, über eine der drei Kammern von unten nach oben durch das Regeneratorbett (keramische Wabensteine). Dabei erwärmt sich das Rohgas über die aufgeheizten Wabensteine (Abluftvorwärmung) von etwa 100 °C auf etwa 850 °C in der Brennkammer und oxidiert die Schadstoffe auf. [2, 3]

In der Brennkammer ist ein mit Erdgas betriebener Brenner installiert, der je nach Temperatur bei 850 °C zu- und bei 880 °C abschaltet. [2]

Die gereinigte Abluft (Reingas) strömt durch das Regeneratorbett der zwei anderen Kammern zum Reingaskanal unter der RTO und gibt dabei die Wärme an die Wabensteine (Reingaskühlung) ab.

³ BVT: Beste Verfügbare Technik

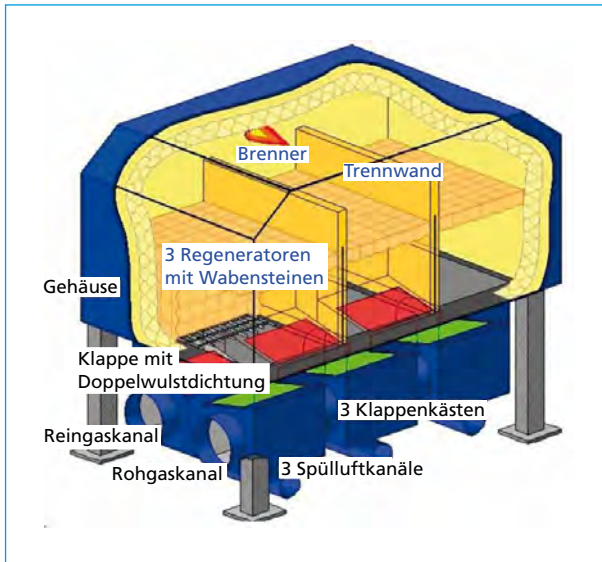


Bild 2:

Funktionsschema der Regenerativen Thermischen Oxidationsanlage mit der Kammerbezeichnung 1, 2 und 3 von links nach rechts

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt (2005): Vollzug der 31. BimSchV bei der Metall- und Kunststoffbeschichtung – Verminderung der VOC-Emission durch Einsatz moderner Abgasreinigungsverfahren. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Format: pdf, Zeit: 07.10.2014, Adresse: http://www.lfu.bayern.de/luft/loesemittel/doc/holzbeschichtung_teil_1.pdf

Bevor die gereinigte Abluft über einen Kamin an die Atmosphäre abgegeben wird, wird die zuletzt mit Rohgas beaufschlagte Kammer gespült. Damit wird verhindert, dass nicht vollständig aufoxidiertes Rohgas in den Reingaskanal gelangt und somit über den Kamin in die Atmosphäre abgeleitet wird.

Ausgehend davon, dass wie oben beschrieben, eine Kammer mit Rohgas beaufschlagt wird und das Reingas über die beiden anderen Kammern austritt, werden im Folgenden die weiteren Schaltvorgänge der Rohgas-, Reingas- und Spülluftklappen in der RTO dargestellt.

Im nächsten Schritt schließt eine der beiden geöffneten Reingasklappen (z.B. Reingasklappe der Kammer 2 bei vorheriger Rohgasbeaufschlagung der Kammer 1). Anschließend wird die gleiche Kammer (hier Kammer 2) durch Öffnen der Rohgasklappe mit ungereinigter Abluft beaufschlagt. Nach dem Schließen der Rohgasklappe der zuvor beaufschlagten Kammer (hier Kammer 1) und vor dem Öffnen der Reingasklappe der gleichen Kammer (hier Kammer 1), öffnet die Spülluftklappe. Über diese wird, in Abhängigkeit der gewählten Spülzeit, das nicht vollständig aufoxidierte Rohgas aus der Kammer gesaugt und dem Rohgas vor dem RTO Ventilator wieder zugeführt und somit nachoxidiert. Nachdem der Spülvorgang abgeschlossen ist (Spülzeit: 10 s) wird die Reingasklappe der zuvor gespülten Kammer geöffnet (hier Kammer 1). Damit ist ein kompletter Umschaltzyklus abgeschlossen und wird zyklisch wiederholt. [2]

3.2. Versuchsanlage

Die Versuchsanlage wurde von der HTM Reetz GmbH nach den Kundenvorgaben der Alba 2 Energy GmbH individuell angefertigt und ist in dem nachfolgenden Bild 3 dargestellt.

Die Anlage besteht aus einem Wabenstein (150 x 150 x 300 mm), der in einem zweizonigen, elektrisch beheizten Klappofen eingesetzt ist. Der Wabenstein wird an den Stirnseiten durch zwei Keramikammern abgedichtet, welche jeweils aus einem Keramikring (Mullitkeramik⁴) und zwei Keramikscheiben (Cordieritkeramik⁵) bestehen. Nach Herstellerangaben werden der Zusammenhalt und die Dichtigkeit der Kammern durch das Schleifen der Berührungsflächen und durch die Verwendung eines Hochtemperaturkits gewährleistet. In die jeweils äußere Keramikscheibe sind mittig ein Gaszuführungs- bzw. Gasabführungsrohr und Führungsrohr für Thermoelemente eingelassen. Die jeweils innere Keramikscheibe ist mit einer Aussparung von 140 x 140 mm versehen, sodass das eingeleitete Rohgas gezwungen wird durch den Stein zu strömen. Die Wände des Wabensteins dichten somit den gasdurchströmten vom gasundurchströmten Raum ab.

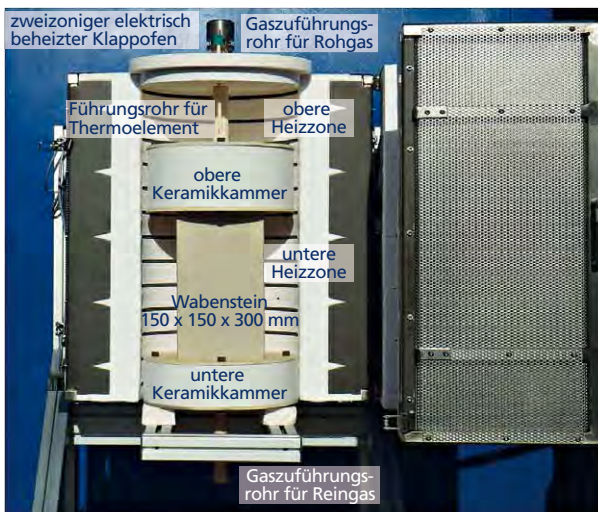


Bild 3:

Versuchsanlage zur Regenerativen Thermischen Oxidation

Für die zweizonige Ausführung des Klappofens wurde sich entschieden, damit die obere und untere Heizzone separat voneinander geregelt werden kann und somit das Temperaturverhältnis von Oberbett- zur Unterbetttemperatur der Hauptanlage in der Versuchsanlage besser abgebildet wird. Die obere Heizzone sorgt dabei für eine schnelle Vorwärmung des Rohgases. Zur Homogenisierung des Rohgases im Oxidationsraum ist am Ende des Gaszuführungsrohres ein keramisches Bauteil zur Strömungsverteilung angebracht.

⁴ Mullitkeramik (C610): Die verwendete Mullitkeramik weist keine offene Porosität auf und gilt damit als gasdicht. Die Wärmeausdehnung ist gering ($\alpha_{30-600\text{ °C}} = 5 - 7 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$), wodurch die Temperaturwechselbeständigkeit als gut bewertet werden kann. Die maximale Einsatztemperatur beträgt 1.200 °C. [4]

⁵ Cordieritkeramik (C410): Die verwendete Cordieritkeramik weist mit 0,5 Vol.-% eine geringe offene Porosität auf. Die Wärmeausdehnung ist geringer als bei der verwendeten Mullitkeramik ($\alpha_{30-600\text{ °C}} = 2 - 4 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$), wodurch die Temperaturwechselbeständigkeit als sehr gut bewertet werden kann. Die maximale Einsatztemperatur beträgt 1.200 °C. [4]

Beide Heizzonen können bis 1.000 °C (im Dauerbetrieb bei 950 °C) arbeiten. Damit können die Temperaturverhältnisse der Brennkammer der Hauptanlage hinreichend genau abgebildet werden.

3.3. Wesentliche Unterschiede zwischen Haupt- und Versuchsanlage

Mit Hilfe der Versuchsanlage soll der Oxidationsvorgang in der RTO modellhaft abgebildet werden. Durch diesen Ansatz ergeben sich einige wesentliche Unterschiede in der technischen Ausführung beider Anlagen, die im Nachgang, bei der Ergebnisübertragung auf die Hauptanlage berücksichtigt werden müssen.

Die Versuchsanlage arbeitet nicht regenerativ, da sie aus einer Kammer besteht, die kontinuierlich durchströmt wird und nicht aus drei Kammern, die zyklisch durchströmt werden. Deshalb kann die in den Regeneratoren gespeicherte Wärmeenergie nicht für die Vorwärmung des zu oxidierenden Rohgases genutzt werden. Ebenfalls finden in der Versuchsanlage keine Spülvorgänge statt.

Die notwendige Oxidationstemperatur wird in der Versuchsanlage elektrisch erzeugt, in der Hauptanlage wird die Temperatur in der Brennkammer mittels Erdgasbrenner sichergestellt.

Da durch die fehlende Verbrennungsluft auch kein zusätzlicher Sauerstoff ins System eingebracht wird, wird sich der Vergleich der Messergebnisse zwischen Versuchs- und Hauptanlage im Wesentlichen auf den autothermen Betrieb stützen.

4. Methodisches Vorgehen der Datenaufnahme und -bewertung

Um die Ergebnisse der Versuchsanlage bewerten zu können, muss zunächst die zum Vergleich herangezogene Hauptanlage, in diesem Fall die RTO in der MPS-Anlage Reinickendorf, charakterisiert werden. Dafür wurden folgende Bewertungskriterien ausgewählt: Verweilzeit, anlagenspezifische Definition des autothermen Betriebes der RTO über den Status des Brenners und über das Verhältnis des Gehaltes an Kohlenmonoxid (CO) im Trockner zur Brennerkammertemperatur der RTO, Auswahl von anlagenspezifischen Leitsubstanzen und die Bestimmung des Abscheidegrades ausgewählter Leitsubstanzen.

4.1. Theoretische Verweilzeit

Die Verweilzeit wurde über die Summation der Leerrohrgeschwindigkeiten in den einzelnen Steinschichten, unter der Berücksichtigung der jeweiligen Steinlagenhöhe abgeschätzt. Da der Abluftstrom in die RTO ein- und ausströmen muss, wurde die Berechnung auf zehn Wabensteinlagen bezogen. Bei einem Volumenstrom von 30.000 Bm³/h und einer festen Steinhöhe pro Schicht von 0,3 m ergeben sich folgende (Tabelle 1) Verweilzeiten pro Steinschicht.

Neben einer ausreichend hohen Brennkammertemperatur ist damit auch das Kriterium der ausreichend hohen Verweilzeit (etwa eine Sekunde) erfüllt.

Tabelle 1: Abschätzung der Verweilzeit innerhalb der einzelnen Steinschichten über die Berechnung der Leerrohrgeschwindigkeit

Lage	Material	Fläche pro Stein	Durchströmungsfläche pro Schicht	Geschwindigkeit pro Schicht	Verweilzeit pro Schicht
		m ²	m ²	m/s	s
1	MK 20	0,02	3,24	2,57	0,12
2	NT 40	0,01	2,91	2,87	0,10
3	NT 40	0,01	2,91	2,87	0,10
4	NT 50	0,01	3,11	2,68	0,11
5	NT 50	0,01	3,11	2,68	0,11
Gesamtverweilzeit					1,10

4.2. Definition des autothermen Zustandes der RTO

Ob die RTO im autothermen Betrieb ist, wird steuerungstechnisch über die Zu- und Abschalttemperatur des Brenners definiert. In der MPS Anlage in Berlin Reinickendorf wird der Brenner bei 880 °C abgeschaltet und bei 850 °C wieder zugeschaltet. Schaltet der Brenner ab, wird die externe Gaszufuhr unterbrochen, denn ab diesem Punkt reicht die bei der Oxidation freiwerdende Energie aus, um den Prozess energetisch stabil zu halten. Da die Stabilität der Brennkammertemperatur in diesem Zustand direkt vom momentanen Energiegehalt des Rohgases abhängt, schwankt die Brennkammertemperatur im autothermen Zustand der RTO mehr als im nicht autothermen Zustand.

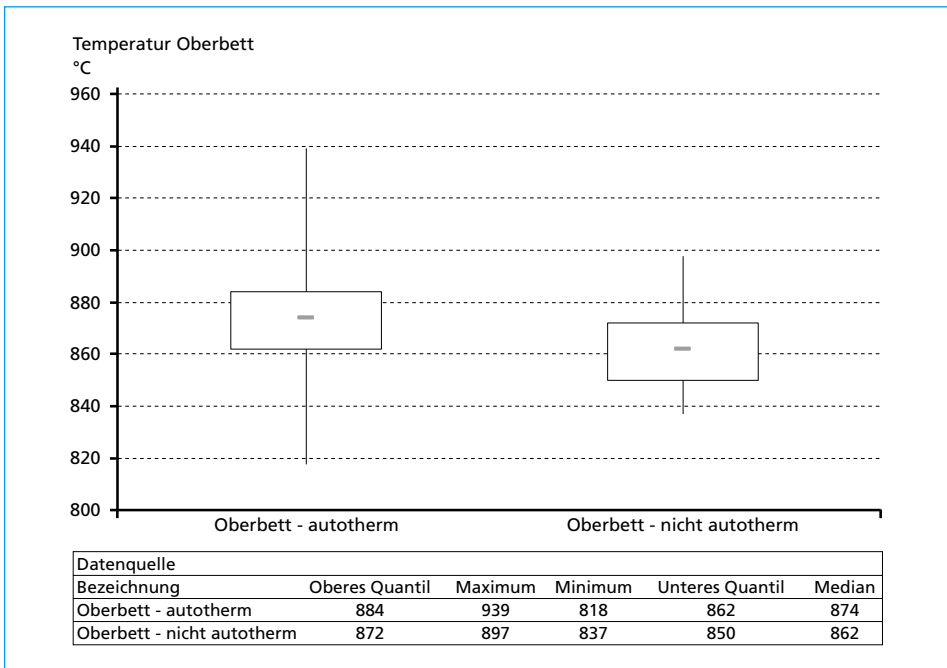


Bild 4: Darstellung der Verteilung der Oberbetttemperaturen in der RTO im autothermen und nicht autothermen Betrieb unter Benennung der zugrunde gelegten Datenquelle

Der Boxplot in Bild 4 stellt die Streuung der Oberbetttemperatur der RTO im autothermen und nicht autothermen Zustand dar. Unter der Maßgabe, dass das jeweils obere und untere Quantil die Bewertungsgrenzen bilden, kann gezeigt werden, dass sich die Oberbetttemperaturen im autothermen Betrieb auf einem höheren Niveau (884 bis 862 °C) befinden, als im nicht autothermen Betrieb (872 bis 850 °C).

Die Unterbetttemperaturen im autothermen und nicht autothermen Betrieb der RTO unterliegen deutlich weniger Schwankungen, was aus dem nachfolgenden Bild 5 entnommen werden kann. Der Boxplot zeigt, dass die Daten kaum streuen. Unter der Maßgabe, dass das jeweils obere und untere Quantil die Bewertungsgrenzen bilden, kann gezeigt werden, dass sich die Unterbetttemperaturen zwischen 144 und 133 °C bewegen.

Dass sich die Schwankungen der Oberbetttemperaturen nur gering auf die Unterbetttemperaturen auswirken, kann mit den guten Wärmespeichereigenschaften (hohe spezifische Wärmekapazität) der jeweiligen Wabensteine begründet werden.

Ebenfalls wird durch die zyklische Beaufschlagung des Regeneratorbettes ein kontinuierlicher Wärmetransport sichergestellt (hierzu wird vergleichend auf die Ausführungen in Kapitel 3.1 verwiesen).

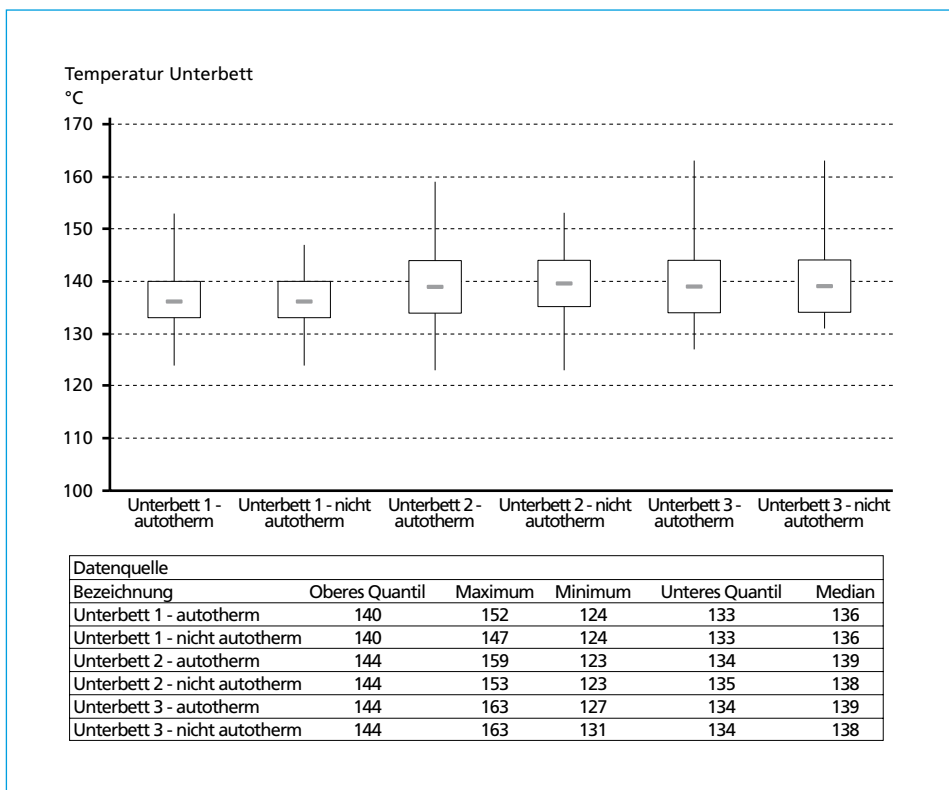


Bild 5: Darstellung der Verteilung der Unterbetttemperaturen in der RTO im autothermen und nicht autothermen Betrieb unter Benennung der zugrunde gelegten Datenquelle

Da die Zu- und Abschalttemperaturen variabel gewählt werden können, wurde zusätzlich das Verhalten von CO-Gehalt im Trockner zur jeweiligen Brennkammertemperatur der RTO ausgewertet.

Dafür wurden in Abhängigkeit vom Status des RTO Brenners (Brenner an oder aus) das Verhältnis von CO-Gehalt im Trockner zur Brennkammertemperatur in der RTO gebildet. Die Ergebnisse wurden anschließend klassiert, wobei die Klassengrenzen durch die Extrema der Kurve definiert wurden. Das Ergebnis der Auswertung ist dem nachfolgenden Bild zu entnehmen.

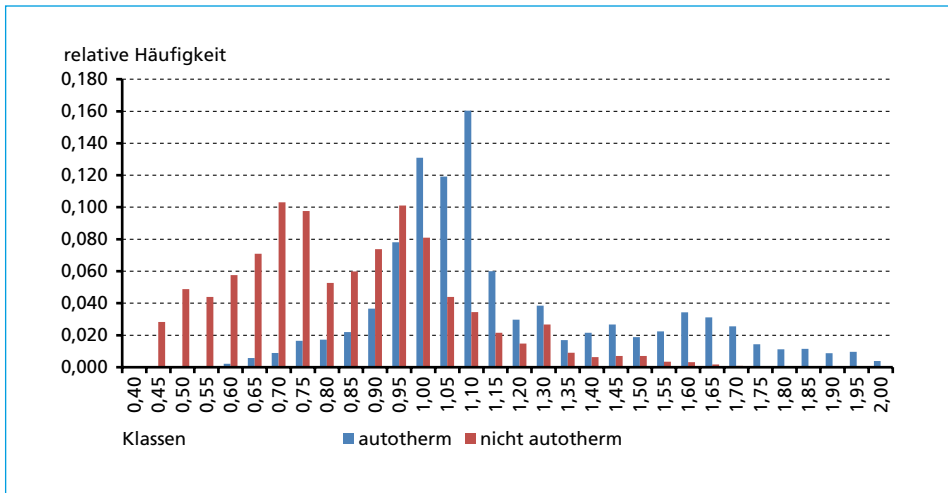


Bild 6: Relative Häufigkeit des CO-Gehaltes im Trockner im Verhältnis zur Brennkammertemperatur der RTO für den autothermen und nicht autothermen Betrieb der RTO

Die blaue Kurve beschreibt die relative Häufigkeit im autothermen Zustand der RTO; der rote Kurvenverlauf gibt die relative Häufigkeit des nicht autothermen Zustandes wieder. Die Grenze, in der der autotherme gegenüber dem nicht autothermen Betrieb überwiegt, liegt innerhalb der Klasse 1,00 bis 1,05. Das heißt, wenn das Verhältnis von CO-Gehalt im Trockner zur Brennkammertemperatur in der RTO innerhalb dieser Klasse liegt, befindet sich die RTO häufiger im autothermen als im nicht autothermen Betrieb.

Da der betrachtete Datensatz unterschiedlich viele Elemente aufweist, wurde im nächsten Schritt geprüft, ob eine Normalverteilung vorliegt (Bild 7).

Zusätzlich wurde durch einen Chi-Quadrat-Test bestätigt, dass bei der Berücksichtigung von fünf Prozent Irrtumswahrscheinlichkeit ein Zusammenhang zwischen den empirisch erhobenen Messwerten und den über die Normalverteilung bestimmten Messwerten besteht.

Aus den Steigungen der Peakflanken der beiden Datenreihen wurde anschließend der Schnittpunkt bestimmt, der den Umschlagpunkt zwischen autothermen und nicht autothermen Betrieb konkretisiert (Verhältnis von 1,04).

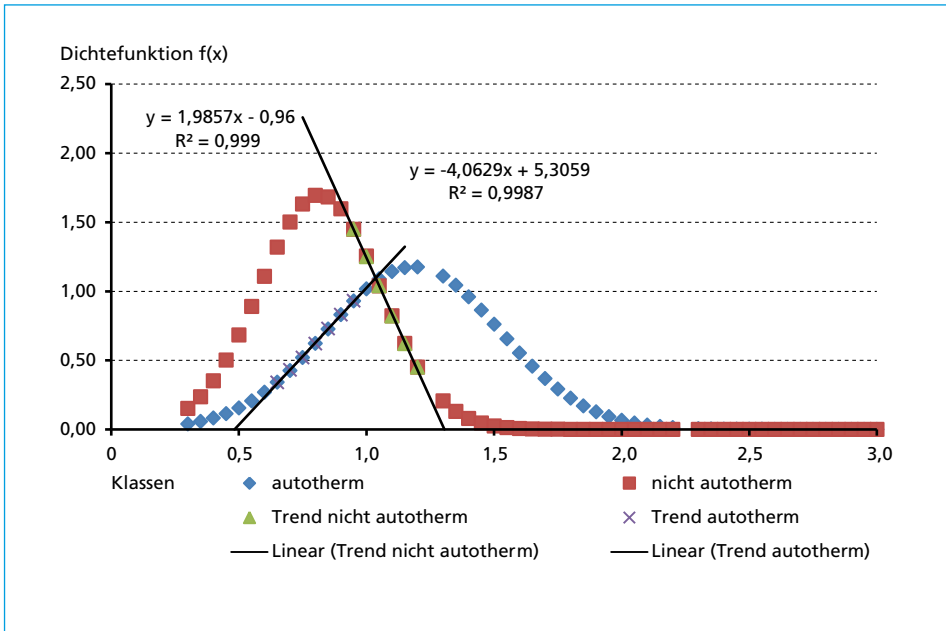


Bild 7: Visuelle Prüfung auf Normalverteilung und Schnittpunktbestimmung der Datenreihen

Durch die Festlegung des Schnittpunktes können nun die Rohdaten entsprechend sortiert werden und die Grenzen für den CO-Gehalt im Trockner und der Brennkammertemperatur definiert werden. Als Grenzen wird jeweils das oberste und unterste Quantil der sortierten Datenreihen gewählt.

Unter der Vorgabe, dass keine steuerungstechnischen Anpassungen vorgenommen werden, kann davon ausgegangen werden, dass wenn der CO-Gehalt im Trockner zwischen 1.467 und 958 ppm und die Brennkammertemperatur in der RTO zwischen 931 und 879 °C liegen, die RTO im autothermen Betrieb ist. Gleiches gilt für den nicht autothermen Betrieb, wenn der CO-Gehalt im Trockner zwischen 778 und 535 ppm und die Brennkammertemperatur in der RTO zwischen 863 und 848 °C liegen.

Mit dieser Erkenntnis kann nun durch die Zugaben von Abfall, der bereits länger im Pufferbunker lag, der autotherme Betrieb gezielt erzeugt werden.

4.3. Auswahl der Leitsubstanzen und Bestimmung des Abscheidegrades

Für die Bestimmung des Abscheidegrades über die RTO müssen zeitlich Messdaten im Roh- und Reingasstrom des Aggregates bestimmt werden. Da für die Messdatenaufnahme aber nur ein Gerät zur Verfügung steht, müssen die Messungen versetzt zueinander erfolgen. Für die Absicherung der Messergebnisse wurde eine Auswertesystematik entwickelt, die die aufgenommenen Messdaten bereinigt.

Es werden nur Messwerte zur Auswertung herangezogen, die bei einem konstanten Trocknerdurchsatz (definiert: 19 bis 25 mg/h) aufgenommen wurden. Alle anderen Messdaten werden verworfen.

Da die Emissionsmessdaten nicht von der Zeit, sondern vom Materialdurchsatz im Trockner abhängen, werden die Messdaten in zehner Intervallen klassiert. In jeder Klasse wird anschließend der Mittelwert gebildet und die Abweichung zum Klassenmittelwert bestimmt.

Weiter wird definiert, dass nur Messdaten bei der Auswertung berücksichtigt werden, deren Abweichung vom Klassenmittelwert maximal ± 5 Prozent beträgt. Alle weiteren Messdaten werden nicht berücksichtigt.

Ebenfalls werden Messdaten die unterrepräsentativ auftreten nicht berücksichtigt. Dafür wurde die Festlegung getroffen, dass mindestens zehn Messergebnisse pro Klasse vorliegen müssen.

Die Substanzen, die diese Kriterien erfüllen, bilden den Satz an Leitsubstanzen, welche für die weiteren Bewertungen berücksichtigt werden.

Somit werden pro Substanz Klassen definiert, die dann Konzentrationsbereiche der jeweiligen Substanz ergeben, in denen nur wenige Schwankungen auftreten. Wird nun für die Bestimmung des Abscheidegrades im Rohgas gemessen und das jeweilige Messergebnis liegt innerhalb der vordefinierten Klassen, dann kann mit den Messungen im Reingas begonnen werden, weil somit auch definiert ist, dass der gemessene Rohgaswert $\pm 5\%$ beträgt.

Somit kann in der Folge ein minimaler, mittlerer und maximaler Abscheidegrad ermittelt werden.

Die darüber ermittelten Streuungen, für den jeweiligen Abscheidegrad ausgewählter Leitsubstanzen, sollen in den Bildern 8 und 9 gezeigt werden. Dabei ist erneut eine Differenzierung zwischen dem autothermen und dem nicht autothermen Betrieb der RTO vorgenommen worden. Das Bild 8 stellt die Streuung der Abscheideleistung im autothermen Betrieb, das Bild 9 im nicht autothermen Betrieb der RTO dar.

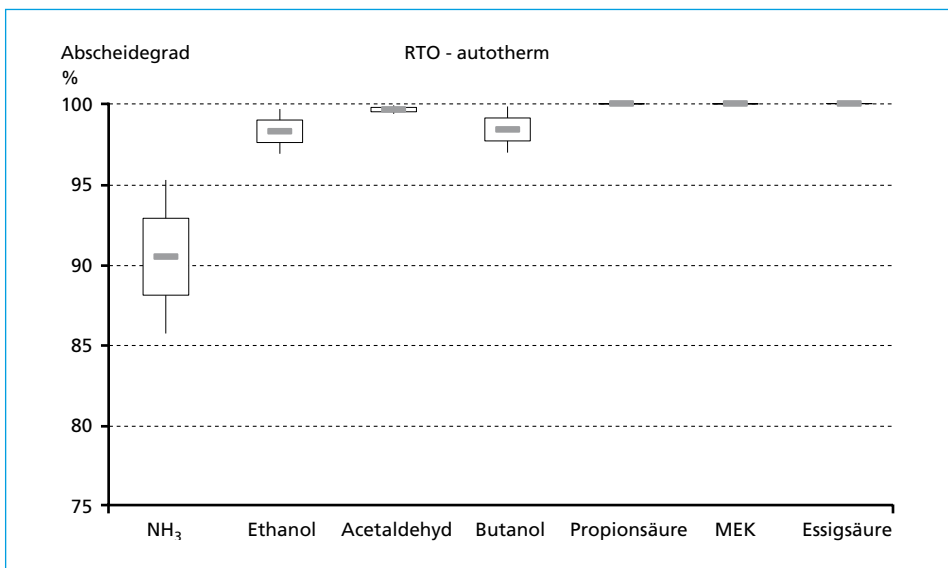


Bild 8: Streuung des Abscheidegrades ausgewählter Leitsubstanzen im autothermen Betrieb der RTO

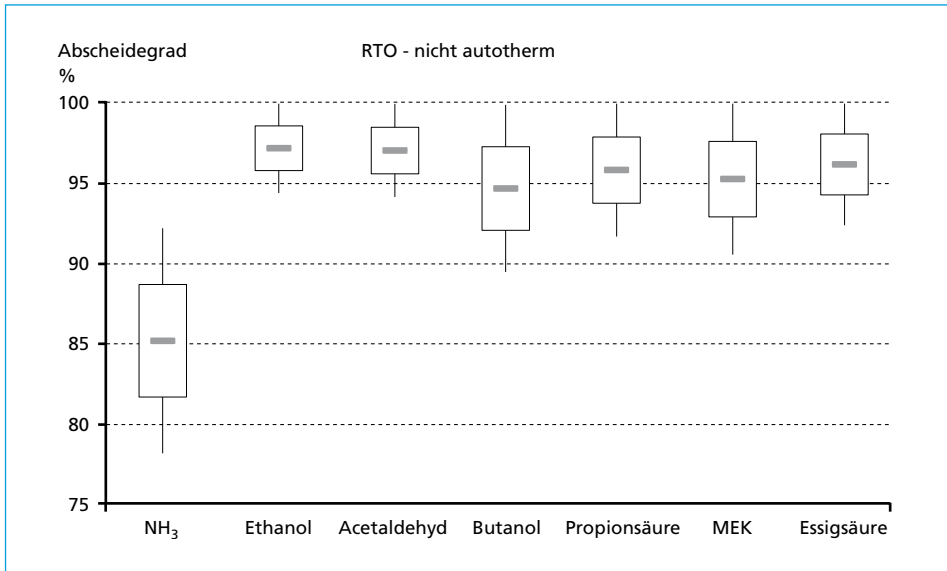


Bild 9: Streuung des Abscheidegrades ausgewählter Leitsubstanzen im nicht autothermen Betrieb der RTO

Es wird deutlich, dass in beiden Betriebszuständen der RTO, die behördlich geforderte Abscheideleistung von mindestens neunzig Prozent für TOC-Verbindungen sicher eingehalten wird.

Ebenfalls kann gezeigt werden, dass die Abbauleistung im autothermen Betrieb weniger streut und auf einem höheren Niveau ist, als im nicht autothermen Betrieb. Dies wird damit begründet, dass der Energiegehalt des Rohgases höher ist als im nicht autothermen Betrieb und deshalb mehr Oxidationsprozesse bereits während der Durchströmung der keramischen Wärmespeichermasse (Regeneratoren) hin zur Brennkammer stattfinden. Da somit ein längerer Oxidationszeitraum erzeugt wird, ist die Abbauleistung höher.

Der Abscheidegrad für Ammoniak weist sowohl im autothermen als auch im nicht autothermen Betrieb die größten Streuungen auf. Dies ist damit zu begründen, dass zwar für die formalchemische Oxidation von Ammoniak die ausreichende Temperatur von 800 bis 900 °C vorhanden ist, aber der zur vollständigen Umsetzung notwendige Platin-Rhodium-Katalysator fehlt und somit immer nur von einer Teiloxidation ausgegangen werden muss.

5. Ausblick und geplantes Vorgehen

Zunächst wurde die RTO als *scale down* nachgebildet und die Temperatur- und Strömungsverteilung numerisch simuliert. Beide Modelle, die Versuchsanlage und die numerische Simulation, werden anschließend hinsichtlich der Übereinstimmung mit der realen RTO überprüft. Die Überprüfung erfolgt durch die reaktive Erhebung von Messdaten.

Die Genauigkeit der Maßstabsverkleinerung der RTO erfolgt über die Bestimmung von dimensionslosen Kennzahlen mit Hilfe einer systematischen Dimensionsanalyse.

Stimmt die Versuchsanlage mit der realen RTO hinreichend gut überein, wird der Schadstoffabbau von basischen Stickstoffverbindungen durch Verwendung von verschiedenen Additiven und/ oder angepasster Anlagenparameter der thermischen Oxidation experimentell untersucht.

Für die Analyse des Abbauverhaltens wird der reale Abgasstrom der Prozessluftlinie über einen Bypass durch die Versuchsanlage geleitet. Die kontinuierliche Gasanalyse erfolgt durch nachgeschaltete Fourier- Transformations- Infrarot- Spektroskopie (FTIR- Spektroskopie). Da für die Analyse des Abbauverhaltens nur ein Messgerät zur Verfügung steht, wird sich bei der Auswertung der erhobenen Messdaten auf ausgewählte Leitsubstanzen beschränkt. Die dafür zugrunde gelegten Auswahlkriterien wurden oben beschrieben.

Für die angestrebten Untersuchungen wurde die Variation folgender Parameter festgelegt: die Lochung, die Materialqualität (Metallanteil, physikalische Eigenschaften), der Nutzungsgrad (neu, gereinigt) und die katalytische Aktivität der Wabensteine, sowie der Sauerstoffgehalt und die Temperatur.

Abschließend erfolgt eine Bewertung, inwieweit die mit der Versuchsanlage gewonnenen Erkenntnisse auf die reale RTO übertragen werden können.

6. Quellenverzeichnis

- [1] Bayrisches Landesamt für Umwelt (2005): Vollzug der 31. BimSchV bei der Metall- und Kunststoffbeschichtung – Verminderung der VOC-Emission durch Einsatz moderner Abgasreinigungsverfahren. Augsburg: Bayrisches Landesamt für Umwelt, Format: pdf, Zeit: 07.10.2014, Adresse:http://www.lfu.bayern.de/luft/loesemittel/doc/holzbeschichtung_teil_1.pdf
- [2] mps Betriebsführungsgesellschaft mbH: Interne Unterlagen. Berlin : s.n., 2014
- [3] Schrickler, B.; Förster, M.: Effiziente Reinigung variabler *Abfallcocktails*– Gute Luft für alle Fälle. Chemie Technik, 9 (2014), S. 94 - 96.
- [4] Verband der Keramischen Industrie e.V. (2003): Brevier Technische Keramik. Lauf: Fahner Verlag. Format: pdf, Zeit:17.07.2014, Adresse: http://www.engineersparadise.com/sixcms/media.php/1466/Brevier-Fahnerversion_1.pdf
- [5] Verbücheln, M.; Sander, K.; Nowak, N. (2007): Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU) *Merkmale über die besten verfügbaren Techniken für Abfallbehandlungsanlagen*. Hamburg: Ökopol-Institut für Ökologie und Politik GmbH. Format: pdf, Zeit: 05.10.2014, Adresse: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_abfallbehandlung_vv.pdf

⁶ Veranstalter der Fachtagung vom 25.10.2005

⁷ Deutsche Übersetzung für das Umweltbundesamt

ReSource

Abfall • Rohstoff • Energie

Jahresabonnement (4 Ausgaben) plus Onlinezugang: 62 Euro (incl. MwSt. und Versand)



29. Jahrgang

ISSN 1808-9531 4. Quartal 2012, Preis 20,00 EUR, A 13198 P

(Früher: **Abfall**) ISSN 0934-3423

ReSource

Abfall • Rohstoff • Energie Fachzeitschrift für nachhaltiges Wirtschaften

Harald Schönberger, Christian Tebert und Uwe Lahl
Fachleute nahmen Stellung zum Regierungsentwurf
zur Umsetzung der EU-Industrieemissionsrichtlinie
in deutsches Recht

Christian Tebert
Die EU hat verbindliche BVT-Schlussfolgerungen für die
Herstellung von Zement-, Kalk- und Magnesiumoxid erstellt

Martin Schmitz und Henrike Sievers
Hohe Preisvolatilitäten für mineralische Rohstoffe werden
deutsche Unternehmen auch in Zukunft begleiten

Bastian Wiens, Alexander Feil und Thomas Pletz
Durch eine optimierte Aufbereitung von hochreinem Metall-
Vorkonzentraten aus der mechanischen Behandlung von
Siedlungsabfällen können wertvolle Ressourcen erschlossen
werden

Alfred Gigg und Kai Leuball
Gegenüber der Vergasung und anderen Verfahren
erreichen fortschrittliche Verbrennungsanlagen die
höchsten energetischen Wirkungsgrade

Günter Nebel und Margit Löcherer
Thermische Abfallbehandlungsanlagen können individuell
zugeschnitten in die Entsorgungskonzepte verschiedener
Märkte integriert werden

Horbert Köpitz, Henning Witts und Günter Dehout
Die EU-Mitgliedsstaaten müssen in ihren Abfallvermeidungs-
programmen Umweltauflagen aufbauen, die entlang
der gesamten Wertschöpfungskette ansetzen

HERAUSGEBER

Dipl.-Pol. Bernhard Reiser

REDAKTION

Professor Dr.-Ing. Dr. h. c.

Karl J. Thomä-Kozmiensky

Dr.-Ing. Stephanie Thiel

Dipl.-Pol. Bernhard Reiser

REDAKTIONSBERAT

Professor Dr.-Ing. Michael Beckmann

Professor Dr. rer. nat. Matthias Friedbeiner

Professor Dr.-Ing. Daniel Goldmann

Professor Dr.-Ing. Karl E. Lorber

Dipl.-Ing. Johannes J. E. Martin

Dipl.-Chem.-Ing. Luciano Pelloni

Dipl.-Ing. Christian Tebert

Professor Dr. Andrea Versteijl

RHOMBOS

4 2012

Fotos: pixelio.de

Für Wirtschaft und Politik ist ein nachhaltiger Umgang mit Rohstoffen und Energie eine Frage der Zukunftssicherung. Umwelttechnisches Know-how und Informationen über grundlegende Entwicklungen sind für den Erfolg entscheidend. Mit der Fachzeitschrift **“ReSource – Abfall, Rohstoff, Energie”** sind Sie bestens über nachhaltiges Wirtschaften informiert.

Neben aktuellen Forschungsergebnissen stellt die Fachzeitschrift praxisrelevante Konzepte und Verfahren zur Vermeidung und Verringerung von Umweltbelastungen vor. Verfahren der konventionellen Abfallbehandlung und -entsorgung wie Verbrennung sowie Recycling, Kompostierung, Vergärung und Deponierung werden auf ihre Effektivität und Umsetzbarkeit geprüft. Experten aus dem In- und Ausland diskutieren mögliche Alternativen.

Gerne schicken wir Ihnen ein Ansichtsexemplar:

RHOMBOS-VERLAG, Kurfürstenstr. 17, 10785 Berlin, Tel. 030.261 94 61, Fax: 030.261 63 00

Internet: www.rhombos.de, eMail: verlag@rhombos.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Margit Löschau (Hrsg.):

Immissionsschutz, Band 4

– Recht – Anlagenbetrieb und -optimierung – Emission –

ISBN 978-3-944310-16-9 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2014

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ginette Teske, Sandra Peters, Berenice Gellhorn, Carolin Bienert, Cordula Müller

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.