

Dipl. Chem.-Ing. Beat Stoffel, Zumikon

**Thermische Aufbereitung
flüssiger Brennstoffe für
schadstoffarme vorgemischte
Verbrennung**

Reihe **15**: Umwelttechnik

Nr. **151**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Konzepte für die Aufbereitung von Flüssigbrennstoffen vor der Verbrennung	5
2.1	Brennstoff-Verdampfung im Verbrennungsluftstrom	6
2.2	Brennstoff-Verdampfung in beheizten Röhren ausserhalb des Brennraums	9
2.3	Brennstoffaufbereitung durch vollständige Vergasung	10
2.4	Neuentwickeltes Aufbereitungskonzept: Schnelle Brennstoff-Verdampfung mit thermischer Teilspaltung	11
3	Grundlagen	17
3.1	Teilvorgänge bei der Verbrennung von Flüssigkeiten	17
3.2	Brennstoffzerstäubung und -verdampfung	19
3.2.1	Zerstäubung von Flüssigkeiten in Druckdüsen	19
3.2.2	Verdampfung von Flüssigkeitstropfen	21
3.3	Thermische Teilspaltung von Brennstoffen	25
3.3.1	Thermodynamisches Gleichgewicht der thermischen Spaltung	25
3.3.2	Reaktionsenthalpie der thermischen Spaltung	26
3.3.3	Reaktionsmechanismus	27
3.3.4	Kinetik der thermischen Spaltung	30
3.4	Mischung von Verbrennungsluft und Brennstoffdampf	34
3.5	Temperaturen bei vorgemischter Verbrennung	35
3.6	Schadstoffbildung bei vorgemischter Verbrennung	37
3.6.1	NO aus dem Luftstickstoff	37
3.6.2	NO aus dem Brennstoffstickstoff	41
3.6.3	NO ₂	43
3.6.4	N ₂ O	44
3.6.5	Kohlenmonoxid, unverbrannte Kohlenwasserstoffe, Koks und Russ	46
3.6.6	SO ₂ und SO ₃	47

4 Brennstoffe und Versuchstechnik	49
4.1 Eingesetzte Brennstoffe	49
4.2 Aufbau der Versuchsanlage und Hauptkomponenten	56
4.2.1 Gesamtanlage	56
4.2.2 Thermische Aufbereitung des Brennstoffs	61
4.2.3 Brennstoffdampf-Luft Mischer	63
4.2.4 Keramikfaser-Oberflächenbrenner	65
4.3 Mess- und Analysetechnik	70
4.3.1 Temperaturmessung	70
4.3.2 Volumen- und Massenstrommessung	71
4.3.3 Chemische Analyse des nichtkondensierbaren Brennstoffdampf-Anteils (Spaltgas)	72
4.3.4 Chemische Analyse des kondensierbaren Brennstoffdampf-Anteils und der eingesetzten Brennstoffe	73
4.3.5 Analyse der Schadstoffe im Verbrennungsabgas	75
4.3.6 Stickstoffgehalt-Bestimmung der Brennstoffe	78
5 Thermische Brennstoffaufbereitung	79
5.1 Definition der Kennzahlen	79
5.2 Charakterisierung der Brennstoffaufbereitung	84
5.2.1 Zerstäubung und Verdampfung	84
5.2.2 Massenbilanz	87
5.2.3 Energiebilanz	88
5.2.4 Instationäres Verhalten des Brennstoffverdampfers und Temperaturprofile	90
5.2.5 Vollständigkeit der Verdampfung	93
5.3 Thermische Teilspaltung des Brennstoffs	94
5.3.1 Einflussgrößen auf den thermischen Spaltumsatz	94
5.3.2 Modellierung des thermischen Spaltumsatzes	96
5.4 Charakterisierung des nichtkondensierbaren Brennstoffdampf-Anteils (Spaltgas)	100
5.5 Charakterisierung des kondensierbaren Brennstoffdampf-Anteils	105
5.6 Heizwertänderung durch die thermische Teilspaltung	109
5.7 Langzeitverhalten des Verdampfers, Bildung von Ablagerungen	111

6	Verbrennung thermisch aufbereiteter Flüssigbrennstoffe	112
6.1	Definition der Kennzahlen	112
6.2	Mischung von Brennstoffdampf und Luft	116
6.3	Charakterisierung des Keramikfaser-Oberflächenbrenners	118
6.3.1	Betriebsbereich	118
6.3.2	Temperaturverlauf der Verbrennung	118
6.4	NO _x -Emissionen und Einflussfaktoren	125
6.4.1	Luftzahl λ	125
6.4.2	Spezifische Brennerbelastung	125
6.4.3	Brennstoffart	127
6.4.4	Homogenität der Brennstoff-Luft Mischung	131
6.4.5	Vorwärmtemperatur der Verbrennungsluft	133
6.4.6	Wasser/Brennstoff-Massenverhältnis	133
6.5	Abhängigkeit der NO _x -Emissionen von der adiabaten Verbrennungstemperatur und Literaturvergleich	134
6.6	NO ₂ /NO _x -Verhältnis	139
6.7	CO- und Russ-Emissionen	141
7	Verbrennung stickstoffhaltiger Brennstoffe	143
7.1	In Brennstoffen gebundener Stickstoff	144
7.2	Einfluss des Brennstoffstickstoffgehalts auf die NO _x -Emissionen	147
7.2.1	Flüssigbrennstoffe mit unterschiedlichen Stickstoffgehalten	147
7.2.2	Änderung des Brennstoffstickstoffgehalts durch Zugabe stickstoffhaltiger Verbindungen	149
7.3	Umwandlungsrate des Brennstoffstickstoffs zu NO _x	153