

Dipl.-Ing. Ulrich Greul, Leonberg

**Experimentelle
Untersuchung
feuerungstechnischer
NO_x-Minderungsverfahren
bei der Kohlenstaub-
verbrennung**

Reihe **6**: Energieerzeugung

Nr. **388**

Experimentelle Untersuchung feuerungstechnischer NO_x-Minderungsverfahren bei der Kohlenstaubverbrennung

1.	Einleitung	1
2.	Aufgabenstellung und Zielsetzung	4
3.	Grundlagen, Kenntnisstand und Literaturübersicht	9
3.1	Kohleeigenschaften	9
3.1.1	Aufbau der Kohle	9
3.1.2	Einteilung der Kohlen	12
3.1.3	Zusammensetzung der Kohlen	13
3.2	Kohleverbrennung und -pyrolyse	14
3.3	NO _x -Bildung	21
3.3.1	Thermisches NO	22
3.3.2	Promptes NO	24
3.3.3	NO aus Brennstoffstickstoff (BN)	25
3.4	NO _x -Reduktion	27
3.4.1	Homogene Reduktion	27
3.4.2	Heterogene Reduktion	31
3.5	Verfahren zur Stickstoffoxidminderung	32
3.5.1	Feuerungstechnische Maßnahmen	33
3.5.2	Luftstufung (LS) - Stand der Technik	34
3.5.3	Brennstoffstufung (BS)	38
4.	Beschreibung der Versuchsanlagen	43
4.1	Verbrennungsreaktor	45
4.1.1	Kohledosierung	47
4.1.2	Kohlenstaubbrenner	48
4.1.3	Eindüsung der Pyrolysegase in den VR	50

4.1.4	Eindüsung von Kohle als Reduktionsbrennstoff in den VR	51
4.1.5	Abgasfilter und Druckregelung	52
4.1.6	Prozeßleitsystem (PLS)	52
4.1.7	Meßwerterfassung (MWE) und -darstellung	53
4.2	Flugstrom-Entgasungs-Reaktor	54
4.3	Wirbelschicht-Reaktor	57
4.4	Kohlenstaubversuchsanlage (KSVA)	59
4.5	Schmelzkammerfeuerung Fenne III	61
5.	Analysen- und Meßtechnik	63
5.1	Analyse der Leistungsbrennstoffe	63
5.2	Gasanalyse	65
5.3	Sondenmessungen	68
6.	Versuchsparameter und -durchführung	71
6.1	Übersicht Versuchsprogramm	71
6.1.1	Versuchsprogramm Verbrennungsreaktor	72
6.1.2	Betriebsbedingungen und Versuchsprogramm an der KSVA	79
6.1.3	Betriebsbedingungen und Versuchsprogramm an der Schmelzkammerfeuerung Fenne	80
6.2	Analysen der Leistungs- und Reduktionsbrennstoffe	83
6.2.1	Leistungsbrennstoffe	83
6.2.2	Reduktionsbrennstoffe	86
6.3	Einstellung und Berechnung der Versuchsparameter	97
6.3.1	Grundversuche	98
6.3.2	Luftstufung	101
6.3.3	Brennstoffstufung	102
6.3.4	Brennstofftrennstufung	104

7.	Versuchsergebnisse	105
7.1	Grundversuche zur NO _x -Bildung	108
7.1.1	Einfluß des Leistungsbrennstoffs	108
7.1.2	Einfluß der thermischen Leistung	110
7.1.3	Einfluß der Reaktorwandtemperatur	111
7.1.4	Ergebnisse der SNCR	112
7.1.5	Temperatur- und Konzentrationsprofilmessungen im Reaktor	113
7.1.6	Folgerungen aus den Ergebnissen der Grundversuche	115
7.2	Luftstufung im Feuerraum	117
7.2.1	Einfluß des Leistungsbrennstoffs	117
7.2.2	Einfluß der Reaktorwandtemperatur	118
7.2.3	Einfluß der NO _x -Konzentration in der Leistungsbrennzone	120
7.2.4	Einfluß der Stöchiometrie in der Reduktionszone	122
7.2.5	Einfluß der Verweilzeit in der Reduktionszone	123
7.2.6	Zugabe von Ammoniak in die Reduktionszone	127
7.2.7	Konzentrationsprofilmessungen im Reaktor	130
7.2.8	Folgerungen aus den Ergebnissen der Luftstufungsversuche	135
7.3	Brennstoffstufung	138
7.3.1	Einfluß des Leistungsbrennstoffs	139
7.3.2	Einfluß der Reaktorwandtemperatur	140
7.3.3	Einfluß der NO _x -Konzentration in der Leistungsbrennzone	141
7.3.4	Einfluß der Reduktionsmittelzusammensetzung	142
7.3.5	Einfluß der Stöchiometrie in der Reduktionszone	145
7.3.6	Einfluß der Verweilzeit in der Reduktionszone	146
7.3.7	Zugabe von Ammoniak zum Reduktionsmittel	147
7.3.8	Konzentrationsprofilmessungen im Reaktor	151
7.3.9	Folgerungen aus den Ergebnissen der Brennstoffstufungsversuche	152
7.4	Brennstofftrennstufung	154
7.4.1	Einfluß der Restkohlezusammensetzung	155
7.4.2	Einfluß der Reaktorwandtemperatur	157
7.4.3	Einfluß der Reduktionsmittelzusammensetzung	158
7.4.4	Einfluß der Stöchiometrie in der Reduktionszone	167
7.4.5	Einfluß der Verweilzeit in der Reduktionszone	168
7.4.6	Folgerungen aus den Ergebnissen der Brennstofftrennstufungsversuche	169

7.5	Vergleich der an der BTS-Anlage eingesetzten Minderungsverfahren	173
7.6	Ergebnisse an der Kohlenstaubversuchsanlage (KSVA)	179
7.7	Ergebnisse an der Schmelzkammerfeuerung Fenne III	181
7.8	Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse bei den Versuchsanlagen	186
8.	Diskussion und Vergleich der Ergebnisse	188
9.	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	194

Anhang

Definition der Kenngrößen und wiederkehrender Begriffe	199
Fehlerbetrachtung	205
Literaturverzeichnis	210