

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 15

Umwelttechnik

Dr. Christine Martel,
Karlsruhe

Nr. 225

**Brennstoff- und
lastspezifische
Untersuchungen
zum Verhalten von
Schwermetallen in
Kohlenstaubfeuerungen**

HLuHB Darmstadt



14832599

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage und Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise.....	3
2	Verhalten von Schwermetallen in Steinkohlefeuerungen	6
2.1	Definition von Schwermetallen.....	6
2.2	Schwermetalle in Kohlen.....	7
2.2.1	Herkunft und Verbindungsformen der Schwermetalle in der Kohle.....	8
2.2.1.1	Spurenelemente in der organischen Brennstoffsubstanz.....	9
2.2.1.2	Spurenelemente in der anorganischen Brennstoffsubstanz.....	10
2.2.2	Konzentrationen der Spurenelemente in Steinkohlen.....	10
2.3	Verhalten von Schwermetallen in Kohlenstaubfeuerungen.....	12
2.3.1	Verflüchtigung der Elemente.....	12
2.3.2	Kondensation der Elemente.....	14
2.3.3	Anreicherung der Elemente im Feinkornbereich.....	16
2.3.4	Verteilungsmodelle.....	18
2.3.4.1	Theoretische Verteilungsmodelle.....	18
2.3.4.2	Empirische Verteilungsmodelle.....	21
2.3.5	Klassifizierung der Elemente bezüglich ihres Anreicherungsverhaltens.....	22
2.4	Verhalten von Schwermetallen in der Rauchgasreinigung.....	23
2.4.1	Einfluß der Staubabscheidung auf die Schwermetallströme.....	23
2.4.2	Einfluß der Rauchgasentschwefelung auf die Schwermetallströme.....	25
2.4.3	Einfluß der Rauchgasentstickung auf die Schwermetallströme.....	29

3 Kohleklassifizierung	31
3.1 Auswahl der Klassifizierungsparameter	31
3.1.1 Unterer Heizwert	32
3.1.2 Inkohlungsgrad	32
3.1.3 Aschegehalt	33
3.1.4 Gehalt an flüchtigen Bestandteilen.....	34
3.1.5 Schwefelgehalt	35
3.1.6 Chlorgehalt/Halogengehalt.....	37
3.1.7 Erdalkaligehalt.....	37
3.1.8 Verschlackungs- und Verschmutzungsfaktoren	39
3.2 Datenbasis und methodisches Vorgehen	41
3.3 Ergebnisse	43
4 Bilanzierungsgrenzen und Probenahmemethodik	46
4.1 Anlagenkonfiguration und Probenahmestellen	46
4.2 Durchführung der Probenahmen	49
4.2.1 Kohleprobenahme.....	49
4.2.2 Grobascheprobenahme	50
4.2.3 Flugascheprobenahme	50
4.2.4 Probenahme des gasförmigen Quecksilbers	52
4.3 Zeitlicher Ablauf der Probenahmen	54
4.4 Vorbereitung und Analyse der Proben	54
4.4.1 Übersicht über die Verfahren zur Vorbereitung und Analyse der Proben ...	54
4.4.2 Bestimmung des Quecksilbers in der Kohle	58
4.5 Bestimmung der Massen- und Volumenströme	59
4.5.1 Bestimmung des Kohlemassenstroms	59
4.5.2 Bestimmung des Grobaschemassenstroms.....	61
4.5.3 Bestimmung des Flugaschemassenstroms.....	61
4.5.4 Bestimmung des Rauchgasvolumenstroms	61
4.6 Auswertung der Bilanzierung	62
4.6.1 Wiederfindungsrate der Schwermetalle	62
4.6.2 Einbindegrad der Schwermetalle in die Grobasche.....	63
4.6.3 Anreicherungsfaktor der Schwermetalle in der Flugasche.....	64
4.6.4 Massenanteile des gasförmigen und partikelgebundenen Quecksilbers	65

5	Experimentelle Untersuchung des Verhaltens von Schwermetallen.....	66
5.1	Einfluß des Rußblasens auf die Ergebnisse der Bilanzierung	66
5.1.1	Ziel des Rußblasversuches und Vorgehensweise	66
5.1.2	Beschreibung der Rußblasversuche und Ergebnisse	67
5.1.2.1	Einfluß des Rußblasens auf die Staubbelastung des Rauchgases	69
5.1.2.2	Einfluß des Rußblasens auf die Partikelgrößenverteilung	71
5.1.2.3	Einfluß des Rußblasens auf die Schwermetallkonzentration im Flugstaub	72
5.2	Durchgeführte Messungen.....	73
5.3	Ergebnisse.....	74
5.3.1	Wiederfindungsraten der Schwermetalle	74
5.3.2	Einbindegrade der Schwermetalle in die Grobmasche bei Vollast	76
5.3.3	Massenanteil des gasförmigen Quecksilbers bei Vollast	78
5.3.4	Anreicherungsverhalten der Schwermetalle in der Flugmasche bei Vollast	82
5.3.5	Vergleich des Schwermetallverhaltens bei Voll- und Teillast	90
5.3.6	Korngrößenverteilung und Schwermetallkonzentration in der Flugmasche während des Anfahrvorgangs.....	92
5.3.6.1	Darstellung des Anfahrvorgangs.....	92
5.3.6.2	Korngrößenverteilung des Rohgasstaubes während des Anfahrvorgangs	93
5.3.6.3	Schwermetallkonzentration in der Flugmasche während des Anfahrvorgangs.....	94
5.4	Fehlerrechnung.....	99
5.4.1	Auswahl der Bilanzierungen	99
5.4.2	Schwankungsbreiten der Einflußgrößen.....	99
5.4.3	Ergebnisse der Fehlerrechnung	101
5.5	Auswirkungen der Schwermetallanreicherung in der Flugmasche auf die Schwer- metallfrachten in der Kraftwerksanlage	102
5.5.1	Beschreibung des Schwermetallverteilungsmodells	102
5.5.2	Abbildung der Schwermetallanreicherung	105
5.5.3	Abbildung der Partikelgrößenverteilung der Flugmasche.....	106
5.5.4	Abbildung der Fraktionsabscheidegrade der Rauchgasreinigung	107
5.5.5	Berechnung der fraktionierten Massenanteile der Schwermetalle im Rohgasstaub.....	108
5.5.6	Berechnung des Schwermetallaustrages über die weiteren Stoffströme der Kraftwerksanlage.....	109

6 Modellierung der Schwermetallspeziation im Rauchgas	112
6.1 Entwicklung eines thermodynamischen Gleichgewichtsmodells.....	112
6.1.1 Eingangsparmeter der Berechnungen.....	113
6.1.2 Grundlagen der Modellierung mit ASPEN PLUS.....	116
6.2 Ergebnisse der thermodynamischen Berechnungen.....	117
6.2.1 Speziation des Arsens im Rauchgas bei Vollast.....	118
6.2.1.1 Allgemeines Verhalten.....	118
6.2.1.2 Einfluß des Nickels auf die Speziation des Arsens im Rauchgas.....	119
6.2.1.3 Einfluß der Kohlesorte auf die Speziation des Arsens im Rauchgas.....	121
6.2.2 Speziation des Cadmiums im Rauchgas bei Vollast.....	121
6.2.2.1 Allgemeines Verhalten.....	121
6.2.2.2 Einfluß der Kohlesorte auf die Speziation des Cadmiums im Rauchgas.....	123
6.2.3 Speziation des Quecksilbers im Rauchgas bei Vollast.....	123
6.2.3.1 Allgemeines Verhalten.....	123
6.2.3.2 Einfluß der Kohlesorte auf die Speziation des Quecksilbers im Rauchgas.....	125
6.2.4 Speziation des Nickels im Rauchgas bei Vollast.....	126
6.2.4.1 Allgemeines Verhalten.....	126
6.2.4.2 Einfluß der Kohlesorte auf die Speziation des Nickels im Rauchgas.....	127
6.2.5 Speziation des Bleis im Rauchgas bei Vollast.....	128
6.2.5.1 Allgemeines Verhalten.....	128
6.2.5.2 Einfluß der Kohlesorte auf die Speziation des Bleis im Rauchgas.....	129
6.2.6 Speziation der Schwermetalle im Rauchgas bei Teillast.....	130
6.2.7 Interpretation der Ergebnisse.....	130
7 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	132
7.1 Zusammenfassung der Arbeit.....	132
7.1.1 Ziel der Untersuchung.....	132
7.1.2 Vorgehensweise.....	132
7.1.3 Ergebnisse.....	133
7.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse.....	136
7.3 Schlußfolgerungen und Handlungsempfehlungen.....	137
Anhang	140
Anhang 1: Korrelationen zwischen den Klassifizierungsparametern.....	141
Anhang 2: Häufigkeitsverteilung der Klassifizierungsparameter.....	146

Anhang 3: Beschreibung des Blocks 8, GKM	149
Anhang 4: Vergleich der Staubabscheidung mittels Quarzwatte und Silbermembran- filter	152
Anhang 5: Vergleich von Verfahren zur Klassierung der Flugaschepartikel	155
Anhang 6: Auslegungsparameter der Zyklone	157
Anhang 7: Übersicht über Meßwerte für NBS-Standards.....	161
Anhang 8: Übersicht über die Bestimmungsmethoden des Kohlemassenstroms	163
Anhang 9: Berechnung des Kesselwirkungsgrades.....	165
Anhang 10: Wasser-Dampfkreislauf des Kessels 19 (Block 8), GKM.....	166
Anhang 11: Bilanzierungsprotokolle	168
Anhang 12: Anreicherungsprofile der Schwermetalle (dargestellt nach Gruppenzugehör- igkeit der Kohlen).....	182
Anhang 13: Schwermetallkonzentrationen der untersuchten Kohlen	200
Anhang 14: Ergebnisse der Fehlerrechnung	203
Anhang 15: Anreicherungsprofile der Schwermetalle in der Flugasche (Abbildungsvor- schrift der Schwermetallanreicherung).....	206
Anhang 16: Korngrößenverteilung der Flugasche (Abbildungsvorschrift der mittleren Korngrößenverteilung)	207
Anhang 17: Fraktionsabscheidegrade der Rauchgasreinigungsanlagen (Elektroab- scheider und Kalksteinwäsche)	209
Anhang 18: Chemische Zusammensetzung des Rauchgases	210
Anhang 19: Konzentrationsverlauf der Schwermetallverbindungen im Rauchgas bei Voll- und Teillast.....	215
Literaturverzeichnis.....	229