

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Abbildungsverzeichnis | III |
| Tabellenverzeichnis | X |
| Nomenklatur | XI |
| 1 Einleitung und Zielsetzung | 1 |
| 2 Grundlagen der Partikelentstehung | 4 |
| 2.1 Chemische Bildungsmechanismen | 5 |
| 2.2 Thermodynamische Randbedingungen | 9 |
| 3 Motorische Randbedingungen der Partikelentstehung | 16 |
| 3.1 Ottomotoren mit Benzindirekteinspritzung | 16 |
| 3.1.1 Betriebsarten | 17 |
| 3.1.2 Gemischbildungsverfahren | 22 |
| 3.1.3 Schadstoffemissionen | 24 |
| 3.2 Partikelzusammensetzung in Ottomotoren mit Direkteinspritzung | 26 |
| 3.3 Einfluss des Verbrennungsluftverhältnisses | 27 |
| 3.4 Einfluss des Einspritzsystems | 28 |
| 3.5 Einfluss der Einspritzparameter | 32 |
| 3.6 Einfluss der Zündungsparameter | 34 |
| 3.7 Einfluss der Ladungsbewegung | 35 |
| 3.8 Einfluss des Motorbetriebspunktes | 36 |
| 3.9 Einfluss der Motortemperatur | 36 |
| 3.10 Vergleich Ottomotor - Dieselmotor | 37 |
| 4 Versuchsaufbau und Messtechnik | 40 |
| 4.1 Aggregate für thermodynamische und optische Untersuchungen | 40 |
| 4.2 Konventionelle Messtechnik | 42 |
| 4.3 Sondermesstechnik | 45 |
| 4.3.1 Faseroptische Zündkerze | 45 |
| 4.3.2 Lichtleiterzündkerze | 45 |
| 4.3.3 Laserinduzierte Inkandeszenz (LII) | 46 |
| 4.3.4 Endoskopische Hochgeschwindigkeits-Visualisierung | 49 |

| | |
|---|------------|
| 5 Partikelentstehung im kalten Motorbetrieb | 52 |
| 5.1 Katalysatorheizbetrieb | 53 |
| 5.1.1 Untersuchungen am Einzylinderaggregat | 54 |
| 5.1.2 Untersuchungen am Transparentaggregat | 58 |
| 5.1.3 Untersuchung von Mehrfacheinspritzungen | 61 |
| 5.2 Motorwarmlauf | 63 |
| 5.3 Fazit | 65 |
| 6 Partikelbildung im Schichtladebetrieb | 66 |
| 6.1 Untersuchungen am Vollmotor | 67 |
| 6.1.1 Einfluss der Einspritzparameter | 67 |
| 6.1.2 Wirksamkeit der Einspritzparameter und Einfluss des Betriebspunktes | 75 |
| 6.1.3 Einfluss der Abgasrückführrate | 77 |
| 6.2 Untersuchungen mit LII-Messtechnik am Transparentaggregat | 81 |
| 6.2.1 Statistische Untersuchung der Zusammenhänge von Rußstrahlung und Indiziergrößen | 86 |
| 6.2.2 Örtliche Analyse der Rußstrahlung | 94 |
| 6.2.3 Vergleich der örtlichen Analyse mit Simulationsergebnissen | 97 |
| 6.2.4 Fazit der LII-Messungen | 99 |
| 6.3 Untersuchungen mit Hochgeschwindigkeits-Visualisierung am Vollmotor . . | 100 |
| 6.3.1 Analyse von auffälligen Arbeitsspielen | 104 |
| 6.3.2 Statistische Untersuchung der Zusammenhänge von Rußeigenleuchten und Indiziergrößen | 108 |
| 6.3.3 Einfluss von AGR und Einspritzparametern auf das Rußeigenleuchten | 111 |
| 6.3.4 Örtliche Analyse des Rußeigenleuchtens | 113 |
| 6.3.5 Vergleich der Hochgeschwindigkeits-Visualisierung mit VisioFEM . . | 114 |
| 6.3.6 Fazit der Hochgeschwindigkeits-Visualisierung | 115 |
| 6.4 Fazit der Partikelbildung im Schichtladebetrieb | 117 |
| 7 Zusammenfassung und Ausblick | 121 |
| A Anhang | 124 |
| Literaturverzeichnis | 131 |
| Lebenslauf | 143 |