

**kraftmaschine**

**Herausgegeben von**

**Hans List und Anton Pischinger**

**Neue Folge**

**Band 6**

# Gemischbildung bei Ottomotoren

**H.P.Lenz**

Unter Mitwirkung von  
M. Al<sup>^</sup>laghi, W. Böhme, H. Duelli,  
G. Fraidl, H. Friedl, B. Geringer,  
G. Pachta, E. Pucher und G. Smetana

**Springer-Verlag**  
Wien New York



# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der Formelzeichen, Abkürzungen und Indizes</b>	<b>xm</b>
<b>1. Grundlagen der Verbrennung</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeines	1
1.2 Bestimmung des Heizwertes	2
1.3 Grundlagen des motorischen Arbeitsprozesses	3
1.3.1 Allgemeines, idealisierte Kreisprozesse, Vergleichsprozesse	3
1.3.2 Der Carnot-Prozeß (idealisierte Kreisprozeß)	4
1.3.3 Der Gleichraum-Prozeß (idealisierte Kreisprozeß)	5
1.3.4 Der Gleichdruck-Prozeß (idealisierte Kreisprozeß)	5
1.3.5 Der Seiliger-Prozeß (idealisierte Kreisprozeß)	6
1.3.6 Die Vibe-Funktion	7
1.3.7 Dissoziation	9
1.3.8 Prozeßrechnung	9
1.4 Einzelheiten der Verbrennung beim Ottomotor	10
1.4.1 Reaktionen vor der Zündung	10
1.4.2 Glühzündung (Frühzündung)	10
1.4.3 Zündung	11
1.4.4 Zündverzug	13
1.4.5 Verbrennungsablauf und Ladungsbewegung	14
1.4.6 Klopfen	27
1.4.7 Arbeitsverfahren	29
1.4.8 Wirkungsgrad	33
<b>2. Grundlagen der Gemischbildung</b>	<b>38</b>
2.1 Luft	38
2.2 Kraftstoff	43

2.2.1	Anforderungen an die Kraftstoffe	43
2.2.2	Zusammensetzung und Aufbau der Kraftstoffe	44
2.2.2.1	Grundsätzliches	44
2.2.2.2	Reine Kohlenwasserstoffe	45
2.2.2.2.1	Kettenförmige (aliphatische) Kohlenwasserstoffe	45
2.2.2.2.2	Ringförmige (zyklische) Kohlenwasserstoffe	48
2.2.2.3	Sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe	50
2.2.2.3.1	Alkohole (Alkanole)	50
2.2.2.3.2	Ether	51
2.2.2.4	Kraftstoffadditive	52
2.2.3	Eigenschaften und Kenngrößen der Kraftstoffe	54
2.2.3.1	Ottokraftstoffe (Benzin)	54
2.2.3.2	Permanentgas	60
2.2.3.3	Flüssiggas	61
2.3	Stöchiometrisches Mischungsverhältnis; Luftzahl	64
2.4	Gemischdosierung	66
2.4.1	Gemischmenge	66
2.4.2	Gemischzusammensetzung	69
2.5	Gemischaufbereitung	75
2.5.1	Kraftstoffzerstäubung	78
2.5.1.1	Druckzerstäubung	80
2.5.1.2	Druckluftzerstäubung	85
2.5.2	Kraftstoffverdampfung	88
2.6	Gemischtransport und -Verteilung	94
2.6.1	Gemischtransport und-Verteilung bei zentraler Gemischbildung	94
2.6.1.1	Allgemeine Beschreibung	94
2.6.1.2	Luft und Kraftstoffdampf (Gas)	95
2.6.1.3	Kraftstofftropfen	96
2.6.1.4	Wandfilm	101
2.6.2	Gemischtransport und-Verteilung bei dezentraler Gemischbildung	107
<b>3. Labormeißtechnik</b>		<b>112</b>
3.1	Kraftstoff- und Luftmassenbestimmung	112
3.1.1	Luftmassenmessung	112
3.1.2	Kraftstoffmessung	113
3.2	Luftzahlbestimmung	114

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	<i>IX</i>
3.2.1 Allgemeines	.114
3.2.2 Genauigkeitsbetrachtung zu den verschiedenen Luftzahl-Bestimmungs-Verfahren	.116
3.2.2.1 Atombilanzverfahren	.116
3.2.2.2 Ein-Komponenten-Luftzahl-Berechnungsverfahren	.117
3.2.3 Gegenüberstellung der Luftzahl-Bestimmungs-Verfahren aus der Abgasanalyse	.119
3.2.4 Instationäre Luftzahlbestimmung	.120
3.2.5 Luftzahlbestimmung an Zweitakt-Motoren	.120
3.3 Wandfilmbestimmung	.121
3.4 Meßtechnische Erfassung der Tropfengröße	.122
3.4.1 Meßmethoden zur Tropfengrößenbestimmung	.122
3.4.1.1 Abbildende optische Verfahren	.123
3.4.1.2 Extinktionsverfahren	.124
3.4.1.3 Streulichtverfahren	.124
3.4.2 Theoretische Grundlagen des Streulichtverfahrens	.125
3.4.3 Aufbau und Meßeinrichtung des Streulichtverfahrens	.127
3.4.4 Abschätzung von Fehlereinflüssen und Beurteilung der Meßgenauigkeit des Streulichtverfahrens	.129
3.4.4.1 Doppelbrechung	.129
3.4.4.2 Inhomogenitäten im Meßstrahl	.129
3.4.4.3 Auswerteverfahren	.131
3.4.4.4 Weitere Einflüsse auf das Meßergebnis	.132
3.4.4.5 Beurteilung der Meßgenauigkeit	.132
3.4.5 Darstellungsmöglichkeiten stationärer Tropfenspektren	.133
3.4.6 Darstellung instationärer Tropfenspektren	.135
3.5 Vermessung der Strahlbilder von Einspritzventilen	.137

## **4. Ausführungen der Gemischbildner** **139**

4.1 Zentrale Gemischbildner	.139
4.1.1 Vergaser	.140
4.1.1.1 Grundgleichungen	.141
4.1.1.2 Die einzelnen Grundsysteme des Vergasers	.144
4.1.1.2.1 Lufttrichter, Drosselklappe	.144
4.1.1.2.2 Einrichtungen zur Konstanthaltung des Kraftstoffniveaus	.156
4.1.1.2.3 Hauptdüsensystem	.160
4.1.1.2.4 Leerlaufsystem	.165
4.1.1.2.5 Bypass-System	.166

4.1.1.2.6	Start und Warmlaufsystem. . . . .	171
4.1.1.2.7	Beschleunigungspumpen. . . . .	174
4.1.1.2.8	Gemischabmagerungs- und Gemichanreicherungs-Einrichtungen. . . . .	176
4.1.1.2.9	Zusatzgemischsysteme. . . . .	177
4.1.1.2.10	Schiebebetrieb. . . . .	178
4.1.1.2.11	Atmosphärische Korrektoren. . . . .	178
4.1.1.2.12	Vereisung. . . . .	184
4.1.1.2.13	Dampfblasen. . . . .	186
4.1.1.3	Vergaserbauarten. . . . .	186
4.1.1.4	Gleichdruckvergaser. . . . .	189
4.1.1.5	Vergaser mit elektronischer Steuerung oder Regelung. . . . .	191
4.1.1.6	Ausführungsbeispiele von Vergasern. . . . .	194
4.1.1.6.1	Pierburg Registervergaser 2E. . . . .	194
4.1.1.6.2	Pierburg Doppelregistervergaser 4A1. . . . .	200
4.1.1.6.3	Vergaser für Kleinmotoren, Bing-Vergaser. . . . .	204
4.1.1.6.4	Elektronischer Vergaser von Pierburg. . . . .	208
4.1.2	Zentraleinspritzung. . . . .	211
4.1.2.1	Bosch-Mono-Jetronic. . . . .	212
4.1.2.2	Nissan-Single-Point-Injection. . . . .	215
4.1.2.3	Opel-Multec-Zentraleinspritzung. . . . .	218
4.1.2.4	Zwei-Düsen-Zentraleinspritzung (Dual Point Injection) von Honda . . . . .	222
4.1.3	Gasmischer. . . . .	223
4.1.4	Einfluß der Gemischbildergeometrie auf die Gemischverteilung. . . . .	229
4.1.4.1	Grundsätzliches. . . . .	229
4.1.4.2	Drosselklappe. . . . .	230
4.1.4.3	Mischkammer. . . . .	232
4.1.4.4	Ansaugluftführung. . . . .	236
4.1.4.5	Einfluß des Einspritzzeitpunktes auf die Gemischverteilung. . . . .	237
4.2	Dezentrale Gemischbildner. . . . .	240
4.2.1	Einzelzylindereinspritzung. . . . .	240
4.2.1.1	Verlauf der Entwicklung. . . . .	240
4.2.1.2	Elektronisch intermittierende Einspritzung. . . . .	252
4.2.1.2.1	L-Jetronic von Bosch. . . . .	252
4.2.1.2.2	LH-Jetronic von Bosch. . . . .	263
4.2.1.3	Mechanisch-elektronische kontinuierliche Einspritzung. . . . .	264
4.2.1.3.1	K-Jetronic von Bosch. . . . .	264
4.2.1.3.2	KE-Jetronic von Bosch. . . . .	271
4.3	Elektromagnetische Einspritzventile. . . . .	278
4.3.1	Grundsätzliche Funktion und Aufbau. . . . .	278
4.3.2	Vergleich verschiedener Einspritzventilbauarten. . . . .	280
4.3.2.1	Allgemeines. . . . .	280

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	<i>XI</i>
4.3.2.2 Spritzzapfenventile (Kegelstrahlventile)	282
4.3.2.3 Einlochventile (Schnurstrahlventil)	282
4.3.2.4 Mehrlochventile	283
4.3.3 Wichtige Kenngrößen elektromagnetischer Einspritzventile	283
4.4 Luftmassenmessung	286
4.4.1 Stauklappenluftmengenmessung	286
4.4.2 Wirbelfrequenz-Durchflußmesser	287
4.4.3 Thermische Sensoren	287
4.4.3.1 Hitzdrahtluftmassenmesser	288
4.4.3.2 Heißfilmluftmassenmesser	290
4.5 Kombination Gemischbildung-Zündung-Motormanagement	293
4.6 Anforderungen von Mehrventilmotoren an die Gemischbildung	297
4.6.1 Unterschiede zwischen Zwei- und Mehrventilmotoren im Hinblick auf die Gemischbildung	297
4.6.2 Auswirkungen der Unterschiede zwischen Zwei- und Mehr-Ventilmotoren auf die Gemischbildung und Optimierungsmöglichkeiten	299
4.7 Vergleichende Bewertung der Gemischbildner	304

## **5. Ausführung der Saugrohre 307**

5.1 Saugrohre für zentrale Gemischbildner	307
5.1.1 Anforderungen an das Saugrohr	307
5.1.2 Grundsätzliche Gestaltungsrichtlinien	307
5.1.3 Saugrohrgrundform	310
5.1.3.1 Ansaugsystemart	310
5.1.3.2 Saugrohrformtyp	312
5.1.4 Saugrohrbeheizung	316
5.1.5 Saugrohrvolumen	324
5.1.5.1 Einzelrohrquerschnitt	324
5.1.5.2 Einzelrohrlänge	327
5.1.5.3 Volumen des Verteilkörpers	328
5.1.6 Gemischumlenkungen und-Verzweigungen	328
5.1.7 Rohrquerschnittsform	330
5.1.8 Verteilkörperform inklusive Einbauten	331
5.1.9 Neigung des Saugrohres	334
5.1.10 Anschlußbohrungen	334
5.1.11 Saugrohrmaterial	334
5.1.12 Oberflächenrauigkeit	335

5.1.13 Zwischenflansch Saugrohr-Gemischbildner. . . . .	336
5.2 Saugrohrgestaltung für dezentrale Gemischbildner. . . . .	338
5.2.1 Allgemeines. . . . .	338
5.2.2 Resonanzaufladung. . . . .	338
5.2.3 Schwingrohraufladung. . . . .	343
5.2.4 Unkonventionelle Sauganlagen ohne variable Abmessungen. . . . .	349
5.2.5 Variable Sauganlagen. . . . .	353
5.2.6 Berechnung von Saugrohren für Einzeleinspritzung. . . . .	358
<b>6. Sonderformen der Gemischbildung</b>	<b>360</b>
6.1 Sonderformen zentraler Gemischbildung. . . . .	360
6.2 Sonderformen dezentraler Gemischbildung. . . . .	364
<b>7. Literaturverzeichnis</b>	<b>367</b>
<b>Sachverzeichnis</b>	<b>392</b>