

2. Bericht

über

Versuche an Kohlenstaub-Dieselmotor.

I-76

Zusammenfassung.

Es wurden bei den Drehzahlen $n = 175, 225, 275, 325$ U/min Leistungs- u. Verbrauchsmessungen bei gleichzeitiger Aufnahme von Indikatordiagrammen durchgeführt und daraus der indizierte Wärmeverbrauch bei verschiedener Brennzeit, der ein Maß für die Güte der Verbrennung ist, bestimmt, um die höchstmögliche Drehzahl zu finden. F 479 ergibt bei $n = 175$ u. $n = 225$ U/min noch keine wesentliche Steigerung des indizierten Wärmeverbrauchs bei gleicher Luftüberschußzahl. Erst bei $n = 275$ und besonders bei $n = 325$ U/min wird der Verbrauch ungünstiger. Die Grenze der Drehzahlsteigerung, die durch die nötige Brennzeit von F 479 bei einer Feinheit von ungefähr 10% Rückstand auf 10000 Maschen bedingt ist, liegt unter den vorhandenen Motorverhältnissen ungefähr bei 225 U/min. Höhere Drehzahlen ergeben bereits schlechteres Durchbrennen des Staubes und damit hohe Verbrauchszahlen. Bei Vergleichsversuchen mit Braunkohle Zeche Frechen, Zeche Ilse und nitriertem Pott-Extrakt F 487 werden mit Ilse-Staub die besten Verbrauchswerte erreicht. Zeche Frechen ist ebenfalls besser als F 487. Erst im Bereich fetterer Einstellung, wo sich der durch die Nitrierung des Pott-Extraktes bedingte höhere Sauerstoffüberschuß im Brennraum günstig bemerkbar macht, zeigt F 487 dann so gute Werte wie Frechen-Staub. Das Verschieben des Verbrauchs bei nitriertem Pott-Extrakt in den Bereich grösserer Wärmezufuhr wurde nochmals an 2 Meßreihen im Vergleich mit Braunkohle und Gasöl gefunden. Nitrierter Pott-Extrakt zeigt im Bereich großer stündlicher Wärmezufuhr ein günstigeres Verhalten als Braunkohle.

Die zusätzliche Einblaseluft bringt bei Gasöl keine Steigerung der Höchstleistung. Bei kleinerer Wärmezufuhr ist jedoch eine Verbesserung der Leistung und des Verbrauchs vorhanden. Trotz des grösseren Luftüberschusses verschiebt sich das Verbrauchsminimum nicht.

./.

Die Messungen wurden bei gleichbleibendem Schmierölverbrauch von 2 l/h durchgeführt, ein Verbrauch, der bei unserer behelfsmässigen Vorrichtung bewusst hoch gehalten wurde, um auch schlecht durchbrennende Staubarten bei den gleichen Motorbedingungen untersuchen zu können.

~~Leistungs- und Verbrauchsmessungen.~~

Für die weiteren Messungen wurde noch ein zweiter Deutz-Einsylinder-Motor mit 230 mm Bohrung in einen Kohlenstaubmotor umgebaut. Die Daten der beiden Maschinen sind folgende:

| Maschine | D I | D II |
|------------------|--------|--------|
| Bohrung | 230 mm | 260 mm |
| Hub | 390 mm | 390 mm |
| Hubvolumen | 16,1 l | 20,7 l |
| Effekt. Leistung | 20 PS. | 25 PS. |

Die Messungen wurden wie früher bei konstanter Schmierölmenge von 2 l/h und konstantem Einblasedruck von 65 at durchgeführt. Die von 1 kg Kohlenstaub geleistete Arbeit bei verschiedener stündlicher Staubsufuhr wurde an einem KWh-Zähler bestimmt und aus der gestoppten Durchlaufzeit lässt sich dann die mittlere elektrische Leistung und der spez. Wärmeverbrauch für die Pferdestärkestunde bestimmen. Die indizierte Motorleistung und der indizierte spezifische Wärmeverbrauch wurde wie in Bericht 327 mittels des aus Indikatorgrammen bestimmten Wirkungsgrades der Gesamtanlage gefunden.

Für die Auswertung der verschiedenen Messreihen wurde über der stündlich zugeführten Kohlenstaubmenge in kcal/h die elektrische Leistung in PS_{el}, der Wärmeverbrauch in kcal/PS_{el} h die indizierte Motorleistung in PS_{ind} und der indizierte spezifische Wärmeverbrauch in kcal/PS_{ind} aufgetragen.

a) Versuche an der Maschine D I.

Da dieser Kohlenstaubmotor mit einem Pendelgenerator abgebrannt wurde, konnte jeweils die effektive Motorleistung bestimmt werden. In diesem Zweck wurde zu verschiedenen elektrisch abgegebenen Leistungen der zugehörige Wirkungsgrad

./.

14.9

η Übertragung η Riemen η Generator durch Auswiegen des

Pendelgenerators, durch Ablesen der zugehörigen elektr. Leistung am KW-Messer und durch Messen des Riemenschlupfes bestimmt. Die Ergebnisse sind in Blatt 6 aufgezeichnet. Nun ist die Leistung

$N_{\text{eff}} = \frac{N_{\text{elektr.}}}{\eta_{\text{Übertr.}}}$ und für den effektiven Verbrauch $\frac{\text{kcal}}{\text{PS}_{\text{eff}} \cdot \text{h}} = \eta_{\text{Übertr.}} \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{PS}_{\text{el}} \cdot \text{h}}$

1) Versuche bei verschiedenen Drehzahlen.

Die beim Kohlenstaubmotor erreichbare Drehzahl ist vom Verlauf und von der Dauer der Verbrennung abhängig. Dabei ist vorausgesetzt, daß es sich um einen Staub bestimmter Korngrösse und bestimmter Zusammensetzung handelt. Die Versuche bei verschiedenen Drehzahlen sollen zeigen, bis zu welcher Grenze eine Steigerung der Drehzahl möglich und wirtschaftlich ist. Gefahren wurde die Probe F 479, die mit 4 l Säure auf 10 kg Pott-Extrakt nitriert ist, bei 4 verschiedenen Drehzahlen: $n = 175, 225, 275$ und 325 Umdr./min. Die Meßergebnisse sind in Blatt 1, 2, 3, 4, 5, 6 die Kurven für den gesamten Wirkungsgrad der Anlage $\eta_{\text{ges}} = \frac{N_{\text{ind}}}{N_{\text{el}}}$

in Blatt 6 aufgetragen. Dieser Wirkungsgrad ist bei gleicher Belastung stark abhängig von der Drehzahl. Mit abnehmender Drehzahl steigt der Wirkungsgrad an, weil die Reibungsverluste ebenfalls abnehmen. Mittels dieser Kurven wurde für jede Drehzahl die indizierte Motorleistung und der indizierte spez. Verbrauch bestimmt. Die effektive Motorleistung und der effektive Wärmeverbrauch läßt sich mit dem mechan. Wirkungsgrad $\eta_{\text{Übertr.}}$ aus Blatt 6 finden. erreicht

Die effektive Höchstleistung des Motors mit steigender Drehzahl bei 275 U/min mit 24,5 PS, den grössten Wert, um dann bei 325 U/min mit 20 PS, wieder abzunehmen.

Der Wärmeverbrauch für die effektive Pferdekraftstunde ist bei $n = 175$ und 225 U/min jeweils mit 2800 und 2900 $\frac{\text{kcal}}{\text{PS}_{\text{el}} \cdot \text{h}}$ am günstigsten. Bei $n = 275$ U/min beträgt der günstigste Verbrauchswert 3300 kcal/PS_{el}·h, bei $n = 325$ U/min 4600 kcal/PS_{el}·h. Man erkennt ferner, daß das Verbraucheminimum mit steigender Drehzahl bei größerer stündlicher Wärmezufuhr auftritt. Bei gleicher stündlicher Staubzufuhr ergibt die höhere Drehzahl wegen des größeren stündlich angesaugten Luftvolumens einen größeren

Luftüberschuß, der den günstigsten Verbrauch in den Bereich größerer Staubsufuhr verschiebt.

Der Wärmeverbrauch für die indizierte Pferdestärke nimmt bei gleicher stündlicher Wärmezufuhr mit zunehmender Drehzahl wegen des dabei ebenfalls zunehmenden Luftüberschusses ab. Er beträgt bei 40 000 kcal/h bei $n = 175$ U/min 1850, bei $n = 225$ U/min 1700, bei $n = 275$ U/min 1600 kcal/PS_{ind} h und ~~bleibt~~ bei $n = 325$ U/min auf gleicher Höhe wie bei $n = 275$ U/min. Um den Einfluß der Verbrennungszeit eines Staubes zu finden, darf der indizierte spez. Wärmeverbrauch nicht bei gleicher stündlicher Staubsufuhr untersucht werden, da dabei ausser der Drehzahl (also der zur Verfügung stehenden Verbrennungszeit), auch noch der Luftüberschuß veränderlich ist, sondern es muß der indizierte spez. Wärmeverbrauch, für die verschiedenen Drehzahlen, bei gleicher Wärmemenge pro Füllung untersucht werden. Man findet mit Hilfe der jeweiligen Drehzahl aus der stündl. Wärmezufuhr auch die jeweilige Wärmezufuhr pro Füllung und den dazu gehörige Wärmeverbrauch für die indizierte Pferdestärke. Auf Blatt 5 sind für die verschiedenen Drehzahlen über der Wärmezufuhr in kcal/Füllung die Werte des indizierten Wärmeverbrauches, wie sie aus den Blättern 1, 2, 3, 4 gefunden wurden, aufgetragen. Für die Güte der Verbrennung ist der indizierte spezifische Wärmeverbrauch ein direktes Maß. Bei der Drehzahl 225 U/min tritt gegenüber 175 U/min noch kein wesentlicher Unterschied in dem Verbrauch auf. Bei 275 und 325 U/min ist der indizierte Verbrauch und damit die Verbrennung wesentlich schlechter. Bei $n = 225$ U/min ist andererseits die effektive Leistung und der effektive spezifische Verbrauch bis 75 000 kcal/h günstiger als bei höheren Drehzahlen. Die maximale effektive Motorleistung beträgt dabei 20,5 PS_{eff}. Für den untersuchten Staub P 479 erscheint eine Steigerung der Drehzahl auf 225 U/min am günstigsten, wenn man sich auf die effektive Motorleistung von 20 PS beschränkt. Will man den Motor überlasten, so ist eine Erhöhung der Drehzahl auf 275 U/min wirtschaftlich. Die Feinheit der untersuchten Probe entspricht bei der Siebprobe einem Rückstand von 10 % auf 10000-Maschen entsprechend 10% über 69 μ Korngröße. Man sieht, daß der Steigerung der Drehzahl bei diesem Arbeitsverfahren und bei dieser Staubfeinheit durch die nötige Brennzeit sehr bald eine Grenze gesetzt wird. Diese Brennzeit ist für P 479 unter den angegebenen Motorverhältnissen ungefähr 0,13 sec.

2.) Vergleichsversuche mit Braunkohle Zeche Frechen.

Braunkohle Zeche Ilse und nitriertem Pott-Extrakt F 487.

Bei dieser Versuchsreihe sollen die Eigenschaften der verschiedenen Staubsorten in der Maschine verglichen werden. Die Meßergebnisse sind in Blatt 7,8,9 aufgeseichnet. Die Effektivwerte der Leistung und des Verbrauchs der 3 Sorten sind in Blatt 10 zusammengefaßt. Der Ilse Staub ergibt im ganzen Bereich die beste Leistung und den günstigsten Wärmeverbrauch. Die besten Werte sind

| | | | | |
|---------|----------------|---------------------------|-----|--------------|
| Frechen | (4579 kcal/kg) | 2700 kcal/PS _h | bei | 40000 kcal/h |
| Ilse | (5000 kcal/kg) | 2400 kcal/PS _h | " | 40000 kcal/h |
| F 487 | (7023 kcal/kg) | 3100 kcal/PS _h | " | 57500 kcal/h |

Mit nitriertem Pott-Extrakt wurden bei anderen Proben günstigere Werte erzielt als mit F 487, das, wie aus dem Heizwert und der Elementaranalyse hervorgeht, nicht am stärksten nitriert worden ist.

Bemerkenswert ist bei diesen Versuchen, dass das Verbraucheminimum mit nitriertem Pott-Extrakt bei 57500 kcal stündlicher Wärmezufuhr erreicht wird, mit Braunkohle der Zeche Frechen und der Zeche Ilse dagegen bei 40000 kcal/h. Es zeigt sich also auch hier, wie bei den Vergleichsversuchen mit Gasöl und nitriertem Pott-Extrakt im Bericht 327, das günstigere Verhalten des nitrierten Staubes im Bereich fetter Einstellung. Damals musste die Frage offen bleiben, ob dieses Verhalten auf den grösseren Luftüberschuß bei Lufteinblasung des nitrierten Pott-Extraktes gegenüber dem Gasölbetrieb mit Strahlzerstäubung oder ob dieses Verhalten auf die Anlagerung von NO₂ bei der Nitrierung zurückgeführt werden kann. Nun zeigt sich jedoch beim Vergleich mit Lufteinblasung der Braunkohle ebenfalls eine Verlagerung des Verbraucheminimums zugunsten von nitriertem Pott-Extrakt, so daß dieses unterschiedliche Verhalten nur noch durch die Zusammensetzung und die verschiedenen Eigenschaften der Staubsorten begründet werden kann. Das Stickstoffdioxid des nitrierten Pott-Extraktes dissoziiert in Stickoxyd und Sauerstoff, wodurch im Motorzylinder eine grössere Sauerstoffkonzentration entsteht.

./.

~~5) Versuche an der Maschine D II~~

3) Vergleichsversuche mit Strahleinspritzung von Gasöl mit und ohne zusätzlicher Einblaseluft. Blatt 11

In den Versuchsergebnissen mit Kohlenstaub ist die Verdichtungsarbeit für die Einblaseluft nicht enthalten. Die Kompressorleistung ist demnach von der jeweils abgegebenen Motorleistung noch abzuziehen.

Um festzustellen, ob die Höchstleistung durch die Druckluft ebenfalls beeinflusst wird, wurden Versuche mit und ohne zusätzlicher Einblaseluft bei Strahleinspritzung von Gasöl durchgeführt, obgleich die Maschine dafür nur behelfsmässig umgebaut werden konnte.

Die mit Gasöl allein erreichte Höchstleistung liegt mit $\sim 25 \text{ PS}_{0,1}$ in der gleichen Höhe wie bei dem Versuch in Bericht 327. Dagegen liegt der günstigste Wärmeverbrauch bei dieser Messung mit $250 \text{ kcal/PS}_{0,1}\text{h}$ etwas günstiger, was auf den höheren Kompressionsenddruck von 40 at gegenüber 35 at beim obigen Versuch zurückzuführen sein dürfte.

Die Luftereinblasung bringt bei Gasöl folgende Ergebnisse:

1.) Das Verbrauchsminimum verschiebt sich durch die Einblaseluft nicht in den Bereich fetterer Einstellung, sondern bleibt bei ungefähr 47500 kcal/h , obgleich die Druckluft als zusätzliche Luftmenge bei der Verbrennung einen etwas grösseren Luftüberschuss als bei Gasölbetrieb ohne Einblaseluft ergibt.

2.) Im Bereich von $30\ 000 \div 80\ 000 \text{ kcal}$ stündlicher Staubsufuhr ist die Leistung und der Verbrauch bei Luftereinblasung besser. Der günstigste Wärmeverbrauch ist $2300 \text{ kcal/PS}_{0,1}\text{h}$ gegenüber $2750 \text{ kcal/PS}_{0,1}\text{h}$ bei Gasölbetrieb ohne Einblaseluft. Der grösste Leistungsunterschied beträgt $\sim 2,5 \text{ PS}_{0,1}$.

3.) Die erreichte Höchstleistung des Motors kann bei Gasöl durch die eingeblasene Druckluft nicht gesteigert werden. Die aufgewendete Kompressorarbeit wird also im Bereich fetterer Einstellung nicht wiedergewonnen.

Um diese Frage besonders bei Kohlenstaubbetrieb vollends zu klären, müsste die Verdichtungsarbeit direkt vom Motor geleistet werden. Es sind deshalb Versuche mit angebautem Luftkompressor in Vorbereitung.

4.) Vergleichsversuche mit Gasöl, Braunkohle Zeche Ilse und F 487. Blatt 12.

Um das Verhalten dieser Kraftstoffe auch in der größeren Maschine zu prüfen, wurden an der D II ebenfalls Messungen durchgeführt. Sie bestätigen die an der anderen Maschine gefundenen Unterschiede:

Der nitrierte Pott-Extrakt F 487 hat gegenüber Braunkohle und Gasöl im Bereich fetterer Einstellung den günstigsten Verbrauch. Bei einer stündlichen Wärmezufuhr über 100 000 kcal/h ist die Leistung und der Verbrauch mit F 487 besser als mit Braunkohle Zeche Ilse und auch besser als mit Gasöl. Bei geringerer Staubsufuhr hat Braunkohle Zeche Ilse bessere Brenneigenschaften als F 487. Der spezifische Wärmeverbrauch erreicht mit 3 000 kcal/PS_{el} h günstigere Werte als der Wärmeverbrauch von 3 600 kcal/PS_{el} h bei F 487. Damit ist die Ilse-Kohle der beste Staub, der bis jetzt in der Maschine gefahren wurde.

Gasöl ergibt mit 2 700 kcal/PS_{el} h die absolut günstigsten Verbrauchswerte. Mit steigender Staubsufuhr fällt von 80 000 kcal/h an die Leistungs- und Verbrauchskurve von Gasöl mit der von Braunkohle Zeche Ilse zusammen, um dann, wie schon erwähnt, über 100 000 kcal/h schlechtere Werte als F 487 zu geben.

Alvinger