

Jeder Traktorist bemüht sich, die ihm übertragene Arbeit ökonomisch, also mit geringstmöglichem Zeit- und Materialaufwand und niedrigstem Kraftstoffverbrauch auszuführen. Wie man mit geringstem Kraftstoffverbrauch, insbesondere bei Teillast, einen Traktormotor fahren kann, ist bereits früher an gleicher Stelle dargelegt worden [1] [2]. Ausgangspunkt für die Einschätzung einer wirtschaftlichen Motor-nutzung ist immer das Motorkennlinienfeld.

Für den Motor 4 VD 14,5/12-1 SRW des Traktors ZT 300 ist ein solches Motorkennlinienfeld in Bild 1 dargestellt.

Viele Traktoristen kennen sicher derartige Motorkennlinienfelder, haben aber auf Grund der nicht sofort erkennbaren Zusammenhänge eine gewisse Scheu vor dem Lesen und der Anwendung dieser Diagramme für den Fahrbetrieb.

An dem in Bild 1 dargestellten Motorkennlinienfeld, auch kurz als Kennfeld bezeichnet, soll deshalb einmal dargelegt werden, was so ein Kennfeld aussagt und wie es entsteht.

## 1. Das Koordinatensystem des Kennfeldes

Das Kennfeld ist eigentlich nichts anderes als die zeichnerische Darstellung der Zusammenhänge zwischen der Motordrehzahl, der Leistung, dem spezifischen Kraftstoffverbrauch und dem mittleren effektiven Druck. Diese Werte werden teils aus den Motordaten errechnet, teils durch Messungen auf dem Prüfstand ermittelt.

Wie ist nun diese Darstellung entstanden?

Ausgegangen wurde davon, daß sich zur Darstellung der Motorenwerte ein Diagramm eignet, bei dem als Abszisse (x-Achse) die Drehzahl und als Ordinate (y-Achse) das Motordrehmoment dargestellt ist.

Das gilt insbesondere für Fahrzeugmotoren, weil zwischen Motordrehzahl und Geschwindigkeit des Fahrzeuges eine direkte Proportionalität besteht [3]. Gleiches trifft für Motordrehmoment und Antriebskraft eines Fahrzeuges zu.

In einem derartigen Diagramm, wie es Bild 2 schematisch zeigt, erscheinen die Kurven konstanter Motorleistung nach der Gleichung

$$N_e = K \cdot n \cdot M_d \quad [\text{PS}] \quad (1)$$

als Hyperbeln.

Es bedeuten: K Zahlenkonstante = 1/716,2  
n Motordrehzahl in U/min  
M<sub>d</sub> Motordrehmoment in kpm

Im M<sub>d</sub>-n-Diagramm (Bild 2) sind die Faktoren M<sub>d</sub> und n als Koordinaten aufgetragen. Ihr Produkt ergibt die Leistung N<sub>e</sub>, dargestellt als Rechteck. Die Leistung kann am Eckpunkt des Rechtecks an den Leistungshyperbeln abgelesen werden.

Wie schon angedeutet, sind für ein Fahrzeug die Verhältnisse ähnlich, dort ermittelt sich die erforderliche Antriebsleistung aus Antriebskraft mal Fahrgeschwindigkeit. Somit wäre also für Fahrzeugmotoren die Darstellung der motorischen Werte im M<sub>d</sub>-n-Diagramm sehr zweckmäßig, weil man hieraus das Antriebskraft- (Zugkraft-) und Geschwindigkeitsverhalten in Abhängigkeit vom geschalteten Gang einschätzen kann.

Dieses Diagramm gestattet aber keinen Vergleich von Motoren untereinander, deshalb stellt man als Ordinate den effektiven Mitteldruck p<sub>e</sub> anstelle des Motordrehmoments dar und erhält so das „Motorkennlinienfeld“.

Die Änderung der Ordinate kann man vornehmen, denn zwischen dem Drehmoment und dem effektiven Mitteldruck besteht eine direkte Proportionalität nach der Gleichung

$$M_d = K_1 \cdot V_H \cdot p_e \quad [\text{kpm}] \quad (2)$$

Es bedeuten: K<sub>1</sub> Zahlenkonstante = 1/1,26,  
V<sub>H</sub> Hubvolumen in dm<sup>3</sup>  
p<sub>e</sub> eff. Mitteldruck in kp/cm<sup>2</sup>

Was stellt nun der mittlere effektive Druck p<sub>e</sub> bei Verbrennungsmotoren dar?

Der effektive Mitteldruck p<sub>e</sub> ist eine Rechengröße und nirgendwo am Motor meßbar. Demnach müßte eigentlich als Ordinate des Kennfeldes der durch Indizieren eines Motors meßbare indizierte Druck p<sub>i</sub> dargestellt werden. Dieser Druck ergibt die auf den Kolben übertragende Arbeit

$$A_i = p_i \cdot V_H$$

In einem Motor treten aber noch innere Verluste durch Reibung, Gaswechsel usw. auf. Diese Verluste werden durch den mechanischen Wirkungsgrad η<sub>m</sub> berücksichtigt.

Effektiv (deshalb effektiver Mitteldruck) ist an der Schwungscheibe nur abnehmbar p<sub>i</sub> · η<sub>m</sub> = p<sub>e</sub> [kp/cm<sup>2</sup>] und damit ein Drehmoment gemäß Gleichung (2) bzw. eine Leistung von

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_H \cdot n}{900} \quad [\text{PS}] \quad (3)$$

In diese Zahlenwertgleichung ist einzusetzen:

$$p_e \text{ [kp/cm}^2\text{]}, V_H \text{ [dm}^3\text{]}, n \text{ [U/min]}$$

Die Höhe des effektiven Mitteldruckes bestimmt also mit die abnehmbaren Werte von Drehmoment und Leistung an der Schwungscheibe. Den Nutzer eines Motors interessieren nur diese Werte. Andererseits kann der Motorfachmann nach der Beziehung p<sub>e</sub> = p<sub>i</sub> · η<sub>m</sub> die Güte der Energieumwandlung in einem Motor (p<sub>i</sub>) und die Höhe der Verluste im Motor (η<sub>m</sub>) einschätzen, so daß der effektive Mitteldruck p<sub>e</sub> der günstigste Wert für die Ordinate des Kennfeldes ist.

## 2. Was sagt ein Kennfeld aus?

Anhand eines Kennfeldes können neben Motorvergleichen weiterhin wichtige Aussagen über einen Motor in einem Fahrzeug bezüglich seines Verhaltens bei Belastungen, Schalthäufigkeit und wirtschaftlichen Fahrens gemacht werden [2].

### 2.1. — an der Begrenzung

Um die Aussagen des Kennfeldes besser zu verstehen, sollen einmal die als Parameter eingetragenen Linien gleicher Leistung N<sub>e</sub> und gleichen spezifischen Kraftstoffverbrauch b<sub>e</sub> weggelassen werden. Damit ist der Grundaufbau des Kennfeldes im Bild 3 zu erkennen.

Es besteht aus einer Begrenzung; was innerhalb dieser Begrenzung liegt, stellt den Teillastbereich a eines Motors dar. Die Begrenzung selbst besteht aus der Vollastblockierungslinie b und der Nenndrehzahl-Abregellinie c. Der Verlauf des effektiven Mitteldrucks (Drehmoments) auf der Vollastblockierungslinie vom Nennleistungspunkt p<sub>e</sub> <sub>benn</sub> bis zum Maximalpunkt p<sub>e</sub> <sub>max</sub> hat bei fallender Drehzahl eine steigende Tendenz und wird bei Motoren durch sogenannte Elastizitätswerte ausgedrückt (Bild 3). Es ist definiert:

$$\text{— die Momentenelastizität } e_m = \frac{p_{e \max}}{p_{e \text{ benn}}} = \frac{M_{\max}}{M_{d \text{ benn}}} \quad (4)$$

\* VEB IFA-Motorenwerke Nordhausen

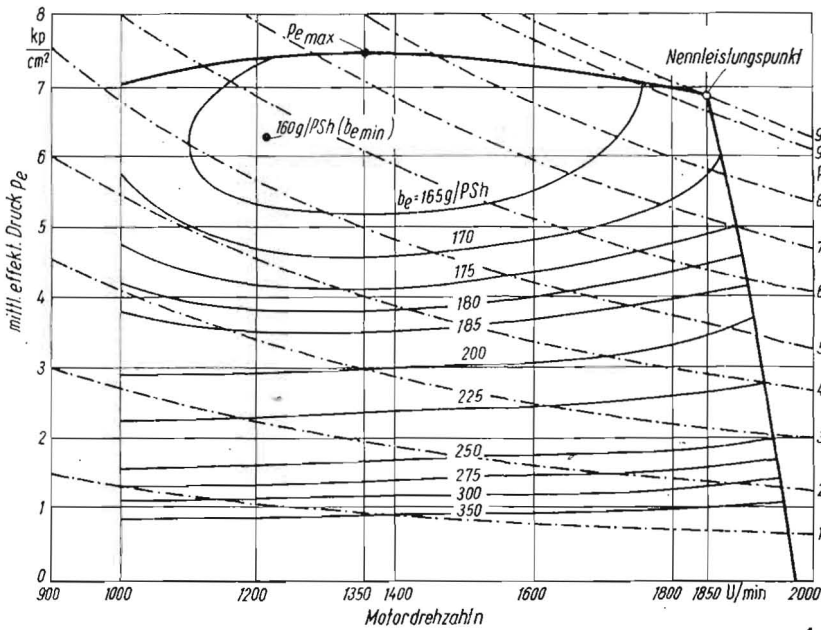
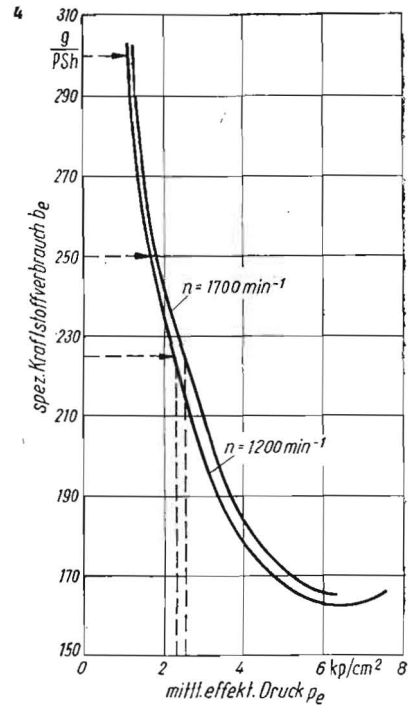


Bild 1. Motorkennlinienfeld des Motors 4 VD 14,5/12-1 SRW des ZT 300

Bild 4. Hilfsdiagramm zur Ermittlung der Linien gleichen spezifischen Kraftstoffverbrauchs im Kennfeld



Dieses Verhältnis liegt bei den meisten Traktormotoren um 1,10 bis 1,20, das bedeutet ein Ansteigen von  $p_e$  und damit von  $M_d$  bei fallender Drehzahl um 10 bis 20 %.

— die Drehzahlelastizität  $c_n = \frac{n_{pe \text{ nenn}}}{n_{pe \text{ max}}} = \frac{n_{Md \text{ nenn}}}{n_{Md \text{ max}}}$  (5)

Diese Elastizität liegt bei Traktormotoren im Mittel bei 1,60 bis 1,65, d. h. das maximale Drehmoment liegt bei etwa 60 % der Motornendrehzahl. Wird bei voller Belastung, z. B. durch spätes Schalten, der Motor unter die Drehzahl von  $M_{d \text{ max}}$  gefahren, so fällt das Drehmoment weiter sehr stark ab und der Motor neigt zum Rauchen und Abwürgen.

Was sagen nun die Elastizitätswerte aus, bzw. wie wirkt sich ihre Größe auf das Fahrverhalten aus?

Grundsätzlich sei daran erinnert:

Das Drehmoment eines Motors bestimmt die erreichbare Antriebskraft an den Treibrädern, die jeweils im Gleichgewicht mit den Widerständen, die am Fahrzeug angreifen, steht. Die Leistung eines Motors aber bestimmt, bei welcher Geschwindigkeit diese Antriebskraft noch aufgebracht bzw. diese Widerstände noch überwunden werden können.

Die Momentelastizität  $e_m$  kennzeichnet den Antriebskraftzuwachs eines Fahrzeugs bei fallender Drehzahl des Motors. Je „elastischer“ ein Motor ist, um so größer ist der Antriebskraftzuwachs an den Rädern.

Motoren mit einer Drehzahlelastizität um 1,5 sind beim Fahren in hohen Gängen elastisch genug, der Traktor will aber immer früh genug geschaltet werden. Motoren mit einer Drehzahlelastizität um 1,8 bis 2,0 haben meistens eine etwas geringere Momentenelastizität  $e_m$ , dafür aber bei niedrigen Drehzahlen noch ein hohes Moment, es ist hierbei noch viel Kraft an den Rädern vorhanden. Solche Motoren wirken mitunter etwas lahm, halten aber bei niedrigen Drehzahlen bei Vollast zäh durch, ohne daß geschaltet werden muß. Hohe Drehzahlelastizität ergibt also einen großen Fahrbereich bei Vollast.

Der Betrieb des Motors an der Nennendrehzahl-Abregellinie ist stabil. Die Begründung hierfür ist in [4] gegeben. Da Traktoren mit Verstellreglern ausgestattet sind, kann dieser stabile Motorbetrieb je nach Stellung des Fahrfußhebels oder der Handeinstellung im gesamten Teillastbereich genutzt werden.

## 2.2. — Teillastgebiet

Nachdem nun geklärt ist, was auf der Begrenzung des Kennfeldes eingeschätzt werden kann, sehen wir uns nochmals Bild 1 an. Die im Teillastgebiet eingetragenen strich-punktierten Linien (Leistungshyperbeln) gehören zu einer bestimmten Leistung. Was auf einer solchen Linie geschieht, erfolgt immer bei dieser Leistung (s. a. Bild 2).

Die stark ausgezogenen Linienzüge stellen jede den Zustand gleichen spezifischen Kraftstoffverbrauches ( $g/PS$ ) dar. Alles, was auf einer dieser Linien geschieht, erfolgt bei gleichem spezifischen Verbrauch.

Neben diesen Angaben ermöglicht ein vollständiges Kennfeld (Bild 1) noch folgende Aussagen:

— Größe und Verlauf der Linien gleichen spezifischen Kraftstoffverbrauches gestatten einen Hinweis auf die Wirtschaftlichkeit eines Motors bei verschiedenen Leistungsabnahmen. Der spezifische Kraftstoffverbrauch  $b_e$  ist dabei ein Maß für die Ausnutzung der einem Motor zugeführten Kraftstoffmenge.

Allgemein steigt der spezifische Kraftstoffverbrauch mit abnehmender Belastung der Motoren an, weil hier das Verhältnis der abgegebenen Nutzleistung zur Reibung im Motor am niedrigsten ist.

Bei niedrigen Drehzahlen und Vollast steigt der Verbrauch an, weil die Wärmeverluste größer werden und weil der Kraftstoff schlechter mit der Luft gemischt wird (Rauchen bei voller Belastung).

Bei sehr hohen Drehzahlen steigt der Verbrauch wiederum an, weil die Reibungsverluste größer werden. Von der Verbrauchshöhe her sind schnelllaufende Traktormotoren als sehr positiv zu beurteilen, die am Nennleistungspunkt 170 bis 175  $g/PS$  und als Bestwert  $b_{e \text{ min}}$  156 bis 160  $g/PS$  aufweisen.

— Erreichbarer maximaler effektiver Mitteldruck als Maß für die Ausnutzung der angesaugten Luftmenge.

Die Bereiche von  $b_{e \text{ min}}$  und  $p_{e \text{ max}}$  sind dabei Ausdruck für die Bereiche optimaler Gemischbildung, Verbrennung und niedriger Eigenverluste im Motor.

— In allen Bereichen des Kennfeldes sind durch die schon genannten spezifischen Motorkennwerte Motorvergleiche möglich.

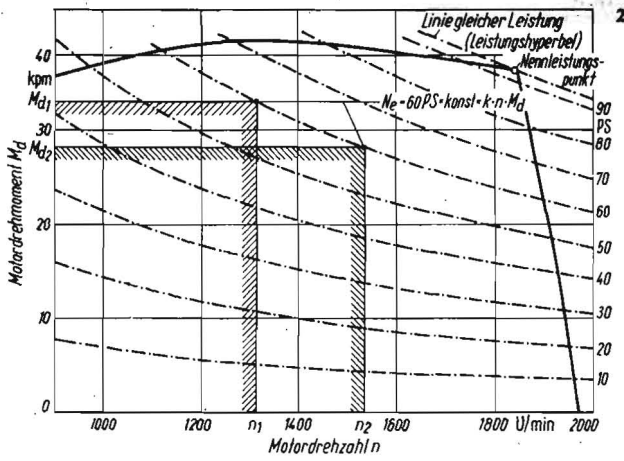


Bild 2.  $M_d$ - $n$ -Diagramm des Motors 4 VD 14,5/12,1 SRW mit eingetragenen Linien gleicher Leistung

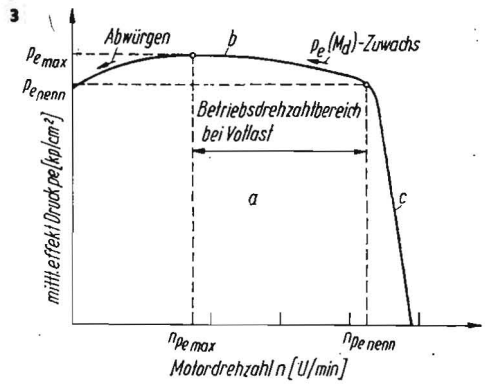


Bild 3. Aufbau des Kennfeldes und Erläuterung der Motorelastizitäten: a Teillastbereich, b Vollastblockierungslinie, c Nenndrehzahl-Abregellinie, d Nennleistungspunkt (Vollast)

### 3. Aufstellen des Motorkennlinienfeldes

In den vorangegangenen Abschnitten war bereits erläutert worden, daß ein Motorkennfeld im wesentlichen aus 3 Bereichen besteht:

- dem Teillastgebiet a mit Linien konstanten spezifischen Kraftstoffverbrauches  $b_e$  als Parameter,
- der Vollastblockierungslinie b
- der Abregellinie c

Die für die Aufstellung des Kennfeldes benötigten Werte werden auf einem Bremsprüfstand ermittelt, der gestattet, die volle Leistung des Motors abzunehmen, ohne ein Fahrzeug o. ä. anzutreiben.

Wie aus Gleichung (1) hervorgeht, müssen zur Leistungsberechnung Motordrehzahl und Drehmoment bekannt sein. Zur Messung des Drehmoments  $M$  werden Bremsen verschiedener Wirkungsweise verwendet, die die Motorleistung entweder in Wärme oder in elektrische Energie umwandeln. Die an der Waage der Bremse abgelesene Reaktionskraft mit ihrem Hebelarm multipliziert, ergibt das gesuchte Drehmoment. Die Berechnung der entsprechenden  $p_e$ -Werte, die ja in das Kennfeld eingetragen werden, erfolgt mit Hilfe von Gleichung (2).

Zur Bestimmung der Motordrehzahl werden Tachometer, kleine Generatoren und Stichtdrehzähler verwendet.

Die Ermittlung des spezifischen Kraftstoffverbrauches  $b_e$  erfolgt entweder mit Hilfe eines geeichten Gefäßes oder über eine Waage, auf der der Kraftstoffbehälter steht. Stündlicher Kraftstoffverbrauch  $B_e$  und spezifischer Kraftstoffverbrauch  $b_e$  errechnen sich dabei nach folgenden Formeln:

$$B_e = 3.6 \cdot \frac{M_B}{Z_B} \quad [\text{kg/h}] \quad (5)$$

$$b_e = 1000 \cdot \frac{B_e}{N_e} \quad [\text{g/PS h}] \quad (6)$$

wobei Kraftstoffmasse  $M_B$  in Gramm und benötigte Zeit  $Z_B$  in Sekunden sowie  $B_e$  in kg/h und  $N_e$  in PS einzusetzen sind.

Damit sind die wichtigsten Prüfstandseinrichtungen und Berechnungsformeln bekannt, die zur Aufstellung eines Motorkennlinienfeldes benötigt werden.

#### 3.1. Aufnahme der Vollastblockierungslinie

Bei der Aufnahme eines Kennfeldes beginnt man im allgemeinen mit der Vollastblockierungslinie b, d. h., man mißt die bei verschiedenen Drehzahlen vorhandene maximale Motorleistung. Nach dem Warmfahren des Motors wird der Reglerhebel der Einspritzpumpe auf Vollförderung gestellt

und durch entsprechende Regelung der Bremse die Nenndrehzahl des Motors eingestellt. Bei der ZT 300-Ausführung des Motors 4 VD 14,5/12-1 SRW erhält man dabei  $N_{\text{eff}} = 93 \text{ PS}/1850 \text{ min}^{-1}$ . Nach Erreichen des Beharrungszustandes werden die Meßinstrumente abgelesen und Leistung bzw. spezifischer Kraftstoffverbrauch errechnet. Weitere Meßpunkte erhält man durch eine stufenweise Steigerung der Belastung, wobei die Motordrehzahl immer mehr abfällt.

Der Drehzahlsprung zwischen 2 Meßpunkten beträgt im allgemeinen 100 bis 200 U/min. Bis zu der Drehzahl, bei der das maximale Drehmoment des Motors liegt, steigt die an der Waage abgelesene Bremskraft an, um danach wieder abzufallen. Der Reglerhebel bleibt bei diesen Messungen am Anschlag. Gemessen werden also Drehzahl, Drehmoment und Kraftstoffverbrauch.

#### 3.2. Aufnahme der Nenndrehzahl-Abregellinie

Bei der Aufnahme der Abregellinie c wird der umgekehrte Weg beschritten, d. h. die Belastung wird, von der Nenndrehzahl ausgehend, immer mehr bis zur vollständigen Lastwegnahme (obere Leerlaufdrehzahl) verringert. Die gemessenen Größen sind die gleichen wie in Punkt 3.1.

#### 3.3. Aufnahme der Linien gleichen spezifischen Kraftstoffverbrauches

Die Linien  $b_e$ -const. des Teillastgebietes c werden wie folgt ermittelt:

Bei einer konstanten Drehzahl (z. B.  $n = 1200 \text{ min}^{-1}$ ) erfolgen Kraftstoffverbrauchsmessungen bei verschiedenen effektiven Mitteldrücken  $p_e$ . Die Meßergebnisse werden in ein Hilfsdiagramm  $b_e = f(p_e)$  eingetragen und durch einen Kurvenzug verbunden. Bild 4 zeigt z. B. ein solches Diagramm für die Drehzahlen  $n = 1200 \text{ min}^{-1}$  und  $n = 1700 \text{ min}^{-1}$ . Nun werden waagerechte Schnitte so in das Hilfsdiagramm gelegt, daß man einmal glatte  $b_e$ -Werte und zum anderen gleichmäßige  $p_e$ -Abstände erhält. Für das o. a. Beispiel würde das wie folgt aussehen:

	$n = 1200 \text{ min}^{-1}$	$n = 1700 \text{ min}^{-1}$
$b_e = 300 \text{ g/PS h}$	$p_e = 1,15 \text{ kp/cm}^2$	$p_e = 1,25 \text{ kp/cm}^2$
$b_e = 250 \text{ g/PS h}$	$p_e = 1,65 \text{ kp/cm}^2$	$p_e = 1,80 \text{ kp/cm}^2$
$b_e = 225 \text{ g/PS h}$	$p_e = 2,35 \text{ kp/cm}^2$	$p_e = 2,55 \text{ kp/cm}^2$

Im Kennfeld werden dann im Schnittpunkt der Koordinaten  $p_e = 1,15 \text{ kp/cm}^2$  und  $n = 1200 \text{ min}^{-1}$  bzw.  $p_e = 1,25 \text{ kp/cm}^2$  und  $n = 1700 \text{ min}^{-1}$  Punkte eingetragen, die miteinander verbunden, die gesuchte Linie  $b_e = 300 \text{ g/PSh}$  ergeben (s. Bild 1).

Genauso verfährt man für  $b_e = 250 \text{ g/PSh}$ ,  $b_e = 225 \text{ g/PSh}$  usw. Natürlich werden die Kraftstoffverbräuche nicht nur bei 2 Drehzahlen gemessen, wie das der Einfachheit halber hier dargestellt wurde, sondern bei etwa 6.

Analog verfährt man, wenn Linien konstanter Abgastemperatur, Abgastrübung o. ä. eingetragen werden sollen.

#### 3.4. Eintragen der Leistungshyperbeln in das Kennfeld

Im Bild 1 sind außer den bereits erläuterten Linien konstanter spezifischen Kraftstoffverbrauchs usw. auch Linien konstanter Leistung eingetragen, die sich nach Gleichung (3) errechnen lassen, wobei das Hubvolumen des Motors ja eine bekannte Größe ist. Da also keine Prüfstandsmeßwerte erforderlich sind, lassen sich diese Kurven bereits vor der Prüfung des Motors in das Koordinatensystem eintragen. Man wählt dazu gleichmäßige Abstände und gerade Zahlen, also wie z. B. in Bild 1 10, 20, 30, 40 ... PS. Zur Berechnung der Hyperbeln setzt man die gewünschte Leistung in Gleichung (3) ein und erhält zu einem gewählten  $p_e$ -Wert die gesuchte Drehzahl  $n$  oder zur gewählten Drehzahl  $n$  den zugehörigen Mitteldruck  $p_e$ .

Beispiel: Es ist die Hyperbel für  $N_e = 60 \text{ PS}$  einzutragen. Es wird  $p_e = 5, 6$  und  $7 \text{ kp/cm}^2$  gewählt, womit sich aus Gleichung (3)  $n = 1650, 1390$  und  $1200 \text{ U/min}$  ergeben.

#### 4. Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Beitrag wurden einige Probleme über Motorkennlinienfelder von Traktor-Dieselmotoren allgemeinverständlich dargelegt.

Das Ziel sollte sein, daß die laufend mit Dieselmotoren umgehenden Traktoristen das Aufstellen und die Aussagen eines Kennfeldes richtig verstehen und diese Erkenntnisse für ein produktives und wirtschaftliches Fahren anwenden.

#### Literatur

- [1] DOMSCH, M.: Kraftstoffeinsparung durch überlegte Fahrweise. Deutsche Agrartechnik 13 (1963) H. 1, S. 12 und 13
- [2] SCHULZ, H.: Zur wirtschaftlichen Nutzung der Traktorenmotoren. Deutsche Agrartechnik 18 (1968) H. 4, S. 155 bis 158
- [3] JANTE, A.: Über die zweckmäßige Darstellung von Kennlinien-diagrammen für Kraftfahrzeugmotoren und Kraftfahrzeuge. ATZ (1936) S. 326 bis 328
- [4] KOMANDI, G.: Die Beziehung zwischen Zughakenleistung und Motorleistung beim Traktor. Deutsche Agrartechnik 18 (1968) H. 4, S. 169 bis 172 A 7785



Das CKB —  
leistungs-  
fähiger  
Hersteller von  
Insektiziden, Herbiziden,  
Fungiziden,  
Holzschutzmitteln



Gegen Unkräuter in Kartoffeln  
UVON für Frühkartoffeln  
UVON KOMBI 33  
gegen Unkräuter in mittel-  
frühen bis späten Kartoffel-  
sorten

Unsere Erzeugnisse  
rechtfertigen Ihr Vertrauen

Auf Wunsch übersenden wir gern  
Prospekte!

**VEB CHEMIEKOMBINAT  
BITTERFELD**