

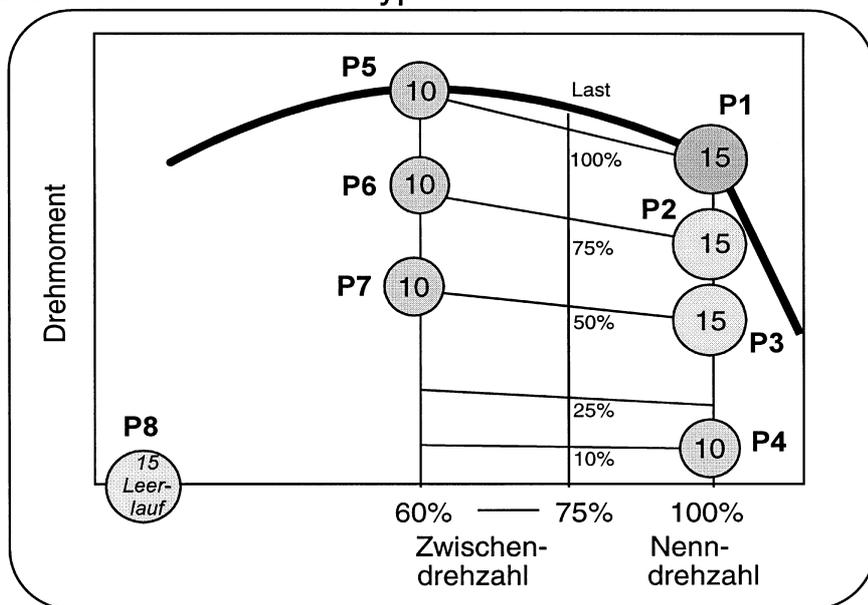
Manfred RINALDI und Gérard GAILLARD, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon
 Auskünfte: Manfred Rinaldi, e-mail: manfred.rinaldi@fat.admin.ch, Fax +41 (0)52 365 11 90, Tel. +41 (0)52 368 31 31

Im Rahmen der jährlichen Traktortests auf dem Motorenprüfstand der FAT werden neben den Leistungs- und Verbrauchsdaten auch die Abgaskomponenten HC (unverbrannte Kohlenwasserstoffe), NO_x (Stickoxide) und CO (Kohlenmonoxid) gemessen. Das aus den Daten entwickelte Modell erlaubt die Berechnung der Abgaskomponenten in Abhängigkeit von Treibstoffverbrauch, Leistung und Drehzahl. Verbrauch und Abgaswerte dienen zur Berechnung von Energie- und Ökobilanzen.

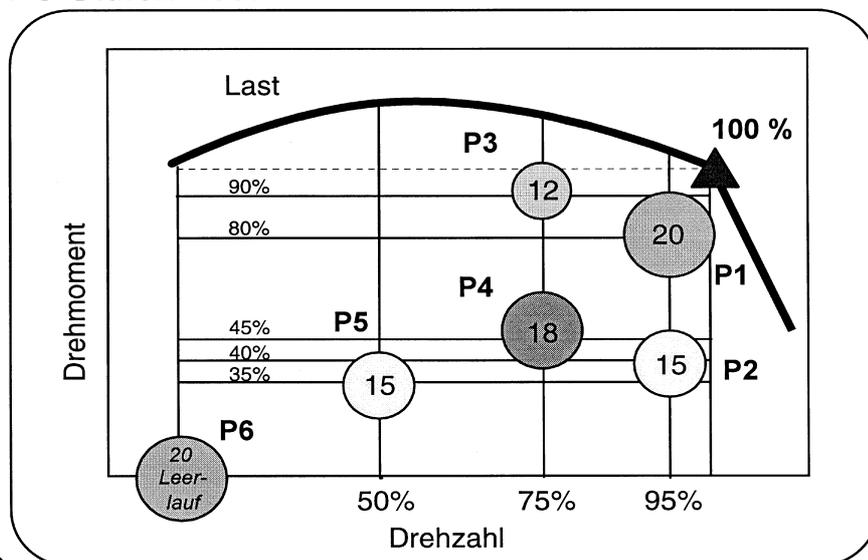
In der Energie- und Ökobilanz der landwirtschaftlichen Produktion hat der Energieeinsatz, das heisst der Treibstoffverbrauch und die Abgasemissionen der landwirtschaftlichen Motorfahrzeuge einen grossen Einfluss. Im Rahmen der jährlichen Traktortests auf dem Motorenprüfstand der FAT werden die Abgaskomponenten HC, NO_x und CO nach ISO 8178 C1 (8-Stufen-Test) und einem von der FAT entwickelten 6-Stufen-Test gemessen (Abb. 1).

Das vorgestellte Modell dient dazu, die vorhandene grosse Zahl von Einzelmessungen auf geeignete Art zusammenzufassen und für die Berechnung von Energie- und Ökobilanzen bereitzustellen.

ISO 8178 8-Stufen-Test Typ C1



FAT 6-Stufen-Test



○ Gewichtung %

Abb. 1. Betriebspunkte für die Leistungs- und Abgasmessung.

Messungen

Den verwendeten Daten liegen Messungen von 61 verschiedenen Traktoren der unterschiedlichsten Grössen, Typen und Hersteller zugrunde (Stadler und Schiess, persönliche Mitteilung, FAT). Jeder dieser Traktoren wurde nach den beiden obgenannten Testzyklen gemessen. Pro Traktor ergeben sich 14 verschiedene Messpunkte und ein Total von 854 Messwerten, jeweils für die Abgaskomponenten HC, NO_x und CO. Zudem sind sämtliche Leistungs- und Verbrauchsdaten verfügbar.

Der virtuelle Traktor

Als Modellannahme wird ein virtueller Traktor unterstellt. Er entspricht den mittleren Eigenschaften aller 61 gemessenen Traktoren. Das Umweltverhalten jedes Traktors, unabhängig von Typ, Grösse und Einsatz soll durch die Merkmale dieses virtuellen Traktors hinreichend charakterisiert werden. Die Nennleistung und Nenndrehzahl entsprechen jeweils 100 % jedes einzelnen gemessenen Traktors. Die Abgaswerte sind in Gramm pro Kilogramm verbrauchten Dieselöls definiert. Die so ermittelten Leistungs- und Abgaswerte sind in Tabelle 1 angegeben.



Tab. 1. Berechnete Werte des virtuellen Traktors (Anzahl Zylinder 4,31, Hubraum cm³ 4497, Nennleistung kW 64,6, Nenndrehzahl U/min 2340)

| Testart* | Punkt Nr. | Motor-Drehzahl | | Zapfwellen-Leist. | | Verbrauch kg/h | HC g/h | NO _x | CO | g/kg verbrauchter Treibstoff | | |
|----------|-----------|----------------|-----|-------------------|-----|----------------|--------|-----------------|--------|------------------------------|-----------------|-------|
| | | U/min | % | kW | % | | | | | HC | NO _x | CO |
| 1 | 1 | 2224 | 95 | 44,42 | 76 | 11,99 | 39,90 | 570,23 | 57,43 | 3,27 | 48,01 | 4,93 |
| 1 | 2 | 2223 | 95 | 22,27 | 38 | 7,77 | 37,82 | 279,79 | 65,36 | 4,87 | 36,69 | 9,08 |
| 1 | 3 | 1756 | 75 | 39,04 | 67 | 9,56 | 30,42 | 521,80 | 41,23 | 3,24 | 54,98 | 4,89 |
| 1 | 4 | 1756 | 75 | 19,74 | 34 | 5,92 | 29,46 | 256,75 | 46,61 | 5,02 | 43,55 | 8,48 |
| 1 | 5 | 1173 | 50 | 10,24 | 18 | 3,19 | 19,98 | 162,58 | 33,50 | 6,29 | 50,81 | 11,10 |
| 1 | 6 | 834 | 36 | 0,13 | 0 | 0,99 | 13,15 | 47,34 | 24,81 | 13,52 | 47,45 | 26,32 |
| 2 | 1 | 2337 | 100 | 58,24 | 100 | 15,38 | 42,16 | 728,14 | 165,23 | 2,70 | 47,52 | 11,50 |
| 2 | 2 | 2341 | 100 | 43,85 | 75 | 12,29 | 39,28 | 525,34 | 70,99 | 3,14 | 43,11 | 5,97 |
| 2 | 3 | 2341 | 100 | 29,25 | 50 | 9,45 | 39,21 | 342,06 | 67,38 | 4,15 | 36,77 | 7,61 |
| 2 | 4 | 2341 | 100 | 5,86 | 10 | 5,25 | 51,23 | 141,18 | 103,46 | 10,02 | 26,66 | 21,72 |
| 2 | 5 | 1449 | 62 | 46,92 | 81 | 11,02 | 23,72 | 581,99 | 197,41 | 2,20 | 52,16 | 19,82 |
| 2 | 6 | 1449 | 62 | 35,39 | 61 | 8,35 | 23,03 | 488,40 | 37,66 | 2,83 | 58,46 | 4,84 |
| 2 | 7 | 1450 | 62 | 23,62 | 41 | 6,03 | 23,08 | 315,54 | 28,58 | 3,90 | 52,44 | 5,13 |
| 2 | 8 | 766 | 33 | 0,14 | 0 | 0,97 | 11,82 | 49,88 | 22,07 | 13,15 | 53,03 | 25,38 |

* Testart 1: FAT 6-Stufen-Test, Testart 2: ISO 8178 8-Stufen-Test Typ C1

Treibstoffverbrauch und Zapfwellenleistung

Der Zusammenhang dieser beiden Messwerte ist exakt betrachtet nicht linear, weil der Wirkungsgrad in verschiedenen Be-

triebspunkten nicht konstant ist. Statistisch betrachtet zeigt sich jedoch eine gute Korrelation zwischen den beiden Grössen. Die in Abbildung 2 dargestellten grösseren Abweichungen im Leerlauf lassen sich dadurch erklären, dass dort keine

Leistung gemessen werden kann. Die Funktion kann mit ausreichender Genauigkeit mit der Formel

$$\text{Treibstoffverbrauch [kg/h]} = 1,5 + 0,23 \cdot \text{Zapfwellenleistung [kW]}$$

beschrieben werden. Demzufolge kann die Zapfwellenleistung oder der Treibstoffverbrauch gleichermaßen als Beeinflussungsfaktor für das Abgasverhalten verwendet werden.

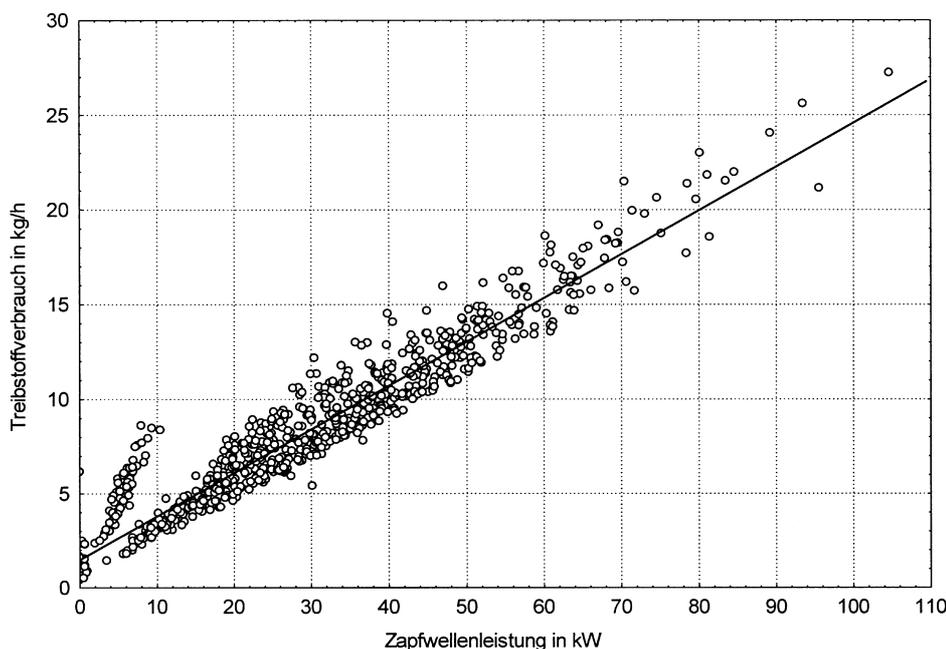


Abb. 2. Korrelation zwischen Zapfwellenleistung und Treibstoffverbrauch.

Tab. 2. Ergebnis der quasilinearen, multiplen Regression

| Koeffizient | HC | NO _x | CO |
|----------------|-------------|-----------------|-------------|
| B ₀ | 21,47 | 51,78 | 57,89 |
| B ₁ | -0,32941485 | 0,09867550 | -1,31326623 |
| B ₂ | -0,16829558 | 0,10746101 | -0,00886164 |
| B ₃ | 0,00232582 | -0,00409938 | 0,01040195 |
| B ₄ | -0,00037618 | 0,00335319 | -0,00766155 |
| B ₅ | 0,00120902 | -0,00177052 | 0,00594015 |
| R | 0,984 | 0,964 | 0,960 |

R = Korrelationskoeffizient

Berechnung der Abgaskomponenten

Das vorgestellte Modell ermöglicht es, mit Hilfe statistischer Methoden vom Verbrauch und von den Abgasen des virtuellen Traktors auf jeden beliebigen realen Traktor zu schliessen. Mit Hilfe einer quasilinearen, multiplen Regression werden die Koeffizienten der Gleichung $Z = B_0 + B_1 \cdot X + B_2 \cdot Y + B_3 \cdot X \cdot X + B_4 \cdot X \cdot Y + B_5 \cdot Y \cdot Y$

für jede der drei gemessenen Abgaskomponenten HC, NO_x und CO bestimmt.

Es bedeuten:

X: Motordrehzahl in Prozent der Nenndrehzahl in Umdrehungen/min;

Y: Zapfwellenleistung in Prozent der max. Zapfwellenleistung in kW;

Z: Abgasmasse (jeweils von HC, NO_x und CO) in Gramm pro Kilogramm Diesölöl.

Messwerte für Ökobilanz-Fachleute

Das verwendete Berechnungsmodell bildet den virtuellen Traktor bezüglich aller drei untersuchten Abgaskomponenten mit guter Korrelation ab (Tab. 2). In Abbildungen 3 bis 5 sind die Funktionen für die

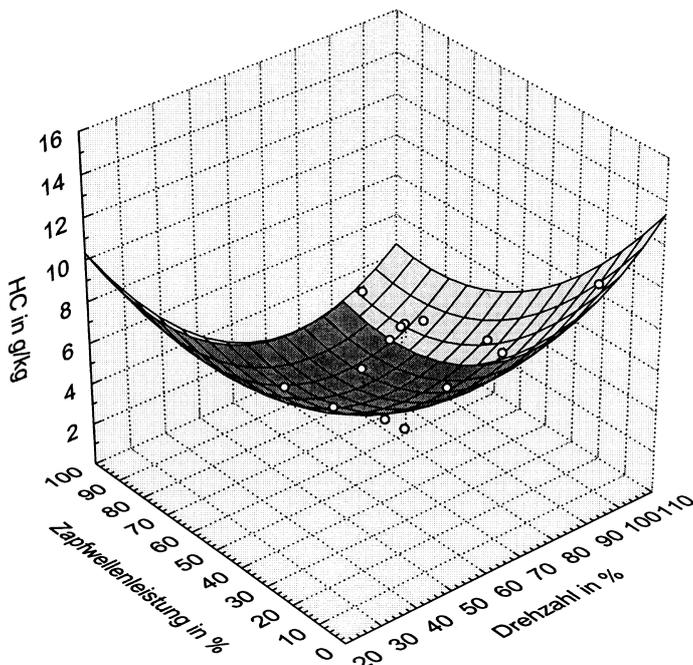


Abb. 3. Berechnete HC-Werte, grafische Veranschaulichung.

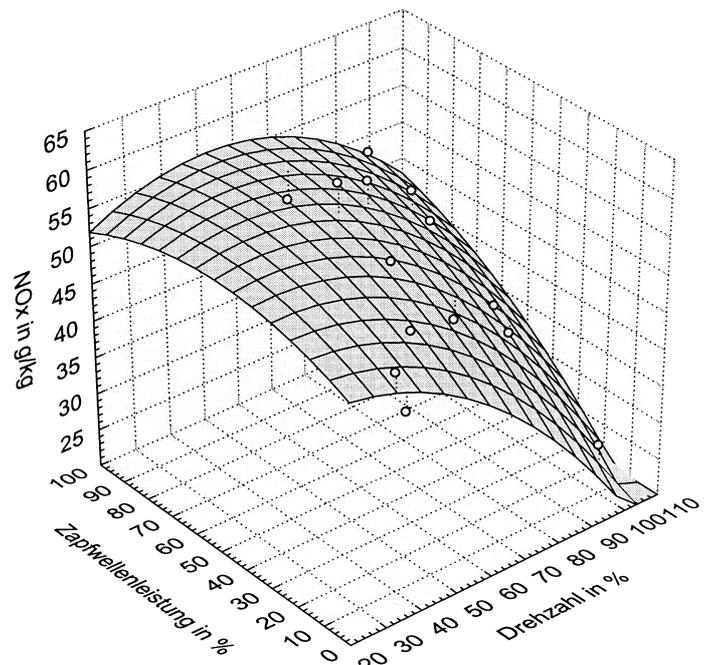


Abb. 4. Berechnete NO_x-Werte, grafische Veranschaulichung.

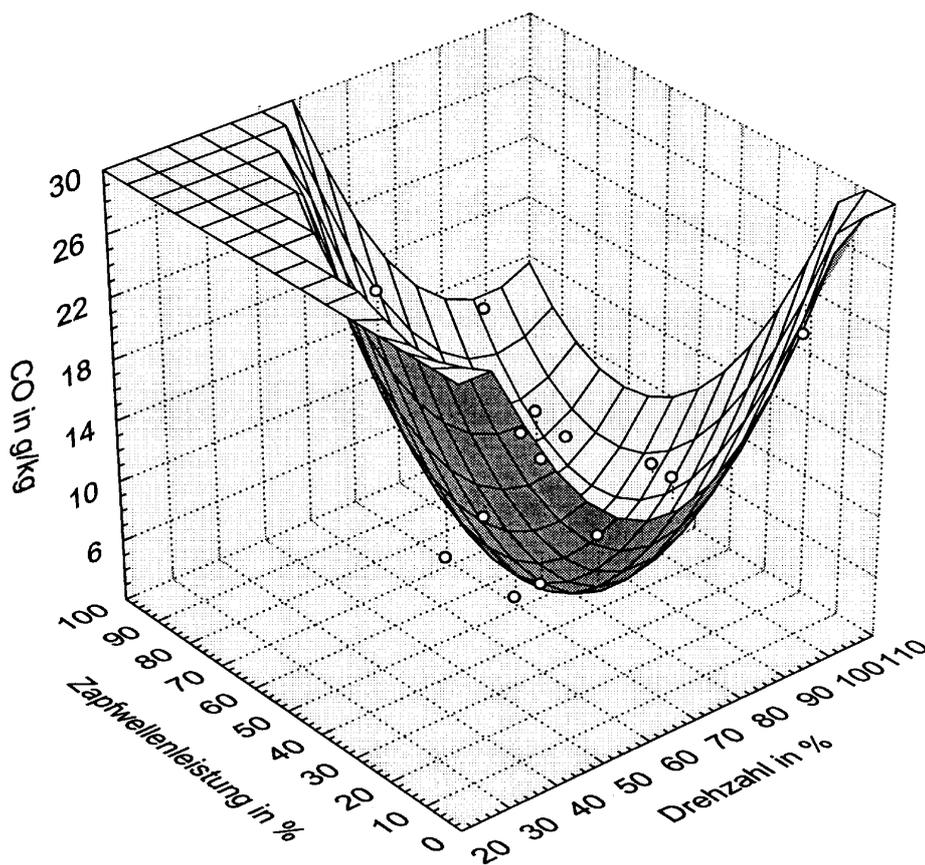


Abb. 5. Berechnete CO-Werte, grafische Veranschaulichung.

drei Abgase HC, NO_x und CO in Abhängigkeit von prozentualer Drehzahl und Leistung grafisch veranschaulicht.

Bei der Interpretation des oben vorgestellten Modells ist zu beachten, dass die tatsächlich gemessenen Werte eines einzelnen Traktormotors beträchtlich abweichen können. Es ist noch abzuklären, wie

gut die für die Berechnung des Modells verwendeten Traktoren die Gesamtheit aller Traktoren repräsentieren. Das beschriebene Modell gibt jedoch den Ökobilanz-Fachleuten, welche in erster Linie ein auf die Landwirtschaft ausgerichtetes Durchschnittsverhalten benötigen, die Möglichkeit, sich auf real gemessene, mit

anerkannten statistischen Methoden rückverfolgt aufbereitete Messwerte stützen zu können.

RÉSUMÉ

Consommation de carburant et gaz d'échappement des tracteurs agricoles

Dans le cadre des tests annuels de tracteurs sur le banc d'essai de la FAT, des données de performance et de consommation ainsi que les éléments des gaz d'échappement HC (hydrocarbures imbrûlés), NO_x (oxydes d'azote) et CO (monoxyde de carbone) sont mesurés. Le modèle développé sur la base de ces données permet de calculer les éléments des gaz d'échappement en fonction de la consommation de carburant, de la performance et du régime du moteur. Les valeurs sur la consommation et les gaz d'échappement servent à établir des bilans écologiques et énergétiques.

SUMMARY

Fuel consumption and waste gases of agricultural tractors

Within the scope of the annual tractor tests on the motor test bench of the FAT, performance and consumption data as well as the waste gas components HC (unburned hydrocarbons), NO_x (nitrogen oxides) and CO (carbon monoxide) are measured. The model developed on the basis of this data allows the calculation of the waste gas components as a function of fuel consumption, performance and engine speed. The values on consumption and waste gases serve to establish environmental life cycle assessments and energy balances.

KEY WORDS: tractor, fuel consumption, waste gases