

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 64 (2002)
Heft: 8

Artikel: Trends im Abgasverhalten landwirtschaftlicher Traktoren : neue Modelle deutlich sauberer
Autor: Rinaldi, Manfred / Stadler, Edwin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1080758>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

FAT BERICHTE

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon TG, Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90

Trends im Abgasverhalten landwirtschaftlicher Traktoren

Neue Modelle deutlich sauberer

Manfred Rinaldi und Edwin Stadler, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Seit 1994 wurden auf dem Motorenprüfstand der FAT bei den jährlichen Traktortests neben den bekannten Leistungs- und Verbrauchsdaten auch die Abgaskomponenten HC (unverbrannte Kohlenwasserstoffe), NO_x (Stickoxide) und CO (Kohlenmonoxid) gemessen. Dieser Bericht befasst sich mit der Frage, wie sich das Abgasverhalten der gemessenen landwirtschaftlichen Traktoren über die Jahre hinweg entwickelt hat. Dazu wurden die Messwerte von 112 Traktoren der unterschiedlichsten Grösse und Marken mit statistischen Methoden (Varianzanalyse und Regression) analy-

siert. Mit Hilfe der Vorstellung eines «virtuellen Traktors» wurde ein Abgasmodell entwickelt, das statistisch abgesicherte, allgemeine Aussagen über das Abgasverhalten der in der Landwirtschaft verwendeten Traktoren zulässt. Der Trend der Ergebnisse dieser Analysen zeigt in die richtige Richtung. Der «virtuelle Traktor» der Bauart 2000 und 2001 ist deutlich sauberer als der «virtuelle Traktor» der Bauart 1994 bis 1998. Für HC liegt die Reduktion zwischen 31 und 40 %, für NO_x liegt sie zwischen 10 und 18 % und bei CO finden wir eine solche zwischen 27 und 35 %.

Die Verminderungen der Abgasemissionen in absoluten Werten ausgedrückt, liegen für HC zwischen 5 und 11 g/h, bei NO_x zwischen 18 und 86 g/h und für CO zwischen 9 und 41 g/h, je nach Arbeitsbelastung und verwendeter Traktorgrösse. Die in diesem Bericht dargestellten Werte und Tendenzen sind sehr erfreulich, obwohl die Abgasreduktion bei NO_x eher bescheiden ausgefallen ist. Das Reduktionspotenzial ist sicher bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Neben den eigentlichen konstruktiven Verbesserungen der Motoren sind noch andere Faktoren für das Abgasverhalten der Traktoren verantwortlich. Zu erwähnen sind die elektronische Steuerung und Überwachung des Dieselmotors, stufenlose Antriebe mit integriertem Motor-Getriebe-Management, Abgasnachbehandlung mit Katalysatoren, ökonomische Fahrweise und nicht zuletzt die Verwendung von schwefelarmem Dieselöl oder Biodiesel.

$$z = 55.923 - 140.688 \cdot x + 16.603 \cdot y + 102.643 \cdot x \cdot x - 67.597 \cdot x \cdot y + 44.545 \cdot y \cdot y$$

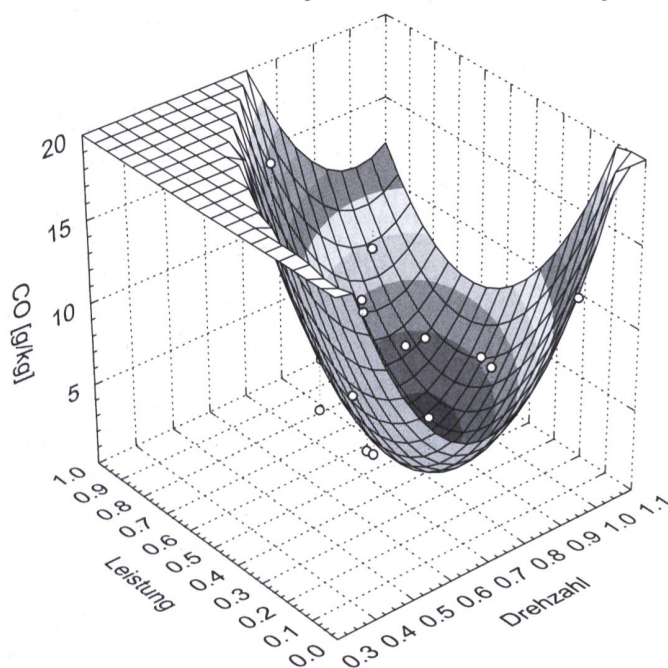


Abb. 1: Grafische Darstellung der statistischen Funktion (Regressionsfläche) für die Emission von CO (Kohlenmonoxid) in Abhängigkeit von Leistung und Drehzahl.

Inhalt	Seite
Problemstellung	42
Messungen	42
Der «virtuelle Traktor»	42
Lastspektren ausgewählter Arbeiten	43
Das Abgasmodell	43
Bisherige Ergebnisse und Trends	44

Problemstellung

In den meisten europäischen Ländern ist der Umweltschutz und besonders die Reinhaltung der Luft eine zunehmend wichtige Angelegenheit. Studien haben gezeigt, dass der Off-road-Verkehr für einen bedeutenden Teil der Luftverschmutzung verantwortlich ist. Land- und forstwirtschaftliche Maschinen und Geräte produzieren etwa die Hälfte aller Dieselabgase des Off-road-Verkehrs in der Schweiz.

Es ist deshalb wichtig, den Stand der Dinge präziser darzustellen und sich abzeichnende Trends aufzuzeigen. Dies ist möglich, weil im Rahmen der jährlichen Traktortests auf dem Motorenprüfstand der FAT neben den Leistungs- und Verbrauchsdaten auch die Abgaskomponenten HC (unverbrannte Kohlenwasserstoffe), **NOx** (Stickoxide) und **CO** (Kohlenmonoxid) gemessen werden.

Messungen

Den verwendeten Daten liegen Messungen an 112 verschiedenen Traktoren der unterschiedlichsten Grössen, Typen und Hersteller zugrunde. Jeder dieser Traktoren wurde nach zwei verschiedenen Testzyklen gemessen. Erstens nach ISO 8178 8-Stufen-Test C1 und zweitens nach einem FAT-internen 6-Stufen-Test. Der FAT-Test repräsentiert die tatsächlichen Arbeitspunkte des Motors beim praktischen Einsatz in der Landwirtschaft besser. Pro Traktor ergeben sich so 14 verschiedene Messpunkte, jeweils für die Abgaskomponenten HC, NOx und CO. Zudem sind sämtliche Leistungs- und Verbrauchsdaten verfügbar.

Der «virtuelle Traktor»

Die messpunktweise Auswertung der umfangreichen Datengrundlage mittels Varianzanalyse führte uns zur Modellannahme eines oder mehrerer «virtueller Traktoren». Der «virtuelle Traktor» existiert nicht wirklich und kann somit auch nicht direkt gemessen werden. Er besitzt aber die mittleren Eigenschaften eines Teils oder aller gemessenen realen Traktoren.

ISO 8178 8-Stufen-Test Typ C1

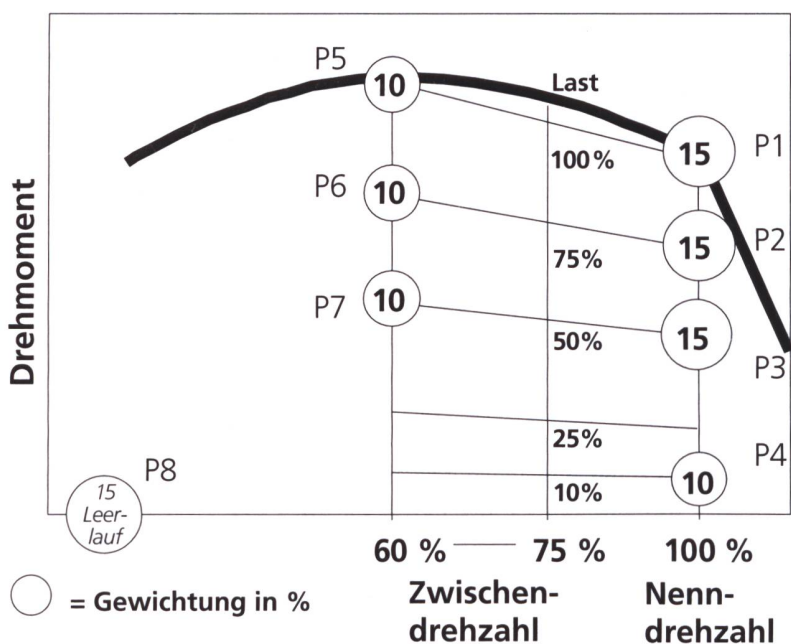


Abb. 2: Messpunkte und deren Gewichtung im ISO-8178-C1-8-Stufen-Test.

FAT 6-Stufen-Test

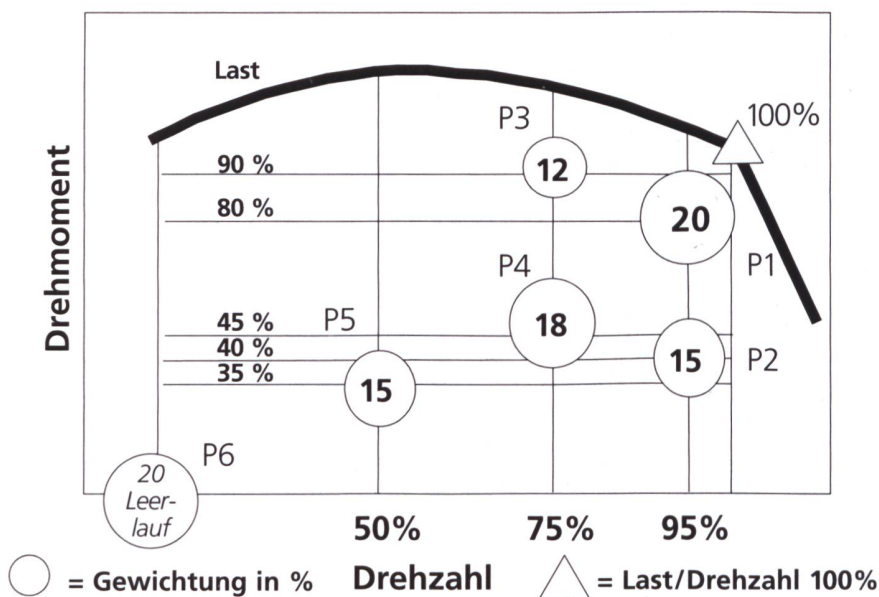


Abb. 3: Messpunkte und deren Gewichtung im FAT-6-Stufen-Test.

Lastspektren ausgewählter Arbeiten

Das Abgasverhalten von Dieselmotoren hängt vom Betriebspunkt, das heisst von Drehzahl und Belastung ab. Da bei der praktischen Arbeit diese beiden Grössen dauernd ändern, muss eine bestimmte Arbeit mit einem sogenannten Lastkollektiv oder Lastspektrum gekennzeichnet werden. Das Lastspektrum ist eine mathematische Matrix, die angibt, wie lange der Motor während einer beobachteten Arbeit in einem bestimmten Lastpunkt gelaufen ist. Lastspektren können im Fall von landwirtschaftlichen Arbeiten nur empirisch bestimmt werden, indem ein oder mehrere Traktoren mit entsprechenden Messgeräten ausgerüstet werden, die bei den gewünschten Arbeiten die Lastpunkte dauernd aufzeichnen. Diese Aufnahmen wurden auf dem Versuchsbetrieb der FAT während des Jahres 2000 durchgeführt. In Abbildungen 4 und 5 sind zwei unterschiedliche Lastspektren bildlich dargestellt. Das Lastspektrum der Kreiselegge (Abb. 4) zeigt den grössten Zeitanteil bei hoher Leistung (bzw. grossem Treibstoffverbrauch, zirka 17 l/h) und hoher Drehzahl (zirka 2000 U/min). Einen kleineren Zeitanteil finden wir um den Leerlaufpunkt. Ganz verschieden davon ist das Lastspektrum des Kultivators (Abb. 5). Hier sind die Zeitanteile auf ein breites Feld verteilt mit Schwerpunkten bei zirka 12 l/h Treibstoffverbrauch und 1700 U/min und beim Leerlaufpunkt.

Das Abgasmodell

Auf den ersten Blick ist es erstaunlich, dass es gelingt, ein allgemeines Abgasmodell für den «virtuellen Traktor» zu formulieren. Das Modell ist nicht ganz einfach. Gekrümmte Flächen, mathematisch beschrieben durch quadratische Polynome, stellen je eine Funktion für HC, NOx und CO pro «virtuellen Traktor» dar.

Die Formel für das verwendete Abgasmodell lautet:

$$z = B_0 + B_1 \cdot x + B_2 \cdot y + B_3 \cdot x \cdot x + B_4 \cdot x \cdot y + B_5 \cdot y \cdot y$$

x = Motordrehzahl in Bruchteilen der Nenn Drehzahl
y = Motorleistung in Bruchteilen der Nennleistung
z = Gesuchter Abgaswert in g/kg verbrauchter Treibstoff

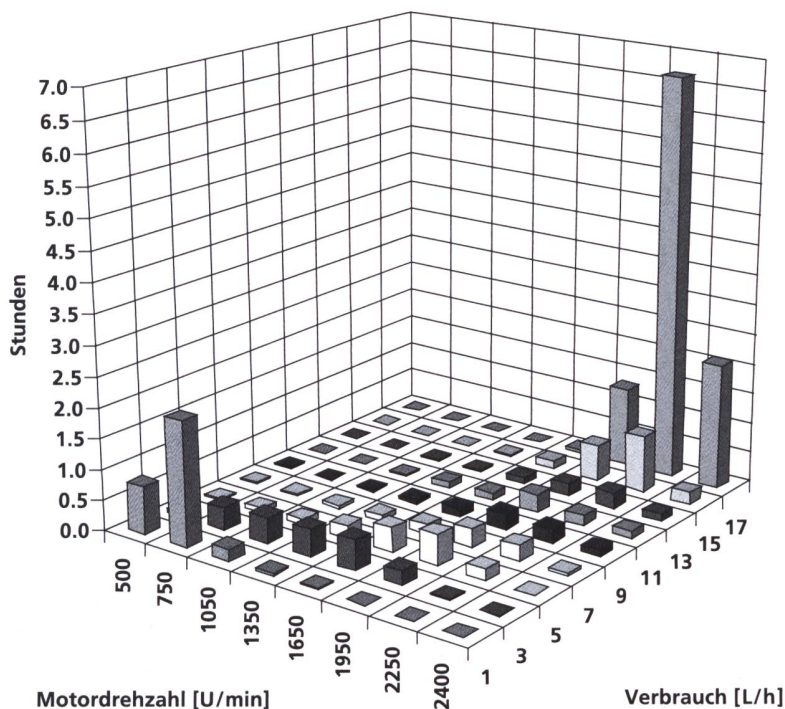


Abb. 4: Lastspektrum beim Arbeiten mit der Kreiselegge. Der Motor ist stark ausgelastet.

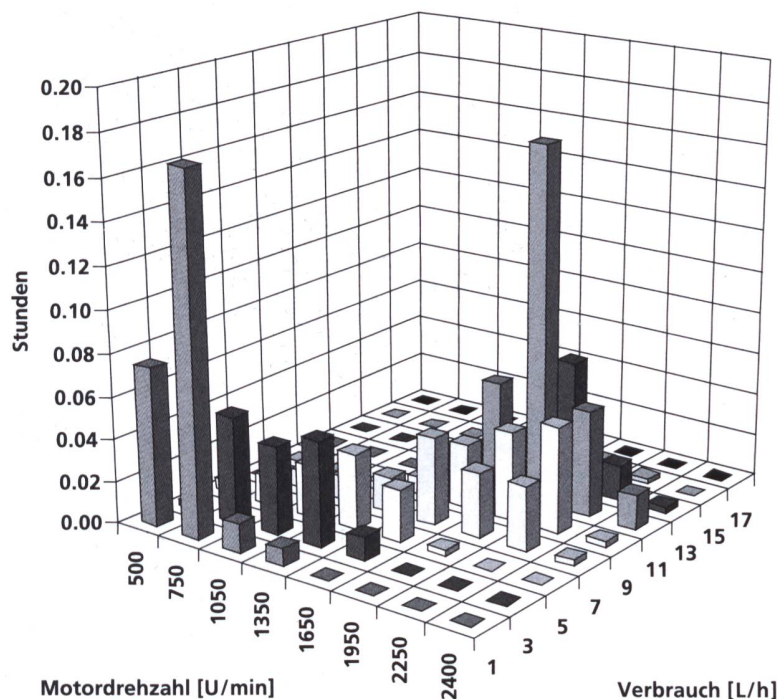


Abb. 5: Lastspektrum beim Arbeiten mit dem Kultivator. Das Spektrum ist breiter und der Leerlaufanteil ist bedeutend grösser.

Tab. 1: Regressionskoeffizienten und Bestimmtheitsmass für zwei verschieden «virtuelle Traktoren»

		1994 bis 1998 Mark 1			2000 und 2001 Mark 2		
		HC	NOx	CO	HC	NOx	CO
Konst.	B_0	22,086096	42,654119	59,541366	22,431559	77,487555	55,923132
Drehzahl	B_1	-34,831292	43,086753	-136,740617	-43,165023	-42,962901	-140,688147
Leistung	B_2	-18,127175	1,152576	1,970102	-11,930119	-21,451295	16,603271
Drehzahl x Drehzahl	B_3	24,538878	-65,032263	107,913991	26,628439	-3,352206	102,643465
Drehzahl x Leistung	B_4	-4,659842	49,397600	-89,220653	2,060018	22,886055	-67,596726
Leistung x Leistung	B_5	14,809898	-23,027257	74,658036	6,505419	6,362376	44,544618
Bestimmtheitsmass	R	0,98	0,96	0,96	0,98	0,99	0,94

In Tabelle 1 sind die Regressionskoeffizienten B_0 bis B_5 und das Bestimmtheitsmass R der Regression für zwei verschiedene «virtuelle Traktoren» Mark 1 (Bauart 1994 bis 1998) und Mark 2 (Bauart 2000 bis 2001) aufgeführt. Eine bildliche Veranschaulichung der Funktionen für HC, NOx und CO des «virtuellen Traktors» vT Mark 2 zeigen die Abbildungen 1, 6 und 7.

Bisherige Ergebnisse und Trends

Es interessiert nun die Frage, wie sich das Abgasverhalten über die Jahre hinweg entwickelt hat. In einem Satz ausgedrückt: der Trend geht in die richtige Richtung.

Um das zu verdeutlichen, wurden zwei verschiedene «virtuelle Traktoren» betrachtet. Die Unterteilung ist willkürlich und könnte auch anders gemacht werden:

«virtueller Traktor» Mark 1:

1994 bis 1998

«virtueller Traktor» Mark 2:

2000 und 2001

In Tabelle 2 und Abbildungen 8 bis 10 sind die Abgaswerte HC, NOx und CO dieser zwei «virtuellen Traktoren» für jeden Messpunkt des ISO- und FAT-Tests-Zyklus' und der Durchschnitt für den jeweiligen Testzyklus aufgetragen. Mit Ausnahme der Leerlaufpunkte P8 beim ISO-Zyklus und P6 beim FAT-Zyklus sowie bei den Punkten mit niedriger Last P4 beim ISO-Zyklus und P5 beim FAT-Zyklus und nur für NOx zeigen sämtliche anderen Werte eine fallende Tendenz. Diese Tatsache ist sehr erfreulich. Wie sieht nun die konkrete Reduktion der Abgasemissionen aus? Dazu wurde die beschriebene Modellrechnung mit drei unterschiedlich grossen Traktoren und sechs verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeiten durchgeführt.

$$z = 22.432 - 43.165 \cdot x - 11.93 \cdot y + 26.628 \cdot x \cdot x + 2.06 \cdot x \cdot y + 6.505 \cdot y \cdot y$$

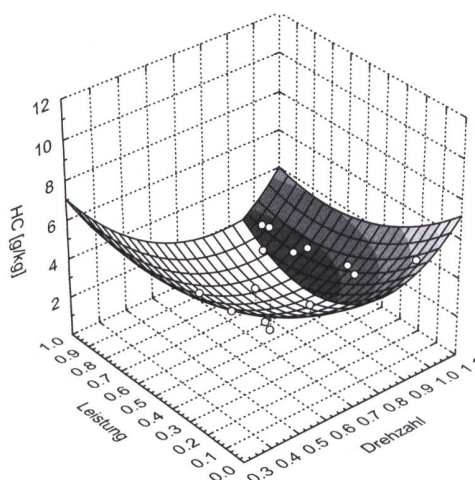


Abb. 6: Grafische Darstellung der statistischen Funktion (Regressionsfläche) für die Emission von HC (unverbrannte Kohlenwasserstoffe) in Abhängigkeit von Leistung und Drehzahl.

$$z = 77.488 - 42.963 \cdot x - 21.451 \cdot y - 3.352 \cdot x \cdot x + 22.886 \cdot x \cdot y + 6.362 \cdot y \cdot y$$

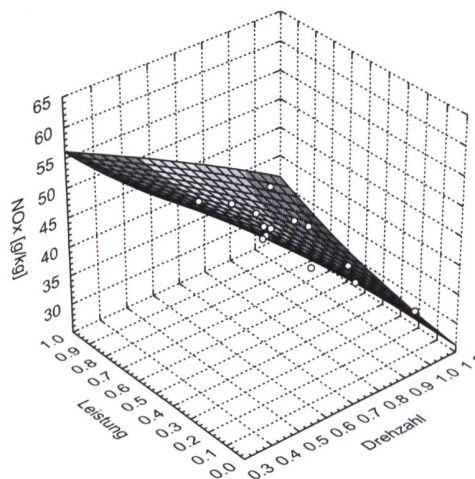


Abb. 7: Grafische Darstellung der statistischen Funktion (Regressionsfläche) für die Emission von NOx (Stickoxide) in Abhängigkeit von Leistung und Drehzahl.

> DAS ABGASMODELL > BISHERIGE ERGEBNISSE UND TRENDS

Tab. 2: Emissionswerte in g/kg verbrauchten Treibstoff der einzelnen Messpunkte für zwei verschiedene «virtuelle Traktoren»

	HC		NOx		CO	
	vT Mark 1	vT Mark 2	vT Mark 1	vT Mark 2	vT Mark 1	vT Mark 2
	1994 bis 1998	2000 u. 2001	1994 bis 1998	2000 u. 2001	1994 bis 1998	2000 u. 2001
ISO P1	2,72	1,85	47,2	38,0	11,82	7,21
ISO P2	3,16	2,05	43,2	35,3	5,91	3,58
ISO P3	4,17	2,51	36,9	32,8	7,51	4,63
ISO P4	10,05	4,99	26,6	32,3	21,70	11,95
ISO P5	2,20	1,49	51,8	45,5	20,45	17,33
ISO P6	2,87	1,72	57,9	48,8	4,94	4,03
ISO P7	3,96	2,36	52,0	47,2	5,21	3,46
ISO P8	13,15	9,99	51,8	61,6	25,18	18,42
FAT P1	3,28	2,09	49,9	37,2	5,05	3,53
FAT P2	4,83	3,02	38,2	33,1	9,02	5,64
FAT P3	3,21	1,91	56,7	44,0	4,85	3,24
FAT P4	4,97	2,96	44,9	40,8	8,38	5,03
FAT P5	6,28	4,27	51,8	55,5	11,07	7,11
FAT P6	13,75	11,19	47,7	59,8	27,02	19,16
Durchschnitt	5,61	3,74	46,9	43,7	12,01	8,17
Reduktion %	-	33,3	-	6,8	-	32,0
Reduktion g/kg	-	1,87	-	3,2	-	3,84

Abb. 8 bis 10: Grafische Darstellung der Emissionswerte für die Messpunkte des ISO-8178-C1-8-Punkte-Tests und des FAT 6-Punkte-Tests, jeweils für die Komponenten HC, NOx und CO.

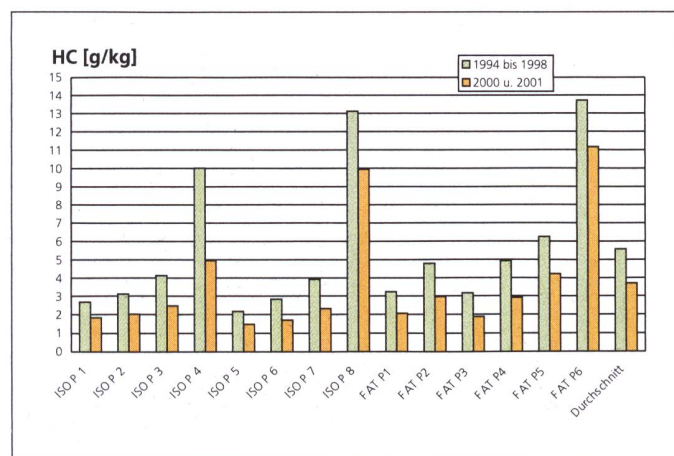


Abb. 8

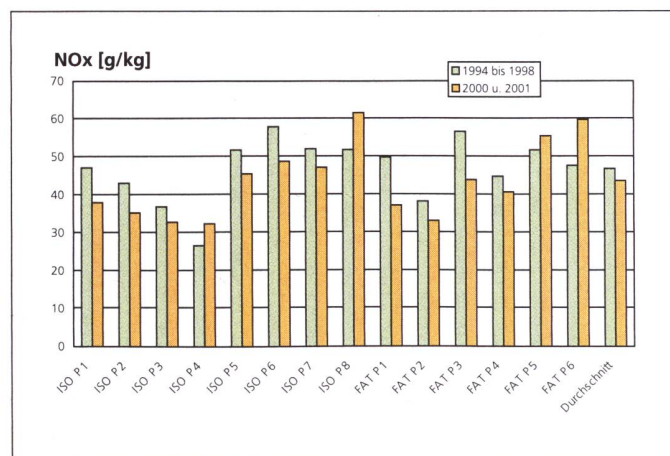


Abb. 9

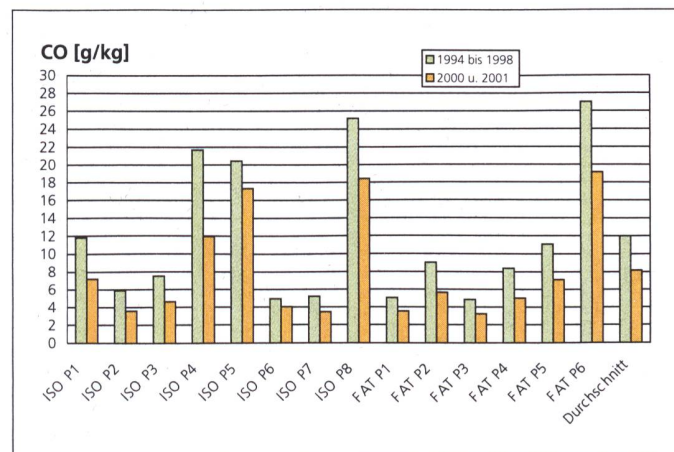


Abb. 10

Drehzahl und Leistung jeder Säule des entsprechenden Lastspektrums wurden in obige Regressionsformel für jedes der drei Abgaskomponenten HC, NOx und CO eingesetzt. Das ergibt die Abgasmasse an dem entsprechenden Punkt in Gramm pro kg verbrauchten Treibstoffes. Diese Werte wurden sodann mit dem absoluten Treibstoffverbrauch der realen Traktoren T1, T2 und T3 und dem Zeitannteil aus dem jeweiligen Lastspektrum multipliziert. Die auf eine Stunde bezogene Summe aller dieser Werte ergibt die gesuchten Abgasmassen der Komponenten HC, NOx und CO in Gramm pro Stunde für verschiedene «virtuelle Traktoren» der Bauart 1994 bis 1998 (Mark 1) und der Bauart 2000 bis 2001 (Mark 2) und den Nennleistungen von T1, T2 und T3. Auf eine einfache Formel gebracht kann man sagen: Es werden die Abgasmassen verglichen, die bei der Ausführung von Arbeiten entstehen, wenn diese einmal mit «virtuellen Traktoren» der Bauart 1994 bis 1998 und den Nennleistungen von T1, T2 und T3 und das andere Mal mit «virtuellen Traktoren» der Bauart 2000 bis 2001 und den selben Nennleistungen ausgeführt werden.

Traktor 1: 50 kW Nennleistung, maximaler Treibstoffverbrauch 13.0 kg/h
 Traktor 2: 62 kW Nennleistung, maximaler Treibstoffverbrauch 15.8 kg/h
 Traktor 3: 78 kW Nennleistung, maximaler Treibstoffverbrauch 19.4 kg/h

Arbeit 1: schwere Transportarbeit mit Traktor 1
 Arbeit 2: Dünger streuen, pneumatisch mit Traktor 1
 Arbeit 3: schwere Transportarbeit mit Traktor 2
 Arbeit 4: Kultivator mit Traktor 2
 Arbeit 5: Kreiselegge mit Traktor 2
 Arbeit 6: schwere Transportarbeit mit Traktor 3

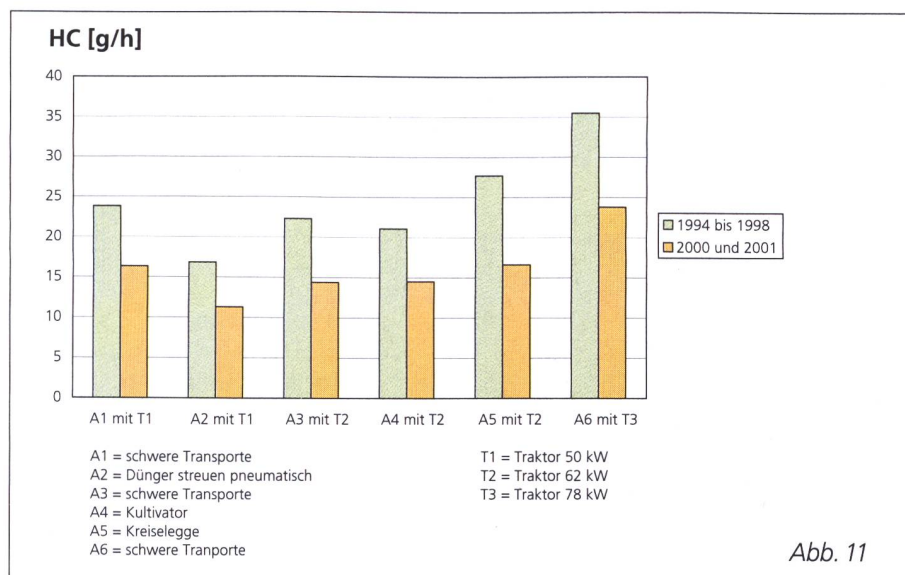


Abb. 11

Wie man aus den Abbildungen 11 bis 13 ersieht, ist die Reduktion zwischen dem «virtuellen Traktor 1994 bis 1998», Mark 1 und einem solchen der neueren Bauart 2000 und 2001, Mark 2, beträchtlich. Für HC liegt die Reduktion zwischen 31 und 40 %, für NOx liegt sie zwischen 10 und 18 % und bei CO finden wir eine solche zwischen 27 und 35 %. Die Verminderungen der Abgasemissionen in absoluten Werten ausgedrückt liegen für HC zwischen 5 und 11 g/h, bei NOx zwischen 18 und 86 g/h und für CO zwischen 9 und 41 g/h, je nach Schwere der Arbeit und verwendeter Traktorgröße.

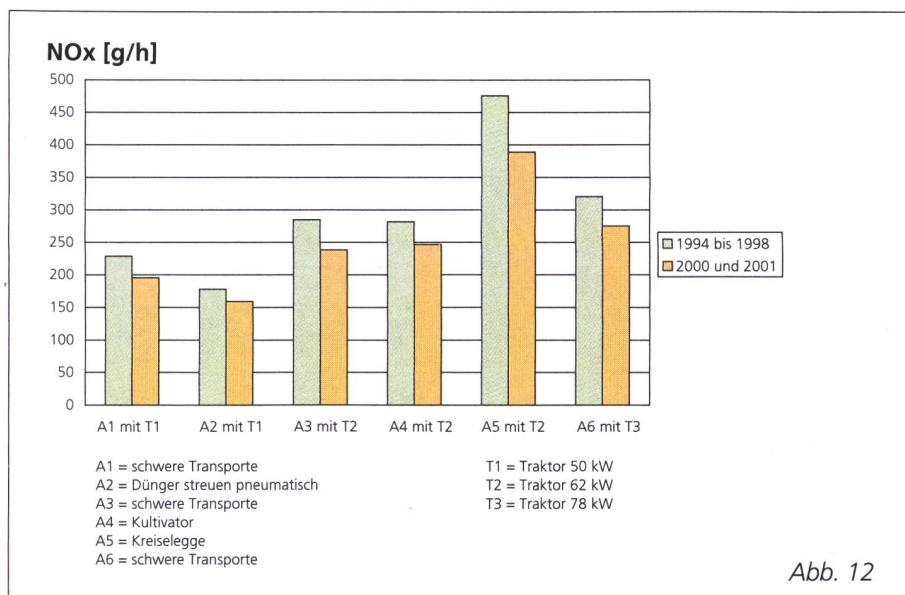


Abb. 12

Abb. 11 bis 13: Grafische Darstellung der Emissionswerte, jeweils für HC, NOx und CO, in g/h für sechs verschiedene Arbeiten mit drei Traktoren unterschiedlicher Nennleistung, berechnet mit den Modelldaten von zwei unterschiedlich sauberen «virtuellen Traktoren» Mark 1 und Mark 2.

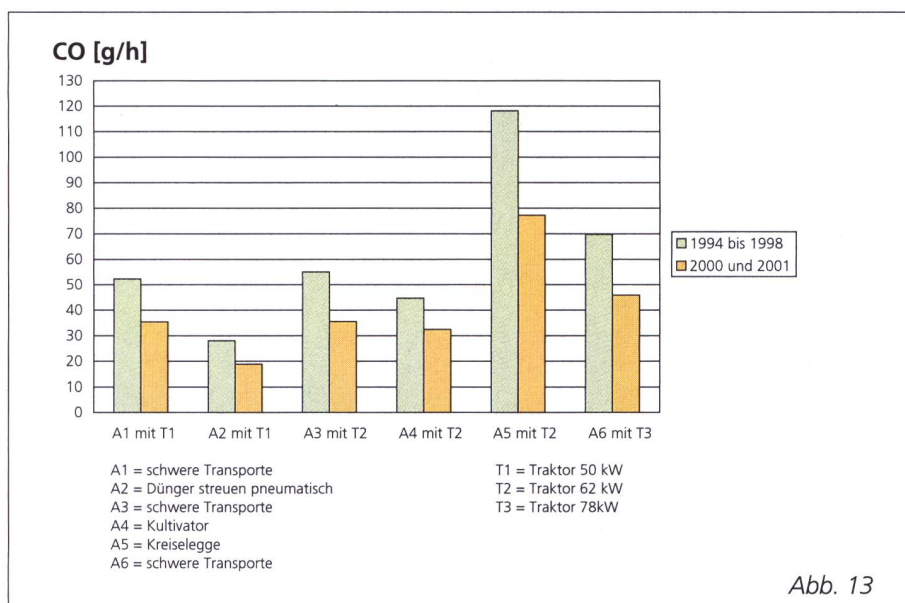


Abb. 13

Die FAT-Berichte erscheinen in zirka 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 50.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: FAT, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen. Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90.

E-Mail: doku@fat.admin.ch – Internet: <http://www.fat.ch> – Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich. – ISSN 1018-502X.

Auf die Plätze – fertig ...



K 618 TWIN –
der Intensivauflbereiter
(auch ohne TWIN lieferbar)

*intensiv-schonend
aufbereiten
und breit streuen ...*

...fertig!

K 517

leicht und
leistungsfähig



auch mit
Breitstreuvorrichtung lieferbar

Fr. 5700.–



Kurmann

Otto Kurmann

6017 Rüediswil-Ruswil

Landmaschinen
Konstruktionswerkstatt
Tel. 041 495 30 00
Fax 041 495 10 28

EGGERS Dynamometer – die starke Verbindung!

HIGH-TECH



Zapfwellenleistungsbremsen von 5–450 kW, computergenau, luftgekühlt,
Direktanzeigen, einfach kalibrierfähig, zukunftsorientiert. Software:
Messmodus und Aufzeichnungen nach DIN 70020-Iso 3046.



Bäurle Agrotechnik

Bäurle Agrotechnik GmbH, Barzingerstrasse 4, 8240 Thayngen
Telefon: +41 52 649 35 13 E-mail: paul.baeurle@baeurle.ch
Telefax +41 52 649 35 87 www.baeurle.ch

Wir sind ein mittlerer Reparatur- und Handelsbetrieb mit verschiedenen Generalvertretungen von Nutz- und Freizeitfahrzeugen im Kanton Aargau. Sind Sie dipl. Landmaschinenmechaniker mit Meisterprüfung oder haben eine ähnliche Ausbildung, dann freuen wir uns auf Ihre Bewerbung als unser neuer

Werkstattchef

Ihr Aufgabengebiet umfasst:

- Betreuung der Kundschaft
- Lehrlingsausbildung
- Organisation der Werkstatt und des technischen Dienstes
- Führung des ganzen Werkstattbetriebes

Zusammen mit dem Betriebsinhaber führen Sie den ganzen technischen Bereich möglichst selbstständig nach den modernsten Kriterien. Wir bieten Ihnen eine interessante, abwechslungsreiche Dauerstelle mit grossen Kompetenzen und entsprechendem Salär.

Gerne erwarten wir Ihre Unterlagen.

Friedli Peter

Bombardier ATV und Doppstadt-Trac-Generalvertretungen

5512 Wohlenschwil/Büblikon, Tel. 056 491 10 75, www.peter-friedli.ch



**Mit denen
gehts rasant
aufwärts**

Rasant. Das sind die rot-weiss-grünen Hang-Geräteträger. Die in jedem Gelände stark sind und vom Mähen bis zum Schneeräumen vielseitig eingesetzt werden können. Es gibt sie in verschiedenen Versionen. Alle mit Allradlenkung. Mit oder ohne Turbo, mit mechanischem oder hydrostatischem Getriebe und vielen andern Qualitäten.

Und mit denen geht's rasant aufwärts. Auch in den Service- und Dienstleistungen. Dahinter steckt eben Aebi. Und Aebi ist bekannt für ihren individuellen Kundendienst, für ihr kompetentes Händlernetz und ihre vorbildliche Infrastruktur mit schnellem Ersatzteilservice.

Sie sehen, die machen auf der ganzen Linie rasante Fortschritte.

Aebi & Co. AG
Maschinenfabrik
CH-3401 Burgdorf
Tel. 034 421 61 21
Fax 034 421 61 51
www.aebi.com
aebi@aebi.com

RASANT

AEBI

Das grösste und vielseitigste Programm für die Schweiz!



Terra-Reifen



ALLIANCE



Universal-Reifen

Implement-Reifen



Pflege-Reifen

www.profi-pneu.ch

Flotation-Reifen



Das Pneu-Programm für Profis!
Verkauf und Beratung bei Ihrem Händler.

PROFI PNEU AG 4553 SUBINGEN
Generalimporteur TEL. 032 614 08 84 FAX 032 614 08 89