

Heinz Weiss und Stephan Nagelschmitz, Mannheim

# Vorentwicklung – Advanced Engineering

## Produktinnovation im Spannungsfeld sich ändernder Märkte und neuer Technologien

*Als der Mensch das Nomadentum aufgab und begann, den Boden planmäßig zu bestellen, hat er sich bereits der Landtechnik bedient und Vorratswirtschaft betrieben. Landtechnik und Landwirtschaft sind somit zwei Errungenschaften, welche das Leben des Menschen nachhaltig verändert haben.*

*Veränderungen der landwirtschaftlichen Produktion hat es zu allen Zeiten gegeben und hier können die Anspannung von Zugtieren oder die Erfindung des Pfluges genannt werden. Prozesse dieser Art werden heute mit dem Begriff Paradigmenwechsel umschrieben.*

Dipl.-Ing. Heinz Weiss war bis zu seiner Pensionierung im August 2001 Manager Advanced Agricultural Tractors bei den John Deere Werken Mannheim. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stephan Nagelschmitz ist Mitarbeiter im Bereich Marketing der John Deere Werke Mannheim und hat als Student der TU Dresden in der Abteilung Advanced Engineering seine Diplomarbeit geschrieben.

### Schlüsselwörter

Produktinnovation, Marktanalyse, Technologiebewertung, Vorentwicklung

### Keywords

Product innovation, market assessment, technology assessment, advanced engineering

Mitte des letzten Jahrhunderts setzte bei Traktoren ein Aufschwung ein und es ist wichtig zu verstehen, was diese Entwicklung ausgelöst hat und warum sie nach 25 Jahren wieder abflachte. Nur wenn dieses Auf und Ab verstanden wird, ist man in der Lage, sich den Herausforderungen zu stellen (Bild 1).

Maschinen werden in der Landwirtschaft als Produktionsfaktor eingesetzt und es ist deshalb erforderlich, den Kundennutzen mit jeder Funktionsverbesserung oder Einführung einer neuen Komponente zu steigern. Was passiert, wenn man dieses Prinzip nicht befolgt, kann in den neuen Bundesländern studiert werden.

Eine kundenorientierte Grundhaltung erfordert eine permanente Anpassung der Organisation eines Unternehmens, um den Wirtschaftsprozess in Gang zu halten. Kurzfristig geht es darum, den Wünschen des Kunden mit akzeptablen Angeboten zu begegnen. Langfristig heißt Kundenorientierung aber auch, zukünftige Kundenwünsche und -bedürfnisse zu antizipieren, um Produktlösungen zum rechten Zeitpunkt bereitzustellen: Product Innovation (Bild 2).

An dieser Stelle muss der Vorstellung entgegengetreten werden, dass Produktideen durch Kundenbefragungen erzielt werden können. Denn das würde bedeuten, dass man die Anspannung von Zugtieren oder die Erfindung des Pfluges hätte voraussagen können. Kundenbefragungen haben aber eine andere Qualität. Sie liefern eine Information darüber, was Kunden von den Produkten und im Vergleich der Konkurrenten halten: Competitive Assessment.

Die Vielzahl heutiger Maschinen und ihre Komplexität stellen hohe Anforderungen an den Landwirt, so dass er mit der Spezifikation seiner Wünsche vor dem Hintergrund neuer Technologien überfordert sein dürfte. Dieses bedeutet aber letztlich, dass die Hersteller entscheiden, was heute zu tun ist, um morgen noch konkurrenzfähig zu sein: Assessment of Markets and Technologies.

Es schließt sich die Phase des Conceptual Design & Feasibility an. Mit Vergabe einer Priorität kann das Projekt in den Strategic Business Plan eingestellt werden. Der Business Plan stellt quasi die Klammer zwischen Advanced Engineering und der Se-

rienentwicklung her. Dieser Abstimmungsprozess benötigt oft viel Zeit und noch mehr Geduld, was man am Beispiel des „Transrapid“ nachempfinden kann.

### Advanced Engineering, was bedeutet das?

Es wurde schon zum Ausdruck gebracht, dass Vergleichsuntersuchungen und Kundenbefragungen keine grundsätzlich neuen Produktideen liefern. Da die Konkurrenz aber auch nicht bereit ist, ihre Marktstrategien und neuesten technologischen Errungenschaften offenzulegen, kann jedes Unternehmen diese Entscheidungen nur in Eigenregie treffen.

Advanced Engineering kann mit dem Schießen auf den laufenden Eber verglichen werden. Richtet man die Flinte ein wenig zu weit voraus, so trifft man den Eber sicherlich nicht, ein zaghaftes Zögern führt aber zum gleichen Ergebnis.

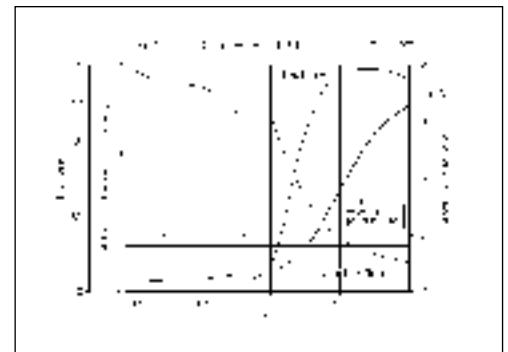


Bild 1: Agrartechnische Forschung und Entwicklung – quo vaditis? [1]

Fig. 1: Agritechnical research and development – quo vaditis?



Bild 2: Aufgaben der Vorentwicklung

Fig. 2: Tasks of Advanced Engineering



Bild 3: Phasen der Produktentstehung

Fig. 3: Phases of product development

Beide Handlungsalternativen sind mit Risiken verbunden, da zum Zeitpunkt der Marktabschätzung die anwendungsbezogenen Fragen oft noch nicht abgeklärt sind. Aber hierin muss die eigentliche Aufgabe der Vorentwicklung gesehen werden: Produktvorschläge mit kalkulierbarem Risiko zu formulieren, so dass diese Vorschläge im Kontext weiter hinterfragt werden können.

Bei der Organisation der Vorentwicklung als fortschreitendem Entscheidungsprozess darf die Rückkopplung mit Marketing oder Arbeitsvorbereitung nicht vergessen werden. Für diese Abstimmungsprozesse sind feste Spielregeln einzuhalten (Bild 3).

### Erarbeitung von Zukunftsperspektiven

#### Beispiele für den sich ändernden Markt

Da bereits ab dem Jahre 1975 ein Abflachen des Traktorenbestandes festgestellt wurde, mussten die Traktorenhersteller sich etwas einfallen lassen, um diesem Trend entgegenzuwirken.

Traktoren haben keine eigene Produktivität und sind deshalb vom Zusammenspiel von Traktor und Gerät abhängig. Dieses ist auch der Grund dafür, dass selbstfahrende Arbeitsmaschinen wie Mähdrescher, Rüben- und Kartoffelroder sowie die selbstfahrende Spritze als Konkurrenten für den Traktor angesehen werden müssen (Bild 4).

In der Tendenz führen alle aufgezeigten Sachverhalte zu einem Rückgang der Traktorverkäufe. Für den „Full Liner“ braucht



Bild 4: Trendaussagen für landwirtschaftliche Maschinen

Fig. 4: Conclusions on the trends of agricultural machinery

Bild 5: Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Agrarunternehmen

Fig. 5: Comparing economics of agricultural enterprises

• Getreideanbauender Betrieb  
 - Größe: 150 [ha] erweitert auf 300 [ha]  
 - durchschnittliche Schlaggröße: 19 [ha]

Quelle: AVORWin, KTBL

	150 ha zusammenhängende Schläge (Schlepper kW 111, 92, 80)	300 ha zusammenhängende Schläge (Schlepper kW 140, 92, 80)	150 ha zusammenhängende & 150 ha verteilte* Schläge (Schlepper kW 140, 92, 80)
Arbeitsstunden	3480 h	3480 h	4969 h
Schlepperstunden	1290 h	1290 h	2569 h
Kraftstoffkosten	19.080 DM	18.600 DM	32.080 DM
Gesamtaufwand	310.000 DM	560.000 DM	666.300 DM
Gewinn	basis: 620.000 DM	+ 90.000 DM	-103.000 DM

\* Entfernung von Hof zum Einstrot: 10 km / von Schlag zu Schlag 5 km

das nicht einmal alarmierend zu sein, wenn an Stelle von zwei kleinen Traktoren ein großer Traktor und ein Mähdrescher verkauft werden können.

### Wandel in der Landwirtschaft und Anpassung der Mechanisierung

Die folgenden Daten wurden in einer Diplomarbeit [2] erarbeitet und beziehen sich auf einen Hof von 150 ha in der Kölner Bucht. Der Beispielbetrieb ist nahezu arrondiert und wird mit drei Traktoren unterschiedlicher Größe bewirtschaftet. Alle anderen Daten für den Systemvergleich wurden entsprechend dem Traktorbesatz aus KTBL-Modellen entnommen und mit der Simulationssoftware AVORWin berechnet.

Die Gesamtkosten für die Variante 1 belaufen sich auf 310 000 DM. Um dieses Ergebnis mit dem Durchschnittshof von 300 ha in den neuen Bundesländern besser vergleichen zu können, würden die Betriebskosten auf 620 000 DM hochgerechnet (Bild 5).

Für Variante 2 wurde eine arrundierte Fläche von 300 ha angenommen und die Leistung des größten Traktors von 111 auf 149 kW angehoben. Für diese Leistung wurden wiederum die Daten der zugehörigen Geräte aus der KTBL-Datenbank entnommen. Im Vergleich zur Variante 1 ergab sich hier eine Kosteneinsparung von 60 000 DM.

Diese Kosteneinsparung ist jedoch insofern nicht real, als die zusätzliche Fläche von 150 ha nicht arrondiert zur Verfügung gestellt werden kann. Die Ergebnisse von Variante 3 berücksichtigen deshalb die zusätzlichen 150 ha in Streulage mit einer mittleren Entfernung von 10 km vom Hof bis zum Feld. Hierbei ergaben sich gegenüber Variante 2 Mehrkosten von 100 000 DM.

Da diese Kostenerhöhung auf die zusätzlich erbrachte Transportleistung zurückzuführen ist, kann geschlossen werden, dass im landwirtschaftlichen Transport ein zusätzliches Potenzial für Traktorverkäufe liegt.

### Ziele für die Weiterentwicklung eines Traktors

Die Wünsche der landwirtschaftlichen Kunden lassen sich grob auf drei Basisanforderungen zurückführen (Bild 6).

#### • Steigerung der Produktivität

Da der Traktor alleine keine Produktivität erzeugt, kann eine Produktivitätssteigerung

nur im Zusammenspiel mit dem Gerät erreicht werden. In Anbetracht der Vielzahl der Geräte soll der Fokus jedoch auf die Schnittstelle von Traktor und Gerät gerichtet werden. Hierbei kann gesagt werden, dass die Dreipunkt Hitch von Ferguson nach 75 Jahren einen würdigen Nachfolger gefunden hat.

Die Hexapod Hitch ist ein Entwicklungsergebnis, welches im Rahmen des Projektes: „Entwicklung neuer Strukturkonzepte für Ackerschlepper“ in Zusammenarbeit von den John Deere Werken Mannheim und dem Lehrstuhl für Landmaschinen der TU Dresden erzielt wurde und noch erarbeitet wird.

Die Hexapod Hitch erfüllt hierbei alle obigen Basisanforderungen und gestattet eine vereinfachte Bedienung bis hin zum automatischen An- und Abkoppeln der Geräte. Durch die Regelung des Zugpunktes können Wirkungsgradverbesserungen und Produktivitätssteigerungen erzielt werden.

Zusätzlich gestattet die Kontrolle des Zugpunktes eine Beeinflussung der Achslasten, so dass bei Reduzierung der Ballastgewichte und in Verbindung mit automatischer Luftbefüllungsanlage eine Reduzierung der Bodenverdichtung erreicht werden kann.

#### • Erhöhung des Komforts

Wegen der zu erwartenden Steigerung der Arbeitsstunden pro Tag und Jahr wächst der Wunsch der Fahrer nach einer Verbesserung des Fahr- und Bedienkomforts und einer Reduzierung der körperlichen Belastung.

Die heutige Elektronik gestattet vielfältige Möglichkeiten bis hin zu autonom fahrenden landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen. Zwei Neuigkeiten der Agritechnica 2001 werden im Folgenden angesprochen.

Auf dem Stand der Firma Same wurde eine niveaugeregelte Kabinenplattform ge-

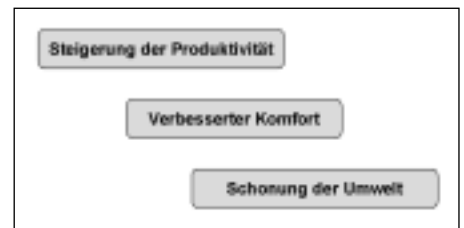


Bild 6: Basisanforderungen an Traktoren

Fig. 6: Basic requirements for agricultural tractors

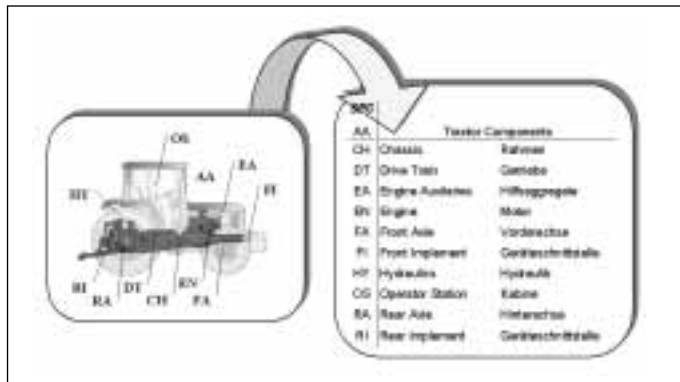


Bild 7: SFC Basisstruktur eines Traktors

Fig. 7: SFC basic structure of tractors

zeigt, welche es im Unterschied zur gefeder-ten Kabine gestattet, die Plattform bei Berg-und Talfahrt und bei Fahrten am Hang weitgehend waagrecht auszurichten. Da Rückenschmerzen beim Landwirt als Berufs-krankheit anzusehen sind, wird der ver-besserte Sitzkomfort von den Kunden be-reitwillig angenommen werden.

Von John Deere wurde auf der Agritechni-ca das stufenlose „AutoPowr“ Getriebe, oder besser gesagt, ein nahtlos schaltendes hydro-mechanisches Getriebe vorgestellt. Das Ge-triebe ist eine gemeinsame Entwicklung der John Deere Werke Mannheim und der Zahn-radfabrik Friedrichshafen, wobei die Vor-wahlschaltung des Getriebes in Mannheim entwickelt wurde. ZF liefert das Ecom-Ge-triebe auch an die Firma Deutz.

• **Schonung der Umwelt**

Die automatische Einstellung eines optima-len Luftdrucks der Reifen beim Wechsel von der Straße auf das Feld und umgekehrt, die Reduzierung der Ballastgewichte des Trak-tors durch Regelung der Hexapod Hitch, die Kontrolle der Achslasten und der Geräte-führung zeigen, dass „Schutz der Umwelt“ keine leeren Worte sind.

**Vorbereitungen für die Neukonzeption eines Produktes**

*Strukturierung des Traktors in modulare Baugruppen*

Die Organisation eines Traktors mit einer

Vielfalt von Funktionen und die Beherr-schung einer großen Anzahl von Varianten und Optionen stellt eine große Herausforde-rung für den Hersteller dar (Bild 7). Für die-jenigen, welche die Getriebe- und Traktormontage in Mannheim noch nicht besuchen konnten, kann das Grundprinzip wie folgt zusammengefasst werden:

- Strukturierung des Traktors in Vormonta-gen und deren Zusammenführung zu höhe-ren Montageeinheiten,
- Montage von Traktorkomponenten und de-ren Bereitstellung am Traktormontage-band,
- Montage von unterschiedlichen Modellen im Mixed und für Vorserien und Pilotbau-ten.

Die Montage von Teilen zu Komponenten stellt das Organisationsprinzip dar, welches von der Herstellung bis zur Reparatur eines Traktors durchgehalten werden kann. Mit Aufstellung der Kostenliste eines Ver-gleichstraktors bedient sich auch die Vorent-wicklung dieser Vorteile. Für die Abstimm-ung der Funktionen und Kosten stellen die SFC – Structured Functional Codes eine Messlatte dar.

Alle Komponenten, die nicht geändert werden, brauchen zunächst nicht weiter betrachtet zu werden, und für die Kompo-nenten, welche neu zu konzipieren oder ab-zuändern sind, liegen bereits erste Orientie-rungsdaten vor.

Im Falle des Wechsels von der Dreipunkt Hitch zur Hexapod Hitch oder beim Über-gang von einem Schaltgetriebe zu ein-em stufenlosen Getriebe waren gewisse Anpassungen der SFC Struktur erforderlich.

Bild 11: Modulare Struktur der elektrischen Einzelradantriebe

Fig. 11: Modular structure of electric single wheel drives

*Schrittweises Herausfiltern der jeweils besten technischen Variante*  
Aus dem bisher Gesagten können grob fol-gende Spezifikationen für ein zukünftiges Getriebe abgeleitet werden.

- Maximalgeschwindigkeit 50 km/h und höher
- Geschwindigkeitseinstellung von 0 km/h bis maximal stufenlos
- in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung
- Geschwindigkeitsverstellung wie bei „AutoPowr“
- Allraddifferential

Entsprechend diesen Vorgaben lassen sich detaillierte Vergleichskriterien für alle Ge-triebevarianten aufstellen, mit den Metho-den der Nutzwertanalyse gewichten und je Einzelkriterium und Variante bewerten. Die Aufsummierung der Punkte führt zum ge-wünschten Systemvergleich (Bild 8).

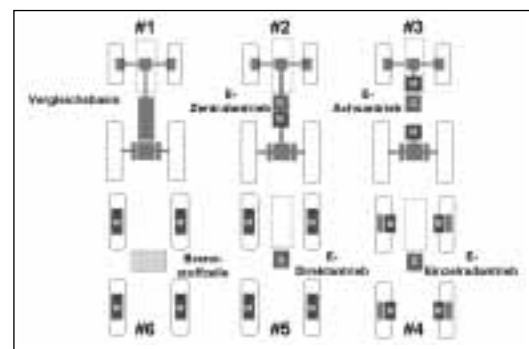


Bild 9: Mögliche Alternativen für Elektrofahrzeuge

Fig. 9: Possible alternatives for electric vehicles

	Punktwert	Punktwert & Aufwand
- ESD Elektro - Einzelradantrieb	8,7	8,8
- E - Achsantrieb	7,7	7,8
- E - Zentralantrieb & Differential	4,5	3,9
- E - Zentralantrieb mit abschaltbarem MFWD	2,5	3,6

Bild 10: Nutzwertanalyse elektrischer Antriebs-systeme

Fig. 10: Value Analysis on electric drive systems

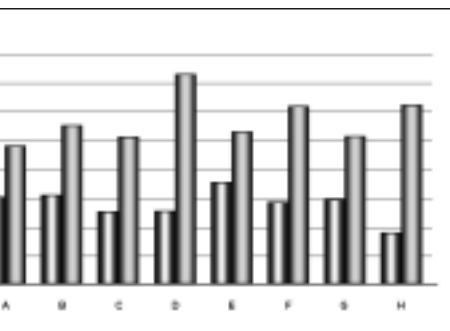
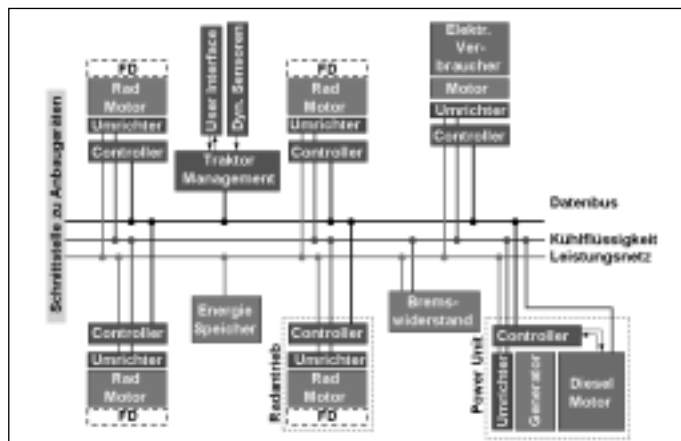


Bild 8: Nutzwertanalyse stufenlos verstellbarer Antriebe

Fig. 8: Value Analysis on infinitely variable transmissions



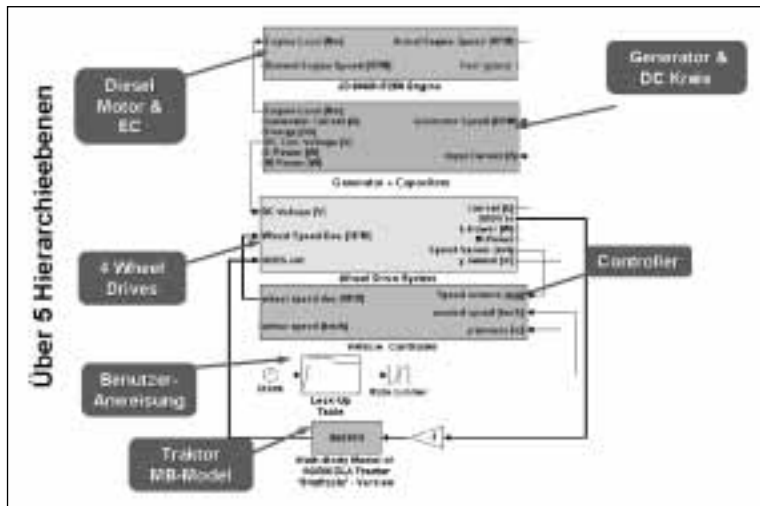


Bild 12: Antriebsstrang – Regelung

Fig. 12: Drive train control

Da Elektrogetriebe die höchste Punktzahl erreicht haben, musste die Eignung dieser Getriebe für Traktoren weiter untersucht werden. Hierbei ergab sich zunächst die Frage, unterschiedliche Elektro-Antriebe zu unterscheiden (Bild 9).

Fasst man zur Vereinfachung der Analyse Verbrennungsmotor und Generator zu einer zentralen Leistungseinheit zusammen, da diese für alle Varianten gleich sein kann, so lassen sich drei Elektroantriebe unterscheiden: Zentralantrieb mit einem Motor, Vorder- und Hinterachsantrieb mit je einem Motor und vier Motoren für die Einzelradantriebe. Für diese Varianten wurde eine weitere Nutzwertanalyse mit folgendem Ergebnis durchgeführt (Bild 10).

Untersuchungen für Militärfahrzeuge führten zu dem gleichen Ergebnis, dass der Einzelantrieb der Räder und Nebenaggregate einschließlich Kanone die beste Lösung darstellt. Das Getriebe wird hierbei um die Fahrzeugdifferentiale und Achsantriebe erweitert und zwischen Verbrennungsmotor und den Rädern plaziert.

Durch Vorgabe und Überwachung der Drehzahl jedes Rades können alle Betriebszustände einschließlich die der Differentiale geregelt werden. Zur vergleichenden Beurteilung der Getriebevarianten wurden Nutzwertanalysen über fünf Ebenen durchgeführt.

Jeder Radantrieb besteht aus einem Controller, einem Frequenzumrichter, dem Radmotor und eventuell einem Endantrieb. Diese Antriebseinheit stellt eine autarke Funktionseinheit dar, welche ihre Kommandos über den Kommunikationsbus vom Fahrzeugmanagement erhält (Bild 11). Zusätzlich wird jede Einheit über ein zentrales Leistungsnetz mit Strom versorgt und an den Kühlkreislauf und sonstige Hilfseinrichtungen angeschlossen.

**Modellierung des Traktor-Gesamtkonzeptes**  
Um Aussagen über die Funktionsfähigkeit eines Traktors zu erhalten, wurde der Traktor als Multibody Modell modelliert und alle Einzelfunktionen mit Matlab / Simulink programmiert und simuliert (Bild 12). Die Simulationsergebnisse wurden auf einem Prüfstand der TU Dresden verifiziert (Bild 13).

Ein Einzelergebnis der Simulation soll im Folgenden am Beispiel des Wendekreises dargestellt werden (Bild 14).

**Zusammenfassung und Ausblick**

Für einen schnell laufenden Traktor mussten die Fahrzeuganforderungen in mehrfacher Hinsicht erweitert oder neu definiert werden, um dem Landwirt in Zukunft ein geeignetes Transportsystem zur Verfügung zu stellen.

Da der Standardtraktor mit Frontlader bereits durch den Tele-Handler in Frage gestellt wurde, stellt eine weitere Plattformer-

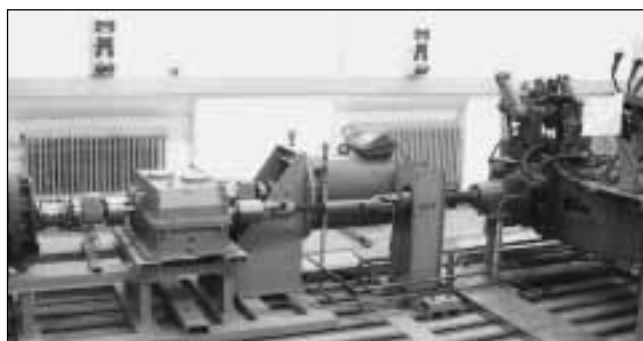


Bild 13: Getriebeprüfstand der TU Dresden

Fig. 13: Transmission test bench of the TU Dresden

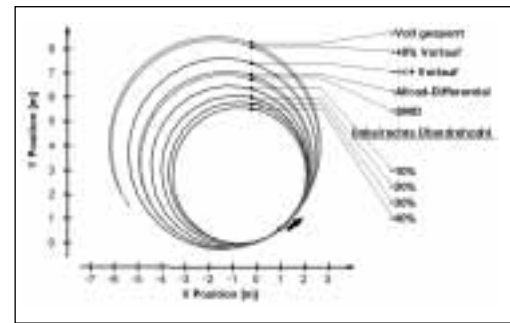


Bild 14: Trajektorien des geometrischen Traktor-zentrums

Fig. 14: Trajectories of the geometric tractor center

weiterung in Richtung eines schnelllaufenden Trac-Traktors nur einen logischen Schritt dar.

Hinweise, dass dem Systemtraktor bisher kein nachhaltig wirtschaftlicher Erfolg beschieden war, wurden ernst genommen, kritisch überprüft, aber letztlich als nicht stichhaltig eingestuft, da kein „Neuaufguss des MB-Trac“ vorgeschlagen wird, sondern eine Weiterentwicklung auf Basis von neuen Technologien. Es kann hierbei von einem Paradigmenwechsel gesprochen werden, da die Funktionalität des Traktors gleich in mehrfacher Hinsicht verändert wird. Zum Schluss noch ein nostalgischer Rückblick (Bild 15). Die gezeigte Kutsche mit elektrischem Vorderradantrieb wurde von Ferdinand Porsche vor 100 Jahren auf der Weltausstellung in Paris ausgestellt und in mehr als 300 Exemplaren gebaut.



Bild 15: Elektromobil, Paris, Expo 1900

Fig. 15: Electromobile, Paris, Expo 1900

**Literatur**

[1] Sommer, C. und H. Schön: Agrartechnische Forschung – quo vadis? VDI Berichte 1356, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997, S. 3  
[2] Nagelschmitz, St.: Marktbedürfnisse und Technologiepotentiale als Bestimmungsfaktoren der Konzeptneuentwicklung eines Traktors – Eine Analyse auf Basis von Expertenstudien. Diplomarbeit, TU Dresden, 2000