

Strategiekonzept

**Thema: Arbeitsausrüstungen mit parallelkinematischen
Strukturen für Mobile Arbeitsmaschinen
(Kurztitel: Hexapod-MOBIMA)**

für das Förderprogramm „ForMaT“ (Forschung für den Markt im Team) als
Bestandteil der BMBF-Innovationsinitiative Neue Länder „Unternehmen
Region“

FKZ: 03FO3181

Antragsteller: Technische Universität Dresden

Ausführende Stellen:

Projektleitung
Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Kunze
Professur für Baumaschinen- und Fördertechnik
Technische Universität Dresden
Münchner Platz 3
01069 Dresden
Telefon: 03 51 / 46 33 35 11
Email: guenter.kunze@tu-dresden.de

Dresden, 31.03.2010

Technische Universität Dresden

Der Kanzler

Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Kunze

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Begriffsbestimmungen	III
1 Einleitung und Ziel	1
1.1 Stand der Wissenschaft und Technik zu Parallelmechanismen	1
1.2 Identifikation von Anwendungen in der Zielbranche	2
2 Bewertung der wirtschaftlichen Bedeutung und potentiellen Kunden	4
2.1 Stand der Technik zur Arbeitsausrüstung am Beispiel Radlader und Vorstellung der neuen Technologie	5
2.2 Aufstellen der Bewertungskriterien für die Nutzwertanalyse.....	11
2.3 Ermittlung des Nutzwertes und Zusammenfassung.....	12
3 Wirtschaftliche Bewertung	14
3.1 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen der Technologie	14
3.1.1 Marktvolumen und -potential	14
3.1.2 Marktbesetzung.....	15
3.2 Betriebswirtschaftliche Verwertungsstrategien.....	16
3.2.1 Ausgründung / Joint-Venture.....	16
3.2.2 Kooperation.....	17
3.2.3 Lizenzvergabe / Schutzrechtsverkauf	18
3.2.4 Analyse der Verwertungsoptionen.....	18
3.3 Wertschöpfungskettenuntersuchung	20
3.3.1 Zulieferlogistik.....	21
3.3.2 Montage	22
3.3.3 Vertrieb	23
3.3.4 Begleitende Prozesse	23
4 Innovationslabor Hexapod-MOBIMA	24
4.1 Struktur.....	24
4.1.1 FOG 1: Funktionsstrukturen	25
4.1.2 FOG 2: Steuerung und Regelung.....	25
4.1.3 FOG 3: Hydraulik	25
4.2 Projektverzahnung und Prozessüberwachung.....	26
4.3 Arbeitsprogramm	26
4.3.1 AP1: Wirtschaftliche Betrachtung.....	27
4.3.2 AP2: Betriebswirtschaftlich / technische Variantenbewertung	27
4.3.3 AP3: Konzeptentwicklung	28

4.3.4	AP4: Schnittstelle Mobile Arbeitsmaschine	28
4.3.5	AP5: Aufbau stationärer Prüfstand	28
4.3.6	AP6: Vergleichende Eigenschaftsanalyse	28
4.3.7	AP7: Kinematische Optimierung	28
4.3.8	AP8: Versuchsträgeraufbau	29
4.3.9	AP9: Felderprobung des Versuchsträgers.....	29
4.3.10	AP10: Untersuchung der Markttauglichkeit	29
4.3.11	AP11: Berichte / Kolloquium	29
4.4	Erklärungen zu den Meilensteinen.....	29
4.5	Innovationskultur	30
5	Kostenplanung.....	31
6	Zusammenfassung.....	32
	Quellenverzeichnis.....	33

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
CAN	Controller Area Network – asynchrone, serielle Bussystem
FG	Freiheitsgrad
FOG	Forschergruppe
LoI	Letter of Intent (Absichtserklärung / Interessensbekundung)
PatG	Patentgesetz
QFD	Quality Function Deployment
TN	Teilnutzwert
ZEF	Zielerreichungsfaktor

Begriffsbestimmungen

Hexapod	Unter Hexapod versteht man ein räumliches Getriebe mit sechs Aktuatoren. Diese Konstruktion besitzt ein Bewegungsübertragungsverhalten in sechs Freiheitsgraden (3 translatorische, 3 rotatorische)
Hexapod-Manipulator	Die Anwendung eines Hexapod als mechatronisches System zur Realisierung definierter Prozessbewegungen durch Steuerung / Regelung auf Mobilien Arbeitsmaschinen
Endeffektor	Bauteil des Parallelmechanismus zur Verrichtung der Arbeit, entspricht dem Arbeitswerkzeug einer Mobilien Arbeitsmaschine
X-Achse	Achse in Längsrichtung (Fahrtrichtung)
Y-Achse	Achse in Querrichtung
Z-Achse	Achse in Hochrichtung (Vertikalrichtung)

1 Einleitung und Ziel

Das Projekt HEXAPOD-MOBIMA ergründet und entwickelt in der ForMaT-Phase I die technische und wirtschaftliche Verwertung von Parallelmechanismen für die Zielbranche der *Mobilen Arbeitsmaschinen* (Traktoren, Radlader, Bagger, Krane u. a. mit jährlich rd. 20 Mrd. € in Deutschland).

1.1 Stand der Wissenschaft und Technik zu Parallelmechanismen

Ein Parallelmechanismus in Form des Hexapods ist ein räumliches Getriebe mit sechs Aktuatoren (z.B. Hydraulikzylinder). Es verbindet einen Endeffektor mit einer Basisplattform und erlaubt aufgrund seiner topologischen Eigenschaften sowie Regelbarkeit ein besonderes Bewegungs- und Übertragungsverhalten. Dabei spielen die maximal erzielbaren sechs Freiheitsgrade (3 translator. und 3 rotator. FG -**Video_1** unter <http://141.30.177.51/hexapod/> **Benutzername: tud** **Kennwort: format**) eine besondere Rolle. Das wird durch die gezielte parallele Anordnung der Aktuatoren erreicht, was sich von den üblichen seriellen Mechanismen dieser Maschinen (nur 2 FG) deutlich unterscheidet. Nachstehend werden die damit verbundenen Eigenschaften aufgezählt:

- mehr Bewegungen in 6 FG mit neuen Prozessfunktionen und Automatisierungspotential
- hohe Steifigkeit in der kinematischen Struktur (nur Zug- und Druckkräfte)
- hohe Prozesskräfte und -geschwindigkeiten bei kompakten und leichten Strukturen
- modulare Gestaltungsfreiheit
- Energieeffizienz durch Leichtbau.

Es wird momentan weltweit an Parallelmechanismen für die Fertigungstechnik geforscht, z.B. [Wie00] [Kau06]. Eine Übertragung auf *Mobile Arbeitsmaschinen* ist nicht möglich, weil es große Unterschiede in den kinematischen Strukturen und deren Rückwirkung auf Gelenkkräfte, Gelenkspiele sowie Positioniergenauigkeiten gibt. Während es bei Werkzeugmaschinen um Positioniergenauigkeiten von 1/1000 mm geht, ist sie im cm-Bereich bei *Mobilen Arbeitsmaschinen* ausreichend.

Einen höheren Anteil an Wissenstransfer vermag [Fed05] zu liefern. Der dort entwickelte und getestete Hexapod-Mechanismus für die Geräteschnittstelle zwischen Ackerschlepper und Anbaugerät hat bereits gezeigt, dass die beabsichtigten Innovationen ohne Grundlagenforschung bei Sensoren, Aktuatoren, Steuerungen und Gelenken auskommen. Lediglich die mathematische Lösung zur Steuerung von parallelen Mechanismen in Form direkter oder inverser Koordinatentransformation kann auf dieses Forschungsvorhaben übertragen werden.

1.2 Identifikation von Anwendungen in der Zielbranche

Im Rahmen der Screening-Phase wurden Analysen über die Verwendung der Parallelmechanismen an *Mobilen Arbeitsmaschinen* durchgeführt. Es handelt sich hier um Maschinen, die in der Regel unter Offroad-Bedingungen Fahrbewegungen ausführen und dabei immer einen Arbeitsprozessen zu erfüllen haben. Für Parallelmechanismen konnten mehrere Lösungen identifiziert werden. Nach Anwendungen geordnet werden unterschieden:

- A** Parallelmechanismus als **Arbeitsausrüstung** in der Ausführung eines **Hexapod-Manipulators**, insbesondere bei Radladern, Hoftraktoren und Gradern (Bild 3)
- B** Parallelmechanismus zur **Federung/Dämpfung und Lageverstellung** von Kabinen und Bedienständen (Bild 1a)
- C** Parallelmechanismus als **Lenkeinrichtung und Gelenk** in der Ausführung einer Knicklenkung mit homokinetischen Eigenschaften (Bild 1b).

Im Vorgriff auf die technisch/wirtschaftlichen Analyseergebnisse wird empfohlen, die Anwendung **A** in einer ForMaT-Phase II umzusetzen.

Es hat sich aber gezeigt, dass auch die Anwendungen **B** und **C** ein deutlich erkennbares Innovationspotential aufweisen. So erkennt der in Deutschland ansässige Marktführer für Kabinen *Mobiler Arbeitsmaschinen* die immer höheren Ansprüche an den Fahrkomfort mit neuartigen Parallelmechanismen nach Anwendung **B** als lösbar¹. Diese Auffassung wird auch von den zutreffenden Komponentenherstellern (Federn/Dämpfer/Sitze) vertreten². Sie wird damit begründet, dass die „Einstellung“ des Fahrkomforts zukünftig an vielfältige Gelände- und Maschinenbedingungen (z.B. Beladezustand) automatisch angepasst werden muss. Das setzt nicht nur neuartige Sensorik, sondern auch Aktorik mit Wirkungen in 6 FG voraus. Gleichzeitig würde das auf räumliche Federung und Dämpfung ausgerichtete Hexapod zusätzlich in der Lage sein, die Lageposition von Kabinen oder Bedienständen in 6 FG anzupassen (z.B. beim Arbeiten unter Hangneigung).

Vergleichbares Potential wird in der Anwendung **C** gesehen. Knicklenk- und homokinetische Gelenkmechanismen zwischen den sogenannten Vorder- und Hinterwagen einer *Mobilen Arbeitsmaschine* sind nach dem Stand der Technik getrennt ausgeführt.

¹ Der führende Kabinenhersteller FRITZMEIER SYSTEMS GmbH reichte einen Letter of Intent zu dieser Untersuchung ein.

² Gespräche mit Firma CLAAS und HYDAC INTERNATIONAL GmbH im Rahmen der Screening-Phase.



Bild 1: Anwendungen von Parallelmechanismen

- a) Hexapod zur Federung/Dämpfung und Lageverstellung für Kabinen oder Bedienstände
- b) Hexapod als Lenkeinrichtung und Gelenk am Beispiel Radlader

Es wird erwartet, dass deren gestalterische Zusammenführung sowohl funktionelle als auch kostenseitige Vorteile verbergen. Für den Gelenk-Bewegungsausgleich kommen z. Zt. vulkanisierte Gummi-Metallverbindungen zur Anwendung. Sie durch hydraulische Feder/Dämpfer mit aktiven Eigenschaften in Lenkfunktionen einzubinden, stellt den neuartigen technischen Ansatz dar. Diese Anwendungen treffen auf eine Zielbranche, bei der der Parallelmechanismus nach Serienbedingungen produziert wird und man allein für das Beispiel Radlader auf einer jährlichen Produktion von rd. 20.000 Stück in Deutschland aufbauen kann. Die neuen Strukturen werden das technische Verständnis gewohnter Lösungen gründlich infrage stellen. Da der Bezug zum Arbeitsprozess aus Anwendung **A** ein höheres Innovationspotential besitzt als der Komfortgewinn aus den Anwendungen **B** und **C**, rückt diese in den Mittelpunkt dieses Strategiekonzepts. Dennoch wird empfohlen, die ForMaT-Phase II zu nutzen, um parallel zu den konkreten Entwicklungen an der Anwendung **A** in einer Teilaufgabe auch die wirtschaftlichen Aspekte zu den Anwendungen **B** und **C** zu analysieren. Auf diese Weise würde ein erneutes Screening-Ergebnis entstehen. Bei diesem Vorgehen sind die Gemeinsamkeiten (Synergie) aus der „Parallelkinematik“ von besonderem Nutzen. Der Hexapod in der Anwendung **A** stellt ein komplexes mechatronisches System dar.

Die Funktionen in solchen Systemen werden in drei Kategorien gefasst [Wal97]:

- **Kinematische Funktionen** (funktionsabhängiger Bewegungsmechanismus)
- **Dynamische Funktionen** (Kräfte und Antriebsverhalten)
- **Mechatronische Funktionen** (funktionsabhängige Regelalgorithmen/Sensorik).

In dieser Funktionalität wird das Gesamtsystems von einer gewissen „Intelligenz“ geprägt. Sie garantiert, dass im Innovationspotential auch Lösungen zur Energieeffizienz, Bedienungs-freundlichkeit und Arbeitssicherheit enthalten sind.

2 Bewertung der wirtschaftlichen Bedeutung und potentiellen Kunden

Bereits im Jahre 2007 fand ein Anwendertreffen mit neun Vertriebsgesellschaften und einem Hersteller von Radladern an der TU Dresden statt. Das wichtigste Anliegen bestand darin, die Einblicke in die Technik der Parallelmechanismen zu vermitteln. Dabei wurde die an der TU Dresden entwickelte Geräteschnittstelle eines Ackerschleppers auf der Basis eines Hexapod-Systems vorgeführt [Fed05]. Die Anwender waren sich einig, dass ein solches System mit 6 FG auch für Radlader mit der Anwendung **A** entwickelt werden sollte. Dabei wurde aus der vermittelten Marktakzeptanz und Attraktivität die Anregung zu den begonnenen Arbeiten gegeben. Wegen der sich in der Zielbranche besonders auswirkenden Wirtschaftskrise kam es zu keinen weiteren Untersuchungen.

Im Rahmen des Screening wird nunmehr eine technische Machbarkeit untersucht, die sich mit funktionellen und gestalterischen Konzepten befasst und diese mittels einer Nutzwertanalyse nach heutigen Markanforderungen bewertet. Auf diese Weise wird in einer geschlossenen Form Folgendes erreicht:

- Darstellung der zu bewertenden Lösungen aus dem Markt (Markanalyse)
- Nutzen über den Zielerreichungsfaktor
- objektive Darstellung der technischen Originalität.

In der Nutzwertanalyse werden für die Anwendung **A** am Beispiel Radlader eine **konventionelle Arbeitsausrüstung**, eine **Arbeitsausrüstung mit Schwenkvorrichtung** und die neue Lösung für eine **Arbeitsausrüstung mit Hexapod-Manipulator** vorgestellt und in einem Zielsystem nach Rangfolge untereinander bewertet. Der große Vorteil, den die Nutzwertanalyse für das Strategiekonzept bietet, liegt nicht nur in der Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Entscheidungsfindung begründet. Er liegt auch darin, dass die Kriterien und Argumente, welche letztendlich eine Entscheidung bestimmen, einer genauen Prüfung unterzogen werden. Dies führte zu neuen Erkenntnissen während des Entscheidungsprozesses. Aufgrund der Zahlendarstellungen wird darüber hinaus eine Vergleichbarkeit hergestellt, die ohne diese Methode nicht gegeben ist [Zan76] [Bec78]. Um eine höhere Objektivität zu erreichen, wurde die Bewertung von mehreren Personen wie folgt unabhängig voneinander vorgenommen:

- von Mitgliedern des Konzeptteams der ForMaT-Phase I
- von dem repräsentativen Hersteller, Fa. KRAMERALLRAD GmbH (DI Passauer/Entwicklung)
- von dem repräsentativen Hersteller, Fa. WEIDEMANN GmbH (DI Petkau/Entwicklung, DI Drawe/Vertrieb)
- von der Vertriebs- und Servicegesellschaft (Anwenderbezug), Fa. INDUSTRIE- u. LANDTECHNIK GmbH (DI Eckoldt/Inhaber).

Die Wahl der Personen zur Bewertung bezieht sich auf die Grundbereiche der Wertschöpfungskette (Bild 5), wobei das Konzeptteam die Technologieentwicklung darstellt. Die Vergabe der Punkte (Ermittlung der Zielerreichungsfaktoren) wird in der vollständigen Nutzwertanalyse mit einer umfangreichen Begründung in Form der Tabellen dokumentiert. Um den Rahmen des Strategiekonzepts durch deren Umfang nicht zu sprengen, wird das Ergebnis der Nutzwertanalyse in gekürzter Form dargestellt. Die Vorgehensweise besteht aus systematischen, genau definierten Schritten, wie

1. Beschreibung der zu vergleichenden Varianten (Kapitel 2.1)
2. Aufstellen der Bewertungskriterien (Kapitel 2.2)
3. Ermittlung der Gewichtungsfaktoren (nach REFA [MDI09])
4. Ermittlung der Zielerreichungsfaktoren
5. Ermittlung der Nutzwerte (Kapitel 2.3).

Die vollständige Nutzwertanalyse hat einen Umfang von 40 Seiten und kann auf Wunsch bereitgestellt werden.

2.1 Stand der Technik zur Arbeitsausrüstung am Beispiel Radlader und Vorstellung der neuen Technologie

1) Konventionelle Arbeitsausrüstung

Die Arbeitsausrüstung des Radladers nach Bild 3a besitzt nur zwei FG (Vertikalbewegung und Drehung um die Querachse). Zusätzliche Arbeitsbewegungen an der Ladeschaufel (Endeffektor) sind nur durch Lenken und Fahren oder durch erweiterte Aktorik (z.B. Schwenk-, Kipp-einrichtungen) möglich.

2) Arbeitsausrüstung mit der Schwenkvorrichtung

Der Schwenklader stellt eine Bauvariante des Radladers dar, s. Bild 2. Für einen zusätzlichen FG (Drehen in vertikaler Achse) muss die Arbeitsausrüstung am Vorderwagen auf einem Drehkranz gelagert werden und bedarf eines separaten Antriebs. Die große Anzahl an zusätzlichen Bauteilen und die Veränderung des konstruktiven Grundkonzeptes lassen einen hohen Herstellungsaufwand für den Gewinn eines zusätzlichen FG erkennen. In Deutschland werden solche Ausführungen von den Firmen AHLMANN, PAUS und TEREX hergestellt. Der schwenkbare Hubarm ermöglicht das Arbeiten in einer Spur, was sich besonders durch kurze Fahrwege, geringe Bodenbelastung und minimale Verkehrsbehinderung bezahlt macht.

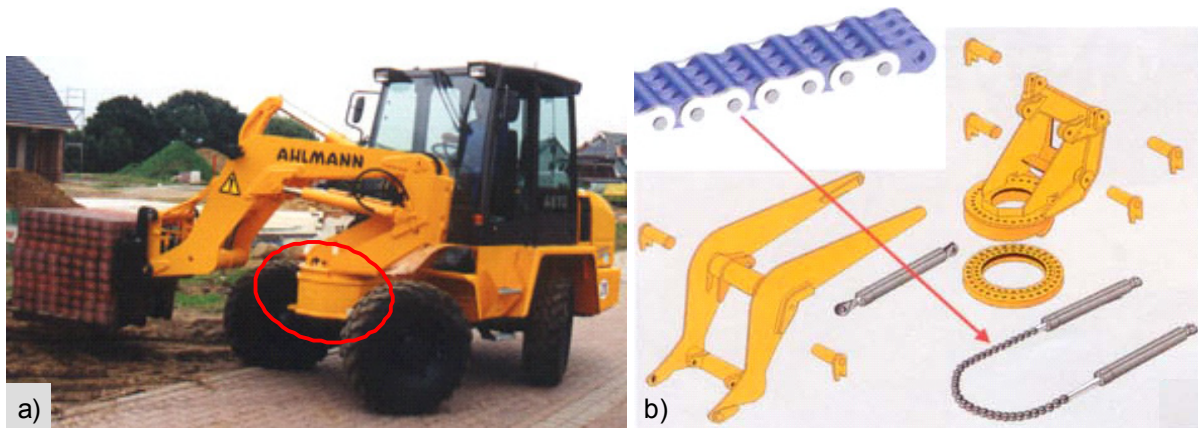


Bild 2: Arbeitsausrüstung mit zusätzlicher Schwenkvorrichtung [AHL10]

- a) Lage der Schwenkvorrichtung an der Arbeitsmaschine
- b) Explosionsansicht der Schwenkvorrichtung

Um die Kipplast zu erhöhen, ist der Rahmen des Schwenkladers einteilig und starr ausgeführt. Dazu müssen die Achsen mit einer Achsschenkelenkung ausgestattet werden und unabhängig voneinander über eine gesonderte Steuerung verfügen. Dieses Rahmenkonzept ist kostenintensiver im Vergleich zur knickgelenkten Ausführung einer Maschine.

Der Vollständigkeit wegen sei erwähnt, dass den Stand der Technik auch Arbeitsausrüstungen mit Teleskopausleger bestimmen. Mit dieser Bauvariante werden 4 FG erzielt.

Marktübersicht als Schlussfolgerung zum Stand der Technik

Alle nach dem Stand der Technik angebotenen Arbeitsausrüstungen von Radladern basieren auf seriellen Mechanismen. Im Ergebnis der Aufwandsanalyse [TUD10] werden diese Konstruktionen als aufwändig, schwer und kostenintensiv beurteilt. Das Kundenbedürfnis nach mehreren FG wegen funktioneller Erweiterung ist deutlich erkennbar. Es wird bestätigt, dass ein Hexapod-Manipulator den Anforderungen der Nutzer und Hersteller gerecht wird. Diesen Nachweis schafft die Aufwandsanalyse [TUD10] auch für den Teleskop-Schwenklader mit 4 FG.

3) Neue Lösung für Arbeitsausrüstungen mit Hexapod-Manipulator

Im Bild 3b wird die neue Arbeitsausrüstung mit Hexapod-Manipulator vorgestellt. Durch eine parallele Anordnung der Aktoren (Hydraulikzylinder) besitzen Hexapode, verglichen mit seriellen Mechanismen, ein besseres Masse-Leistungsverhältnis. Die dadurch erzielbaren 6 FG machen es möglich, die Ladeschaufel (Endeffektor) zielsicherer im Arbeitsprozess zu bewegen. Auf diese Weise ergeben sich völlig neue Prozesse: Beladen im Stand oder seitliches Auskippen u. a. Mit den Aktoren lassen sich nicht nur höhere Kräfte sondern auch höhere Arbeitsgeschwindigkeiten auf diese Weise realisieren, weil die Arbeitsausrüstung zu einem räumlichen „Stabwerk“ mit hoher Steifigkeit wird. Die gleiche Bauart aktiver oder passiver Aktoren wirkt sich günstig auf die Herstellkosten und die Variantenmodularität aus.

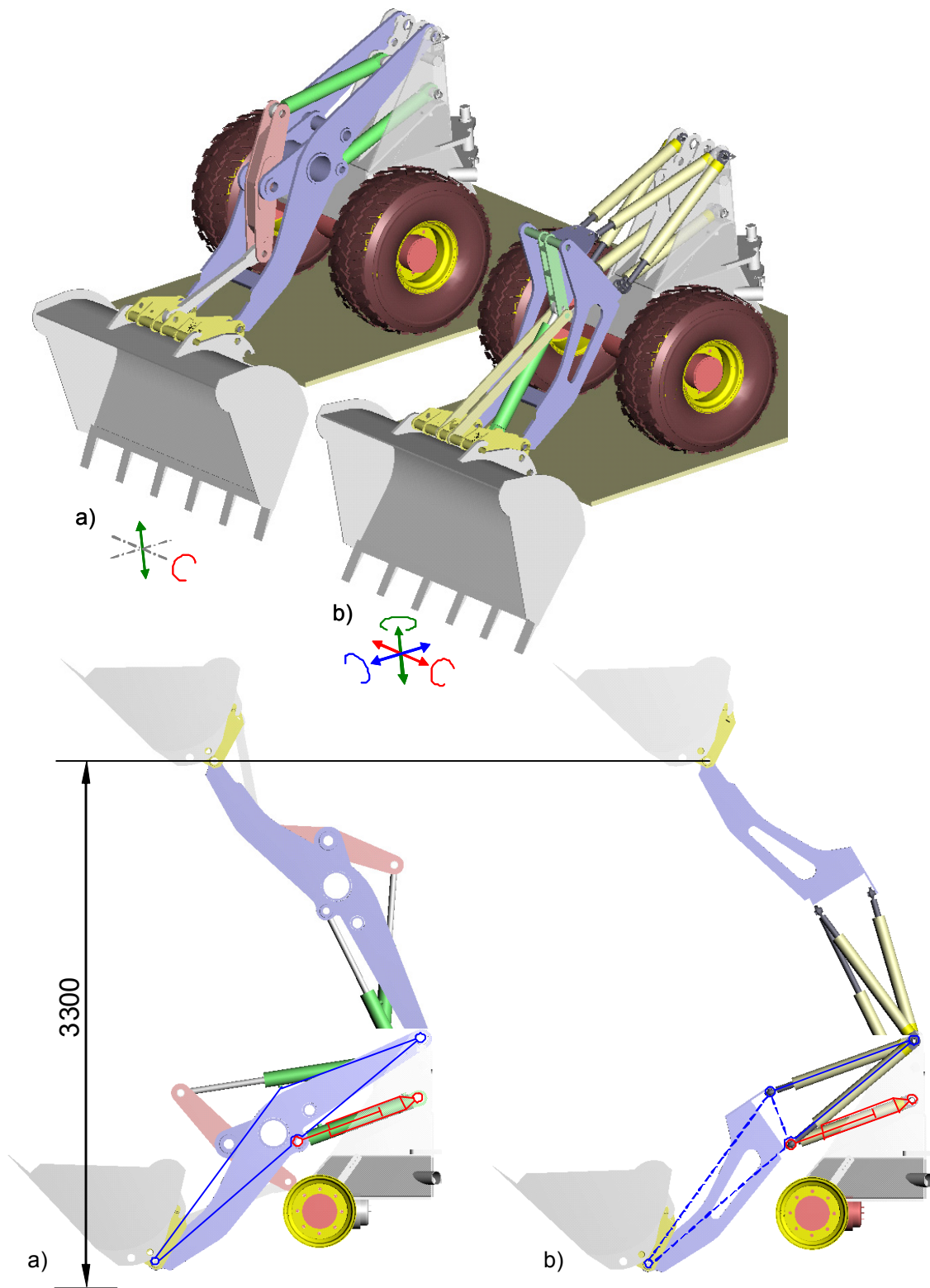


Bild 3: Arbeitsausrüstungen am Beispiel Radlader

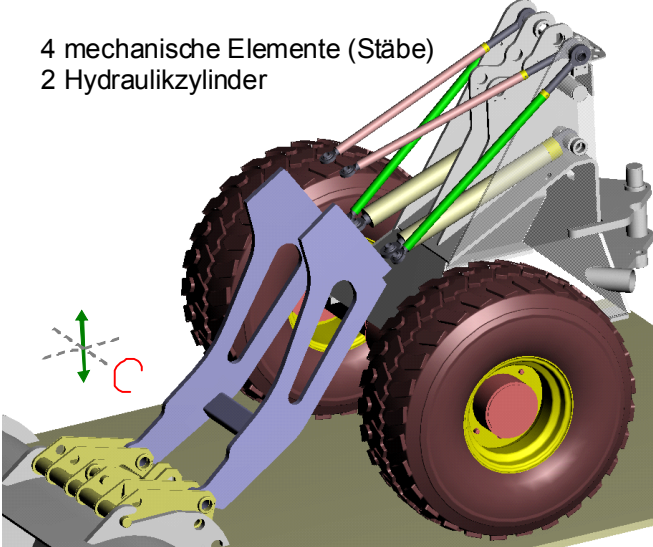
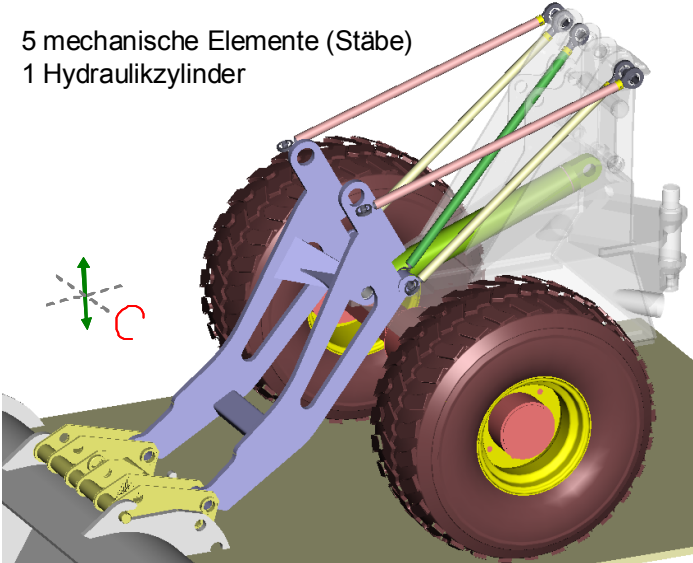
a) konventionelle Lösung in Form einer Z-Kinematik

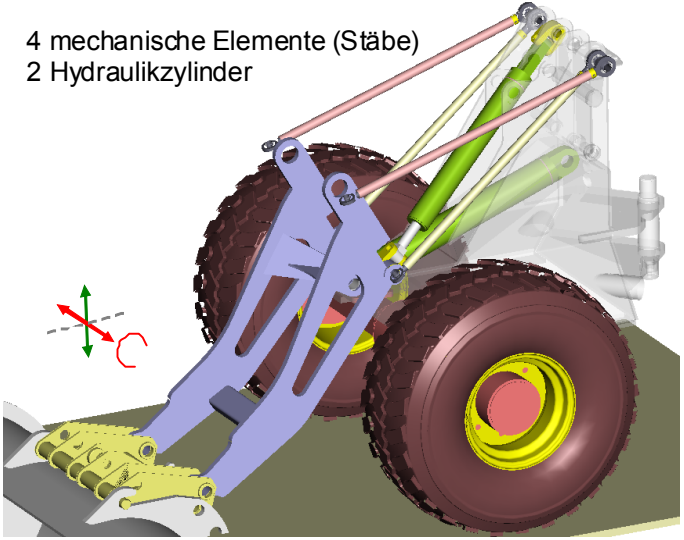
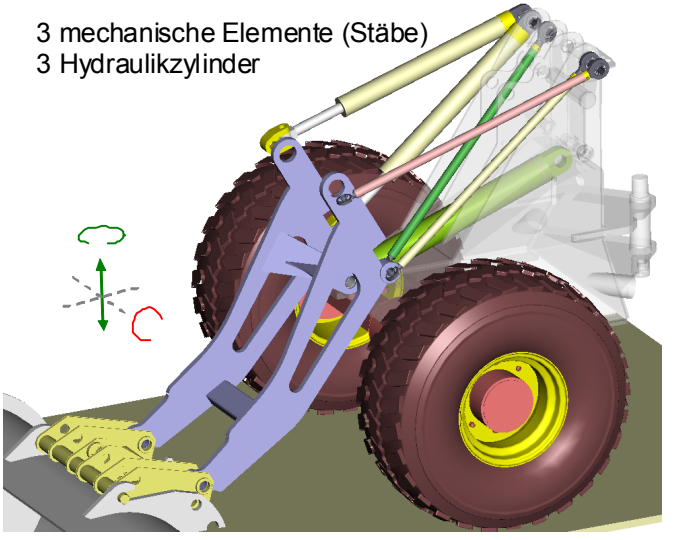
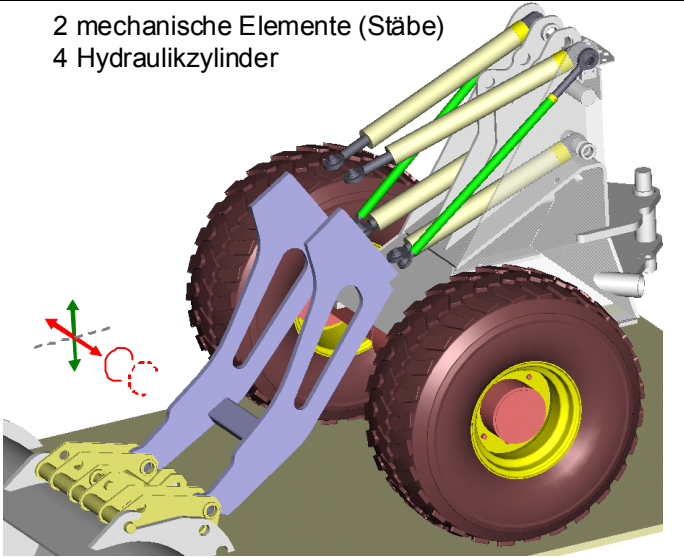
b) neue Lösung in Form eines Hexapod-Manipulators mit 6 FG

Jede gewollte Bewegung am Endeffektor wird über eine kinematische Kopplung mehrerer Aktoren realisiert, s. Bild 3. Das setzt eine entsprechende Steuerung voraus, die zusätzlich auch für vielfältige andere Aufgaben erweitert werden kann, so z. B. für räumliche Schwingungstilgung oder Schwimmstellung. Auf diese Weise besteht das neue Konzept nicht nur

durch Leichtbau und Funktionserweiterung sondern auch mit einem Potential zur Teilautomatisierung. Die Verwendung gleicher Aktoren, ob aktiv (Hydraulikzylinder) oder passiv (Stäbe), erlaubt einen hohen Modularisierungsgrad. Es entstehen ohne Mehraufwand und nach Funktionswunsch vielfältige Ausführungsvarianten, deren Topologien sich unterscheiden. Sie werden beispielhaft in Tabelle 1 aufgeführt.

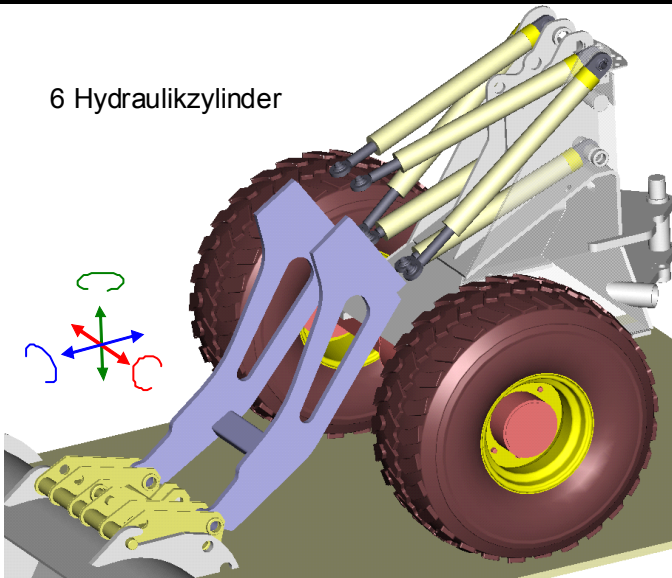
Tabelle 1: Varianten und Topologien der Arbeitsausrüstung mit Hexapod-Manipulator

Variante	Aufbau	Bewegungen / Funktionen
1	<p data-bbox="357 663 754 725">4 mechanische Elemente (Stäbe) 2 Hydraulikzylinder</p>  <p data-bbox="320 1191 783 1227">Topologie 1 mit zwei Hubzylindern</p> <p data-bbox="336 1319 734 1382">5 mechanische Elemente (Stäbe) 1 Hydraulikzylinder</p>  <p data-bbox="320 1872 783 1908">Topologie 2 mit einem Hubzylinder</p>	<p data-bbox="1034 629 1442 768">Konventionelle Hubbewegung mit der Rotation um die Drehachse der Werkzeugaufnahme</p> <p data-bbox="1034 786 1442 909">(Video_2 und Video_3 unter http://141.30.177.51/hexapod/ Benutzername: tud</p> <p data-bbox="1034 927 1238 958">Kennwort: format)</p>

<p>2</p>	<p>4 mechanische Elemente (Stäbe) 2 Hydraulikzylinder</p>  <p>Topologie 2</p>	<p>Zusätzlich zu Var.1: Seitenbewegung (Video_4 und Video_5 unter http://141.30.177.51/hexapod/ Benutzername: tud Kennwort: format)</p>
<p>3</p>	<p>3 mechanische Elemente (Stäbe) 3 Hydraulikzylinder</p>  <p>Topologie 2</p>	<p>Zusätzlich zu Var.1: Drehen um die Hochachse, Funktion wie Schwenklader (Video_6 und Video_7)</p>
<p>4</p>	<p>2 mechanische Elemente (Stäbe) 4 Hydraulikzylinder</p>  <p>Topologie 1</p>	<p>Zusätzlich zu Var.1: Seitenbewegung und Drehen um die Querachse (Video_8)</p>

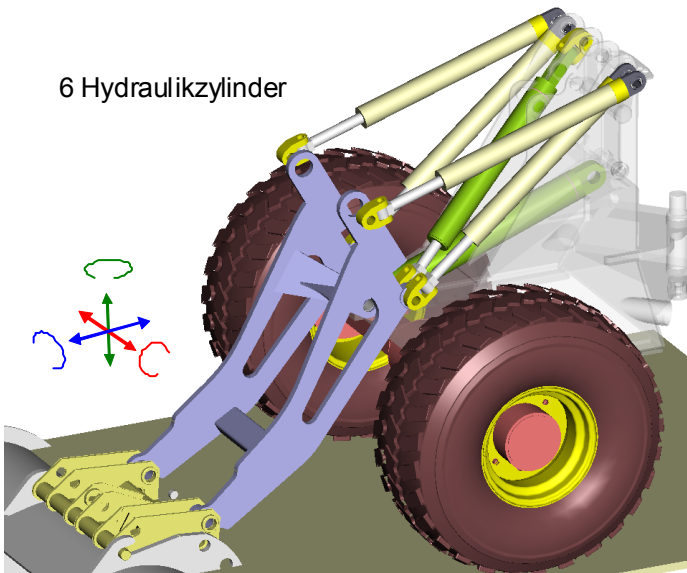
5

6 Hydraulikzylinder



Topologie 1

6 Hydraulikzylinder



Topologie 2

Zusätzlich zu Var.1 - 4 gesteuerte entkoppelte Bewegungen in 6 FG; neuartige Funktionen wie Koppeln oder Beladen im Stand, räumliche Schwingungstilgung oder Schwimmstellung u.a.

(**Video_9** und **Video_10** unter <http://141.30.177.51/hexapod/> Benutzername: tud

Kennwort: format)

Funktionen an Beispielen:

Teleskopieren (**Video_11**)

Positionierung (**Video_12**).

Es zeigt sich, dass je nach Verwendung passiver oder aktiver Aktoren sich Lösungen ergeben, die eine unterschiedliche Anzahl von FG hervorbringen und einen „Baukasten“ ergeben. Das Lösungskonzept sieht auch Möglichkeiten einer Nach- oder Umrüstung vor, wenn sich die Prozesswünsche im Gebrauch der Maschine verändern. Zu dem Zweck sind lediglich Aktoren auszutauschen.

Mit der Baukastenlösung ergibt sich eine stufenweise und risikoarme Einführung in den Markt. Die Varianten 1 und 2 nach Tabelle 1 können ohne Meßsysteme in den Aktoren und ohne Koordinatentransformation (also konventionell) gesteuert werden. Sie stellen die einfachste Variante eines Parallelmechanismus dar.

2.2 Aufstellen der Bewertungskriterien für die Nutzwertanalyse

Durch die Bewertungskriterien werden die Zielstellungen für eine Arbeitsausrüstung genauer beschrieben. Die Kriterien, die als Anforderungen gelten, wie z.B. Abmessungen, Hub- und Losreißkraft, Hubhöhe und Schüttweite, sind nicht zu berücksichtigen, da diese laut Konzeptauslegung für den Hexapod im Wert und im qualitativen Verlauf denen von konventionellen Arbeitsausrüstungen entsprechen müssen [TUD10]. Die neue Lösung muss in diesen technischen Basisdaten mindestens gleichwertig sein. Die marktaktuellen Kriterien werden in Tabelle 2 aufgestellt.

Tabelle 2: Bewertungskriterien

An- und Abkoppeln	<ul style="list-style-type: none"> • Einfaches und leichtes An- und Abkoppeln des Endeffektors • Koppeln im Stand • Vermeiden manueller Arbeiten • Koppeln auf unebenem Gelände
Gesteuerte Seitenbewegung	<ul style="list-style-type: none"> • Verfügbarkeit über gesteuerte seitliche Bewegungen
Schwenkbewegung um die Hochachse	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Mobilität und Wendigkeit für platzsparendes Arbeiten auf engem Raum (Verringerung des Wenderadius) • Arbeiten in einer Spur und kurze Fahrwege für minimale Verkehrsbehinderung • geringere Bodenverdichtung durch eingesparte Fahrwege
Kraftübertragung	<ul style="list-style-type: none"> • Stoßdämpfung zwischen Basisgerät und Endeffektor • Überlastsicherung • hohe Steifigkeit, keine Biegebelastung • Verteilung der Kräfte auf mehrere Bauteile
Betriebssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung von Sichteinschränkung (Sicherheitsaspekt)
Zusätzliche Funktionen	<ul style="list-style-type: none"> • Teilautomatisierung und Funktionen im Raum • zusätzliche Funktionen durch mehr FG
Aufwand	<ul style="list-style-type: none"> • erweiterte Regelung/Steuerung • geringere Herstellungs- bzw. Beschaffungskosten • modulare Gestaltungsfreiheit (Baukasten)
Energieeffizienz	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung des Prozessenergiebedarfs
Risiko	<ul style="list-style-type: none"> • Vorhandensein des Know-how, Herstellung nach dem Stand der Technik • Kundenakzeptanz - Einschätzung durch Anwender • geringe technische Risiken bei der Einführung
Wirtschaftlichkeit im Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Wartung (Schmierung) von Gelenken • Austausch von Hydraulik-Druckschläuchen • Anzahl der Verschleißteile

2.3 Ermittlung des Nutzwertes und Zusammenfassung

Den Bewertungskriterien aus der Tabelle 2 ist eine unterschiedliche Bedeutung beizumessen. Dazu wurden die einzelnen Kriterien untereinander verglichen und Gewichtungsfaktoren abgeleitet. Der Paarweise Vergleich wurde von den Fachleuten zweier Radladerhersteller mit verschiedenen Rahmenkonzepten durchgeführt. Bereits beim Auswerten des Vergleiches wurde festgestellt, dass die neue Arbeitsausrüstung ab Variante 3 die technischen Nachteile vollständig eliminiert.

Die verbale Einschätzung der zu vergebenden Punkte (Zielerreichungsfaktor) richtet sich nach dem jeweiligen Bewertungskriterium und wird in der vollständigen Nutzwertanalyse im Detail begründet. Dabei wird die Subjektivität der Bewertenden entkoppelt.

Durch die Multiplikation der Zielerreichungsfaktoren mit den Gewichtungsfaktoren der einzelnen Bewertungskriterien wurden die Teilnutzwerte für die zu bewertenden Varianten ermittelt. Der Gesamtnutzwert einer Alternative ergibt sich aus der Summe ihrer Teilnutzwerte und ist in der Tabelle 3 zusammengestellt, wobei die Nutzwerte das Bewertungsergebnis des Konzeptteams darstellen.

Tabelle 3: Ermittlung der Nutzwerte für die einzelnen Varianten durch Konzeptteam

	Bewertungskriterium	An- und Abkoppeln	Gesteuerte Seitenbewegung	Schwenkbewegung um die Hochachse	Kraftübertragung	Betriebssicherheit	Zusätzliche Funktionen	Aufwand	Energieeffizienz	Risiko	Wirtschaftlichkeit im Betrieb	Gesamtnutzwert
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>
	Gewichtungsfaktor	0,11	0,12	0,12	0,07	0,11	0,07	0,11	0,11	0,10	0,08	
		Gewichtungsfaktor x Zielerreichungsfaktor										
1	konventionelle Arbeitsausrüstung	0,7	0,2	0,2	0,4	0,7	0,1	0,9	0,6	1,0	0,8	5,7
2	Arbeitsausrüstung mit der Schwenkvorrichtung	0,8	0,5	0,7	0,3	0,7	0,3	0,6	0,6	1,0	0,6	6,0
3	Arbeitsausrüstung mit Hexapod-Manipulator	1,1	1,2	1,1	0,7	0,9	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	8,3

Aus der Tabelle 3 ist zu entnehmen, dass die Arbeitsausrüstung mit Hexapod-Manipulator mit 8,3 den höchsten Gesamtnutzwert besitzt. Die Bewertungen der in die Nutzwertanalyse einbezogenen Firmen KRAMERALLRAD und WEIDEMANN und INDUSTRIE- u. LANDTECHNIK GmbH wird in der Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Ermittlung der Nutzwerte für die einzelnen Varianten durch Grundmitglieder der Wertschöpfungskette

	Bewertungskriterium	Bewertung durch Konzeptteam	Bewertung durch Fa. KRAMERALLRAD	Bewertung durch Fa. WEIDEMANN	Bewertung durch Anwender	Gesamtnutzwert als Mittelwert	Gesamtnutzwert als Mittelwert beim ausgeschlossenen Kriterium Risiko
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
1	konventionelle Arbeitsausrüstung	5,7	5,1	5,8	4,6	5,3	5,3
2	Arbeitsausrüstung mit der Schwenkvorrichtung	6,0	5,6	6,1	4,5	5,5	5,5
3	Arbeitsausrüstung mit Hexapod-Manipulator	8,3	8,2	7,3	8,3	8,0	(8,5)

Auch hier wird der größte Gesamtnutzwert für den Hexapod-Manipulator ermittelt. Der Unterschied zu Tabelle 3 ist damit begründet, dass die Hersteller und Anwender die neuen Funktionen mit höherem Zielerreichungsfaktor bewertet haben. Das stellt ein wichtiges Indiz für die Marktakzeptanz dar. Mit dem Gesamtnutzwert 8,0 als Mittelwert von allen Bewertenden ist die Arbeitsausrüstung mit Hexapod-Manipulator das Vorzugskonzept für weitere Untersuchungen. Die hohe Bewertung ist vor allem auf die funktionellen Vorteile der neuen Technologie zurückzuführen. Diese sind in Feldversuchen in einer ForMaT-Phase II zu verifizieren. Die Nutzwertanalyse vor Beginn einer Entwicklung stellt die Grundlage für spätere QFD-Analysen dar, die den Entwicklungsprozess und die Verwertung der Technologie begleiten wird. In der QFD-Analyse werden die Zielerreichungsfaktoren durch gezielte Entwicklungsarbeiten variiert, um die Kundenanforderungen optimal und wettbewerbsfähig abzudecken. Ausgehend davon, dass am Ende des Entwicklungsprozesses kein Risiko für die neue Technologie (Vorhandensein des Know-how und Kundenakzeptanz) vorliegt, wird in der ForMaT-Phase II der Gesamtnutzwert um einen halben Punkt ansteigen (siehe Spalte h in der Tabelle 4) und somit 8,5 Punkte gegenüber der konventionellen Lösung mit 5,3 Punkten betragen. Die Gewichtung- und Zielerreichungsfaktoren werden in Abhängigkeit von den Einschätzungen der Experten vergeben, die auf dem aktuellen Stand des Wissens und Erfahrungen basieren. Aus diesem Grund wurde ein Programm „NUTZWERTANALYSE_Radlader.xls“ zur Nutzwertanalyse erstellt, das es ermöglicht, die Ergebnisse in Abhängigkeit vom gegenwärtigen und zukünftigen Kenntnisstand zu aktualisieren. Die vollständige Nutzwertanalyse kann auf Wunsch jederzeit dem Gutachtergremium vorgelegt werden.

3 Wirtschaftliche Bewertung

Die nachfolgende wirtschaftliche Bewertung basiert, ebenso wie die technologische Bewertung, auf wissenschaftlichen Erfahrungen sowie auf Einflüssen externer Meinungen und Quellen. Hierzu zählen insbesondere die Befragung von Experten aus der anvisierten Zielbranche der mobilen Arbeitsmaschinen, von Produktmanagern, Entwicklungsingenieuren der Hersteller sowie Vertriebs- und Servicegesellschaften. Diese Aussagen wurden durch Studien der Sekundärliteratur und Machbarkeitsstudien ergänzt.

3.1 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen der Technologie

3.1.1 Marktvolumen und -potential

Der deutsche Markt *Mobiler Arbeitsmaschinen*, insbesondere von Radladern, ist derzeit mit rd. 20.000 Stk. pro Jahr zu beziffern und durchlebte in den letzten zwei Jahren wegen der Weltwirtschaftskrise einen Einbruch, gekennzeichnet durch Überkapazitäten und Preisdruck. In den Industrieländern schrumpfte der Markt seit 2008 um rd. 20% [Wym08]. Allein in Deutschland verzeichnet der Absatz einen Umsatzrückgang von 30-40%.³ Für den Zeitraum der letzten 5 Jahre, bereinigt um den Effekt der Weltwirtschaftskrise der letzten 2 Jahre, ist ein durchschnittliches Schrumpfen des Marktes in Deutschland um 6 - 8% gegeben. Dieser Trend wird sich, laut Oliver Wyman und Expertenmeinungen eines Expertenworkshops im Hause WACKER-NEUSON SE⁴, auch über 2010 hinaus fortsetzen. Durch die Neuentwicklung des Hexapods für *Mobile Arbeitsmaschinen* bieten sich Möglichkeiten, in der angespannten Wirtschaftslage eine stärkere Abgrenzung der Hersteller untereinander entstehen zu lassen und Wettbewerbsvorteile für deutsche Produzenten zu entwickeln. Hier liegen in der gegenwärtigen wirtschaftspolitischen Situation die Chancen für eine neue Technologie. Es zeigte sich, dass Hersteller und Anwender bereit sind, in neuartige Technik zu investieren, wenn ein eindeutiger Nutzen nachgewiesen wird. Die Tabelle 5 stellt die wirtschaftlichen Rahmencahlen am Beispiel der Zielbranche, der Baumaschinentechnik, dar.

Tabelle 5: Kennzahlen Baumaschinentechnik 2009 in Deutschland (Quelle: VDMA e.V.)

Beschäftigte (2008)	53000
Exportquote	72%
Umsatz gesamt (Rückgang zum Vorjahr)	9,5 Mrd. Euro (-43 % nominal)
Inland	2,7 Mrd. Euro (-33 %)
Ausland	6,8 Mrd. Euro (-46 %)
Importe	2,4 Mrd. Euro (VDMA-Schätzung)
Inlandsversorgung	3,0 Mrd. Euro (VDMA-Schätzung)

³ Vgl. Expertengespräch Werksvertretung von Fa. WEIDEMANN Herr A. Eckold

⁴ Experteninterviews und Workshops wurden im Dezember 2009 und Februar 2010 bei den Firmen Wacker Neuson SE und Weidemann durchgeführt

Dabei sei auf die hohe Exportquote und die hohen Umsatzeinbrüche hingewiesen. Auch wenn sich inzwischen eine Erholung abzeichnet (Bild 4), ist es dringend geboten, die Krise für Innovationen zu nutzen.

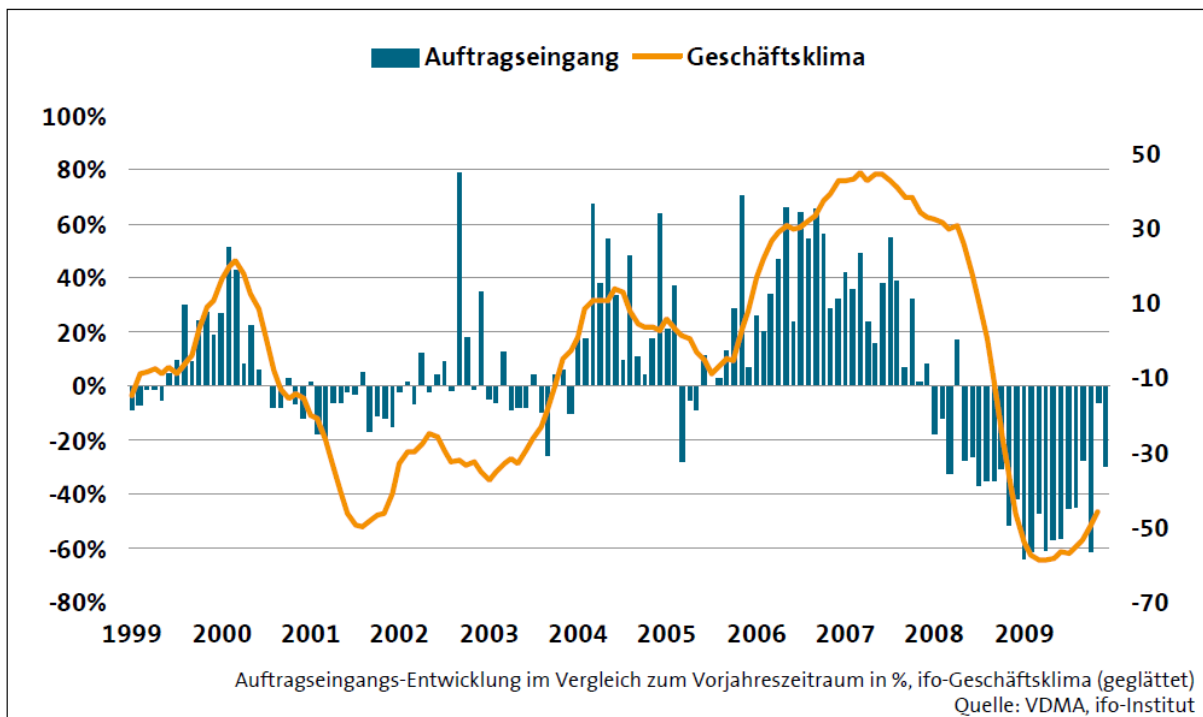


Bild 4: Deutsche Auftragsentwicklung in der Baumaschinentechnik

3.1.2 Marktbesetzung

Der Markt für Baumaschinen, insbesondere für Radlader, stellt sich als inhomogen dar. In dem Marktsegment sind sowohl ausländische als auch inländische Produzenten zu finden. Diese sind aufgrund der angespannten Wirtschaftslage [VDB09] seit Jahren zur Konzentration auf dem Markt gezwungen [VDM09]. So fusionierten die Firmen WACKER und NEUSON zum deutsch/österreichischen Konzern WACKER-NEUSON SE. Dieser stellt mit einem Umsatz von rd. 149 Mio. EUR (Neunmonatsvergleich) einen der größten Hersteller in Europa dar. Ebenso fusionierten die französische Marke MECALAC und die deutsche AHLMANN zur MECALAC-AHLMANN Group. Grundsätzlich ist der Markt für *Mobile Arbeitsmaschinen* durch inländische Hersteller geprägt, die ihn mit mehr als 60% abdecken [Eck10]. Die deutschen Hersteller und Zulieferer profitieren also nicht nur wegen der hohen Exportquote von der geplanten Innovation.

Die Tabelle 6 benennt bedeutende Hersteller von *Mobilen Arbeitsmaschinen*. Selbst die Firmen mit Muttergesellschaften im Ausland (z.B. VOLVO) haben Produktions- und Entwicklungsstandorte in Deutschland. Mit einem Produktionsvolumen von jährlich rd. 20 Mrd. € zählt Deutschland weltweit zu den Marktführern und kann seine Rolle nur über Innovationen behaupten.

Tabelle 6: Hersteller

Deutschland	Ausland
HERMANN PAUS MASCHINENFABRIK GmbH	TEREX GmbH
GP GÜNTER PAPENBURG AG	KOMATSU DEUTSCHLAND GmbH
HYDREMA BAUMASCHINEN GmbH	CATERPILLAR (ZEPPELIN
F. WEYHAUSEN GmbH & Co. KG	BAUMASCHINEN GmbH)
InTrac FÖCKERSPERGER GmbH	DOOSAN INFRACORE EUROPE S.A.
LIEBHERR INTERNATIONAL DTL GmbH	HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY
SCHÄFFER MASCHINENFABRIK GmbH	EUROPE NV
WACKER-NEUSON SE	AMMAN - YANMAR
MECALAC-AHLMANN GROUP	AB VOLVO

3.2 Betriebswirtschaftliche Verwertungsstrategien

Durch intensive Gespräche mit Anbietern⁵ sowie potentiellen Endanwendern und Servicepartnern ergeben sich verschiedene Möglichkeiten, die erforschte Technologie kunden- und anbieterorientiert in den Markt zu überführen. Hierzu zählen vor allem die Möglichkeiten der Ausgründung aus der TU Dresden, um ein Joint-Venture mit einem Anbieterunternehmen aufzubauen und die Kooperation des Anbieterunternehmens mit der TU Dresden. Ebenso stellt sich die Option einer Lizenzvergabe dar. Diese werden in den folgenden Kapiteln projektbezogen analysiert und bewertet.

3.2.1 Ausgründung / Joint-Venture

Die Ausgründung, im Speziellen in ein Joint-Venture, ist die Gründung eines rechtlich selbstständigen Unternehmens, welches eine strategische Allianz mit einem weiteren Unternehmen eingeht, um Synergieeffekte zu erzielen [BEC07]. Die Synergieeffekte ergeben sich in einem Joint-Venture sowohl auf betriebswirtschaftlicher als auch auf der technologischen und produktionstechnischen Ebene [Dic08]. Aus Sicht des Projektes Hexapod–MOBIMA werden Chancen und Risiken in der Tabelle 7 aufgezeigt.

Der Hexapod muss für jeden Maschinentyp und für jede Anwendung technisch angepasst werden. Das gilt auch für die Bedingungen zur Herstellung, zum Vertreiben und für den Service. Einen einheitlichen und durchgängig einsetzbaren Hexapod für alle Anwendungen bei *Mobilen Arbeitsmaschinen* gibt es nicht. Auf diese Risiken wiesen die Firmen WEIDEMANN und KRAMERALLRAD während zweier Expertengespräche hin. Eine Verwertungsoption durch Kooperation erscheint unter diesen Voraussetzung für das Projektteam als realisierbarer.

⁵ Gespräche wurden mit FA. KRAMERALLRAD, WEIDEMANN, INDUSTRIE- u. LANDTECHNIK und PNEUMATIK/HYDRAULIK DIPPOLDISWALDE durchgeführt

Tabelle 7: Chancen und Risiken zur Ausgründung / Joint-Venture

Chancen	Risiken
Branchenkenntnisse vorhanden	Überlebensfähigkeit fraglich, wenn Partner das Joint-Venture verlässt
Kenntnisse über Kundenanforderungen vorhanden	Entscheidungen können nur mit Partner getroffen werden
Betriebswirtschaftlich in der Anfangsphase abgesichert.	Forschung an der TU Dresden eher radikal und nicht inkrementell
Vertriebs- und Servicenetz besteht bereits	Kosten für die Gründung des Unternehmens
Unternehmen haben Zugang zu Universitäts-Know-how	Zeitaufwand bis zur Gründung
Interesse für diese Verwertungsoption wurde bekundet	Betriebsprozesse müssen erst entwickelt werden
Imagetransfer von der TU Dresden auf das neue Unternehmen	Variantenvielfalt
Hilfestellung durch GWT-TUD GmbH	keine Erfahrungen im Institut vorhanden

3.2.2 Kooperation

Die Kooperation ist im Gegensatz zur Ausgründung eine Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Forschung und Entwicklung (FuE). Hier geht die TU Dresden Kooperationsverträge mit Unternehmen ein, die der TU Dresden weitreichende Forschungsaufträge garantieren und den Unternehmen den Zufluss an Know-how sichern. Die Verwertungsoption bietet dem Unternehmen die Möglichkeit, FuE-Aufgaben an die TU Dresden abzugeben. Ebenso möglich ist die aktive Zusammenarbeit der beiden Partner an einem gemeinsamen Projekt und Standort. Die Option eines Joint-Venture ist auch unter dem Aspekt der Kooperation zwischen der TU Dresden bzw. der Verwertungsgesellschaft möglich.

Tabelle 8: Chancen und Risiken Kooperation

Chancen	Risiken
Termingetreue Forschung für den Auftraggeber/Unternehmen	Forschungsarbeiten hängen vom Kooperationspartner ab
kurzer Vorlauf für das Zustandekommen der Verwertungsoption	Kooperationen eher bei Großunternehmen zu finden
Verlässlichkeit der beiden Partner	vertragliche Regelungen notwendig
Arbeitsplatzsicherungsinstrument	vertragliche Abhängigkeit
stärkere Praxisnähe der TU Dresden	Transaktionskosten
FuE- Entlastung für das Unternehmen	
Synergieeffekte bei FuE	
Interesse für diese Verwertungsoption wurde bekundet	
Erfahrungen bei TU Dresden vorhanden	

Neben vielen Beispielen stellt das Projekt „Freikolbenmaschine“ (BMW, PtJ-Förderkennzeichen: 0327247) eine erfolgreiche Kooperation zwischen der FuE-Stelle der TU Dresden und der Industrie (Fa. BOSCH/REXROTH) dar. Damit soll gezeigt werden, dass an der Forschungsstelle Kooperationserfahrungen vorhanden sind. Ebenso wie bei der Ausgründung ergeben sich auch bei der Kooperation Kosten, die eine Einführung der Technologie in den Markt flankieren. So sind Kosten bei der Eingliederung der Forschungs- und Produktionsbereiche sowohl in dem kooperierenden Unternehmen als auch an der TU Dresden zu berücksichtigen. Darüber hinaus fallen Kosten für die Produkteinführung und deren begleitende Aktivitäten an.

3.2.3 Lizenzvergabe / Schutzrechtsverkauf

Die Lizenzvergabe an Unternehmen stellt eine einfache und schnelle Option der Verwertung technologischen Wissens für die TU Dresden dar. Nahezu 6% der Patentanmeldungen seit 1990 in Deutschland entfallen auf deutsche Hochschulen im wissensintensiven Bereich [Sch00]. Sie beinhalten nach §15 PatG das Recht der gewerblichen bzw. kommerziellen Benutzung einer Erfindung, für die der Patentinhaber (TU Dresden) ein Patent angemeldet hat und dieses ganz oder teilweise auf andere Personen übertragen wird. Dies kann sowohl zeitlich als auch räumlich beschränkt sein. Im Gegensatz zu den beiden anderen favorisierten Verwertungsmöglichkeiten besteht keine weitere Zusammenarbeit zwischen den Lizenzpartnern. Die Chancen- und Risikoanalyse hat ergeben:

Tabelle 9: Chancen und Risiken Lizenzvergabe / Schutzrechtsverkauf

Chancen	Risiken
monetärer Erfolg schnell generierbar	monetärer Erfolg einmalig generierbar je Lizenzpartner
Technologietransfer nicht zeitaufwändig	erforschtes Wissen nach der Lizenzdauer im Unternehmen vorhanden
Transfer verursacht keine weiteren Kosten für die TU Dresden	monetärer Erfolg nur moderat gegenüber den beiden anderen Verwertungsoptionen [Bli00]
Abwicklung über die GWT-TUD GmbH [GWT10]	Verkauf nur mit dem dazugehörigen Know-how sinnvoll
vertragliche Beratung gegeben	bisher keine Erfahrungen mit Lizenzvergabe

3.2.4 Analyse der Verwertungsoptionen

Hinsichtlich der Arbeitsbedingungen an einer Universität sowie dem gezeigten Interesse der Wirtschaft wurden die dargestellten Verwertungsoptionen anhand der Kriterien: Aufbau der notwendigen Infrastruktur, der entstehenden Kosten, dem zu erwartenden Zeitaufwand, dem vorhandenen Marktinteresse sowie den sich zeigenden Markteintrittsbarrieren (vgl. Tabelle 2) bewertet. Das Ergebnis stellt eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Bewertung dar, die sich in der ForMaT-Phase II ändern kann. Entscheidende Einflussfaktoren sind hier die politi-

schen Rahmenbedingungen in denen sich das Projekt bewegt, die Kanalisierung des Interesses der Wirtschaft für eine der Verwertungsoptionen und die sich ändernden Marktgegebenheiten. Ähnlich einem Businessplan müssen diese Bedingungen stetig verfolgt und aktualisiert werden [Rip00].

Tabelle 10: Paarweiser Vergleich

	Bewertungskriterium	Aufbau Infrastruktur	Kosten	Zeitaufwand	Marktinteresse	Markteintritts- barieren	Summe	Gewichtungsfaktor
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>j</i>	<i>k</i>
1	Aufbau Infrastruktur		1	2	1	1	5	0,13
2	Kosten	3		3	2	2	10	0,25
3	Zeitaufwand	2	1		0	0	3	0,08
4	Marktinteresse	3	2	4		3	12	0,30
5	Markteintrittsbarieren	3	2	4	1		10	0,25
Summe							40	1,00

Es zeigt sich, dass das Marktinteresse, die zu erwartenden Kosten sowie die Markteintrittsbarieren für das Projekt entscheidende Kriterien sind. Diese Gewichtung wurde durch eine auf Erfahrungen basierende Bewertung ermittelt. Bewertet man die dargestellten Verwertungsoptionen unter den Maßgaben der Kriterien, ergibt sich, wie in Tabelle 11 ersichtlich, eine Rangfolge, die eine strategische Grundausrichtung für den weiteren Forschungsprozess sowie für die Verhandlungen mit den interessierten Unternehmen anzeigt.

Tabelle 11: Betriebswirtschaftliche Nutzwertanalyse

	Bewertungskriterium	Gewich- tungs- faktor	Ausgründung / Joint-Venture		Kooperation		Lizenzvergabe	
			ZEF	TN	ZEF	TN	ZEF	TN
1	Aufbau Infrastruktur	0,13	6	0,8	6	0,8	10	1,3
2	Kosten	0,25	6	1,5	10	2,5	8	2,0
3	Zeitaufwand	0,08	4	0,3	8	0,6	8	0,6
4	Marktinteresse	0,30	10	3,0	10	3,0	4	1,2
5	Markteintrittsbarieren	0,25	4	1,0	8	2,0	8	2,0
Gesamtnutzwert		<i>1,00</i>		6,5		8,8		7,0

Die strategische Kooperation ist die aussichtsreichste Verwertungsoption für dieses Projekt. Die Ausgründung der Technologie, insbesondere in ein Joint-Venture, sowie die Lizenzvergabe stellen ebenso eine betriebswirtschaftliche Verwertungsoption dar, welche aber unter derzeitigen Rahmenbedingungen einen geringeren Nutzwert für die Technologie darstellen. Hin-

sichtlich der rechtlichen Rahmenbedingungen und der Konkurrenzsituation sowie der Kundenstruktur wurde u.a. ermittelt, dass die Zeiträume für Veränderungen am Markt eher kurz sind. Die genannten Optionen sind deshalb in Phase II weiter auf ihre Umsetzbarkeit hin zu untersuchen, da die Bewertung nur zeitpunktbezogen ausgelegt sein kann. Positiv für eine marktwirtschaftliche Umsetzung stellt sich die GWT-TUD GmbH als örtliche Schnittstelle zwischen den sächsischen Forschungseinrichtungen und der Industrie dar. Sie kann auf ein weitreichendes Wissen und auf Erfahrungen für eine erfolgreiche Marktumsetzung neuartiger Produkte verweisen. Es ist deshalb sinnvoll, die GWT-TUD GmbH in die Projektrealisierung (technische Teilleistungen, Marktanalysen, Vertragsgestaltung u.a.) einzubeziehen.

3.3 Wertschöpfungskettenuntersuchung

Der Beschreibung der Wertschöpfungskette durch Porter [Por00] folgend, ist die Technologie hinsichtlich der wertschöpfungsrelevanten Komponenten und der Fertigung zu untersuchen. Die Einführung des Hexapod-Manipulators wird auch im Besonderen von notwendigen neuen Komponenten aus Zulieferpositionen geprägt werden. Das Interesse muss deshalb darin bestehen, über die Betrachtung der Wertschöpfungskette geeignete Zulieferer/Partner zu ermitteln, die ein vergleichbares Interesse an der geplanten Innovation haben. Hierzu wurden Kontakte aufgenommen und mit geeigneten Zulieferern über Absichtserklärungen, sogenannte Letter of Intents (LoI), Lösungswege aufgezeigt. Die Erklärungen liegen dem Projektteam vor. Die nachfolgende Untersuchung beurteilt die Wertschöpfungsbereiche Zulieferlogistik, die Montage sowie den Bereich des Vertriebs in Hinblick auf eine mögliche Verwertung nach der ForMaT-Phase II etwas genauer. Dazu zeigt Bild 5 die Wertschöpfungskette für eine mögliche Verwertung der Technologie.

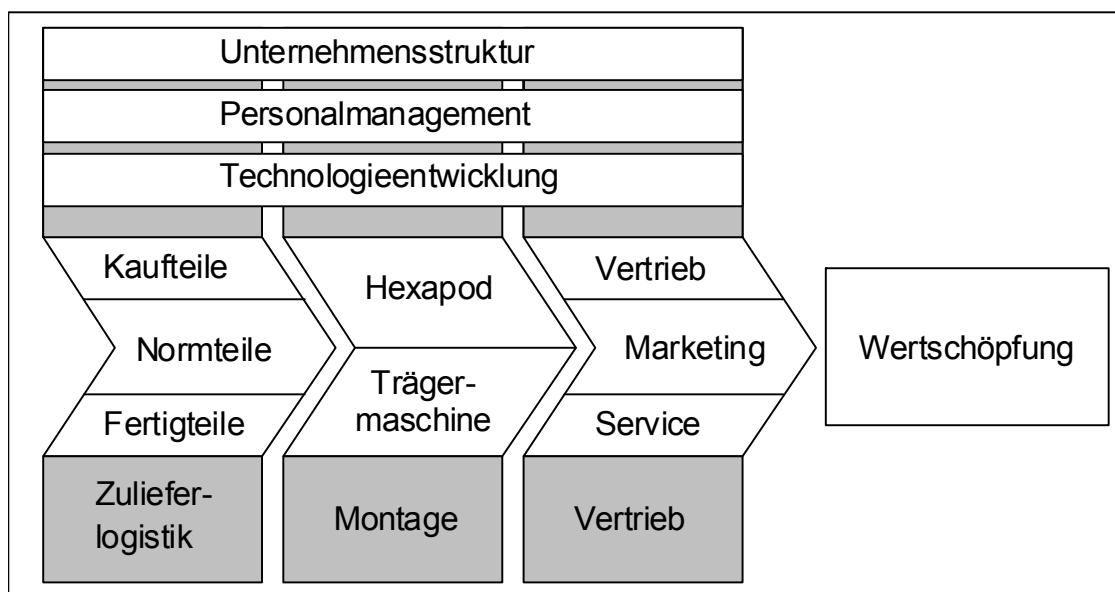


Bild 5: Wertschöpfungskette für Hexapod-MOBIMA bei *Mobilien Arbeitsmaschinen*

3.3.1 Zulieferlogistik

Durch den modularen Aufbau des Hexapods und dem hohen Anteil an Norm- und Wiederholteilen ist es möglich, die Wertschöpfungstiefe des Gesamtsystems so gering wie möglich zu halten und regionale Zulieferpartner in das Vorhaben zu integrieren. Hierzu wurde eine Aufwandsanalyse hinsichtlich der verwendeten Teile für die Varianten des Hexapod-Manipulators sowie für die auf dem Markt existierenden Arbeitsausrüstungen durchgeführt [TUD10]. Sie werden in drei Gruppen aufgeteilt, in Kauf- und Normteile sowie eigene Fertigteile. Die Zeitschrift *fluidMarkt-Jahreseinkaufsführer 2010* bietet eine gute Möglichkeit, den Markt von Zulieferfirmen für fluidtechnische Kaufteile zu überblicken.

3.3.1.1 Kaufteile

Neben Normteilen werden für die technische Umsetzung Bauteile benötigt, die als sogenannte Zukaufteile gelten. Zu diesen zählen insbesondere Hydraulikzylinder mit integrierten Messsystemen⁶, Steuer- und Regelungstechnik (z.B.: Controller mit Joystick), Proportional-Wegeventile mit digitaler CAN-Schnittstelle, Schwingen und die Endeffektoren (z.B. Ladeschaufeln). Bei der Suche nach geeigneten Herstellern bzw. Zulieferern wurde auch darauf geachtet, gemäß dem Förderprogramm vorrangig ostdeutsche Hersteller mit KMU-Status zu bevorzugen. Hinsichtlich der Beschaffung von geeigneten Hydraulikzylindern (Aktor) mit Wegmesssystem konnten die PNEUMATIK/HYDRAULIK GmbH in Dippoldiswalde und die GKN WALTERSCHEIDT GmbH in Sohland ermittelt werden (Interesse durch LoI bekundet). Betreffs der notwendigen Ventiltechnik (z.B. Ventilblock SB 23 oder PVG 32) haben sich große Firmen, wie BOSCH/REXROTH und SAUER/DANFOSS herauskristallisiert.

3.3.1.2 Normteile

Als Normteile werden Zulieferteile verstanden, die in allen Einzelheiten möglichst in einer internationalen Norm festgelegt sind. Es lassen sich eine Vielzahl von Herstellern ermitteln, die diese Bedingung erfüllen. Dazu gehören auch ostdeutsche Produzenten, insbesondere für Gelenke, Stäbe und Leitungen [TUD10]. Tabelle 12 kann hierzu eine erste Aufstellung benötigter Bau- und Normteile entnommen werden.

⁶ Fa. CLAAS setzt diese bei mobilen Maschinen in der Serienfertigung ein. In Bezug auf Gesprächen mit Entwicklungsfachleuten stammt die Technologie aus stationären Anwendungen und ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht für mobile Maschinen nicht optimal, obwohl die Steuerungsanforderungen von den Kunden gewünscht werden, z.B.: den Bewegungsprozess feinfügig zu steuern und zu überwachen. Hier ist eine Forschungsarbeit in Phase II mit dem Lieferanten der Hydraulikzylinder mit Messsystemen erforderlich. Dies würde einen großen Nutzen für die Branche „Mobile Arbeitsmaschinen“ bringen.

Tabelle 12: Hersteller für Norm- und Bauteile

Bauteil	Norm	ostdeutscher Hersteller
Kugelgelenke	DIN 71802	GKN WALTERSCHEIDT Getriebe GmbH 02689 Sohland
Hohlprofile	DIN ISO 59410	n.a.
Bleche	DIN 1623 / EN 10029	
Schraube/ Befestigungsteile	DIN EN ISO	WEWO Schrauben - Befestigungsteile GmbH 01099 Dresden
Stahlleitungen	EN 10305-4	HANSA-FLEX HYDRAULIK GmbH 01108 Dresden
Schläuche	EN 835 - 857	
Schlaucharmaturen	DIN ISO 12151-2	
DIN - Verschraubungen	DIN ISO 9974 DIN ISO 1179	AMR-HYDRAULIK Dresden GmbH 01723 Kesselsdorf

3.3.1.3 Fertigteile

Durch den einfachen symmetrischen Aufbau des Hexapod-Manipulators ist sichergestellt, dass im Vergleich zur konventionellen Lösung weniger Fertigteile benötigt werden. Lediglich der Endeffektor (z.B. Ladeschaufel) und der Maschinenrahmen sind den neuen Anschlussbedingungen anzupassen. Hier handelt es sich um eine Schweißkonstruktion, die mittleren technischen Ansprüchen genügt und wofür auch ostdeutsche Firmen infrage kommen, s. Tabelle 13.

Tabelle 13: Hersteller für Fertigteile

Bauteil	Hersteller
Endeffektor	LRT GmbH Tharandter Baumaschinenservice 01737 Tharandt
Rahmenanpassung	

3.3.2 Montage

Im Bereich der Montage des Hexapod-Manipulators konnten die Firmen KRAMERALLRAD und WEIDEMANN als bedeutende Hersteller in Deutschland und Europa für das Projekt gewonnen werden. Dafür liegen LoI's vor. Außerdem hat die Firma GP PAPENBURG HBM aus Nordhausen mit einem LoI ihr Interesse bekundet. Die Erklärungen geben über das allgemeine Interesse hinaus zu erkennen, dass sie auch bereit sind, sich an einer aktiven FuE-Kooperation zu beteiligen. Tabelle 14 gibt Auskunft über die Umsätze der genannten Endproduzenten von Maschinen, auf denen Hexapod-Lösungen zur Anwendung kommen sollen.

Tabelle 14: Angaben zu Endproduzenten

Hersteller	Produktgruppe	Umsatz	Entwicklung gg. Vorjahr
Wacker Neuson SE	Kompaktbaumaschinen Radlader	149,9 Mio. EUR	- 47,4 %
GP Günter Papenburg AG	Grader	24 Mio. EUR	- 58 %

Trotz des drastischen Umsatzeinbruchs sehen beide Hersteller den Markt für ihre Produkte wirtschaftskrisenbereinigt als stabil an. Die Firma GP PAPENBURG HBM hat darauf hingewiesen, dass ein starkes Wachstumspotential in Hinblick auf unerschlossene Gebiete in Osteuropa vorhanden ist und dass der Trend in der Maschinentechnik hin zu qualitativ hochwertigen Lösungen ungebrochen anhält.

3.3.3 Vertrieb

Durch Gespräche mit Vertriebs-, Handels- und Servicevertretern der Firmen WEIDEMANN und INDUSTRIE- u. LANDTECHNIK GmbH⁷ konnte die Sicht der Endkunden (Maschinenbetreiber) auf die Technologie näher analysiert werden. Es zeigte sich, dass diese als technologieinteressiert zu charakterisieren und für Innovationen mit nachhaltigen Gebrauchsverbesserungen aufgeschlossen sind. Als Beispiel wurde die vor rd. 8 Jahren beim Radlader eingeführte Teleskopierfunktion genannt, für die Endkunden bereit sind, einen Aufpreis von rd. 4.000,- € zu zahlen. Es kommt immer darauf an, auf die Wünsche und Motive der Endkunden einzugehen und diese mit der Innovation sichtbar zu machen. Besonders positiv wurden die modularen Hexapod-Konzepte aufgenommen, die der maximalen technischen Innovation aber auch einer preiswerten herkömmlichen Gebrauchslösung gerecht werden.

3.3.4 Begleitende Prozesse

Als begleitenden Prozesse werden die Unternehmensstruktur, die Personalstruktur sowie die Technologienentwicklung über alle primären Wertschöpfungsbereiche (Zulieferlogistik, Montage, Vertrieb) hinweg angesehen. Diese können zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vollumfänglich und abschließend definiert werden, da sie von der gewählten betriebswirtschaftlichen Verwertungsoption (z.B. Kooperation) als auch von der Ausgestaltung primärer Aktivitäten abhängig sind. In der ForMaT-Phase II müssen in Abhängigkeit der favorisierten Verwertungsoption die erforderlichen Prozessstrukturen erst definiert werden. Dies betrifft insbesondere die Ausgestaltung einer möglichen Unternehmens- und Personalstruktur. Auf dem Gebiet der Technologieentwicklung werden deshalb im Vorfeld der Technologieeinführung nach ForMaT-Phase II weitere wesentliche Vorarbeiten zu leisten sein. Hierzu zählt u.a. der Innovationsnachweis an mindestens einem Demonstrator. Dieser soll dazu dienen, die beabsichtigten technischen und wirtschaftlichen Ziele unter realen Verhältnissen nachzuweisen und die Aufgabenstellung für eine Produktionsvorbereitung unter Serienbedingungen zu erstellen.

⁷ Experteninterview fand am 09.03.2010 statt, bei dem Herrn A. Eckoldt eine kundenorientierte Markteinschätzung, aufgrund seiner Erfahrungen, darlegte.

4 Innovationslabor Hexapod-MOBIMA

Das Innovationslabor hat die Aufgabe, Lösungen zur Übertragung der Technologie parallel-kinematischer Strukturen auf *Mobile Arbeitsmaschinen* zu erarbeiten. Unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten sind nicht nur neue Maschinenfunktionen zu entwickeln, sondern auch völlig neue Anwendungsfelder aufzuzeigen.

4.1 Struktur

Die Struktur des Innovationslabors ist im Bild 6 dargestellt. Die wissenschaftlichen Arbeiten werden von den benannten internen Instituten der TU Dresden übernommen. Sie sind nach technischen Fragestellungen aus der Fakultät Maschinenwesen und betriebswirtschaftlichen aus der Fakultät Wirtschaftswissenschaften zusammengeführt. Dabei ist es gelungen, alle notwendigen Disziplinen und Kompetenzen zu vereinen. Die drei inhaltlich abgestimmten Forschergruppen werden durch eine Leitungsebene verbunden und erhalten dadurch betriebswirtschaftliche sowie technische Unterstützung. Entsprechend ihrer Kompetenzen werden den Forschergruppen die nachstehenden Aufgaben übertragen:

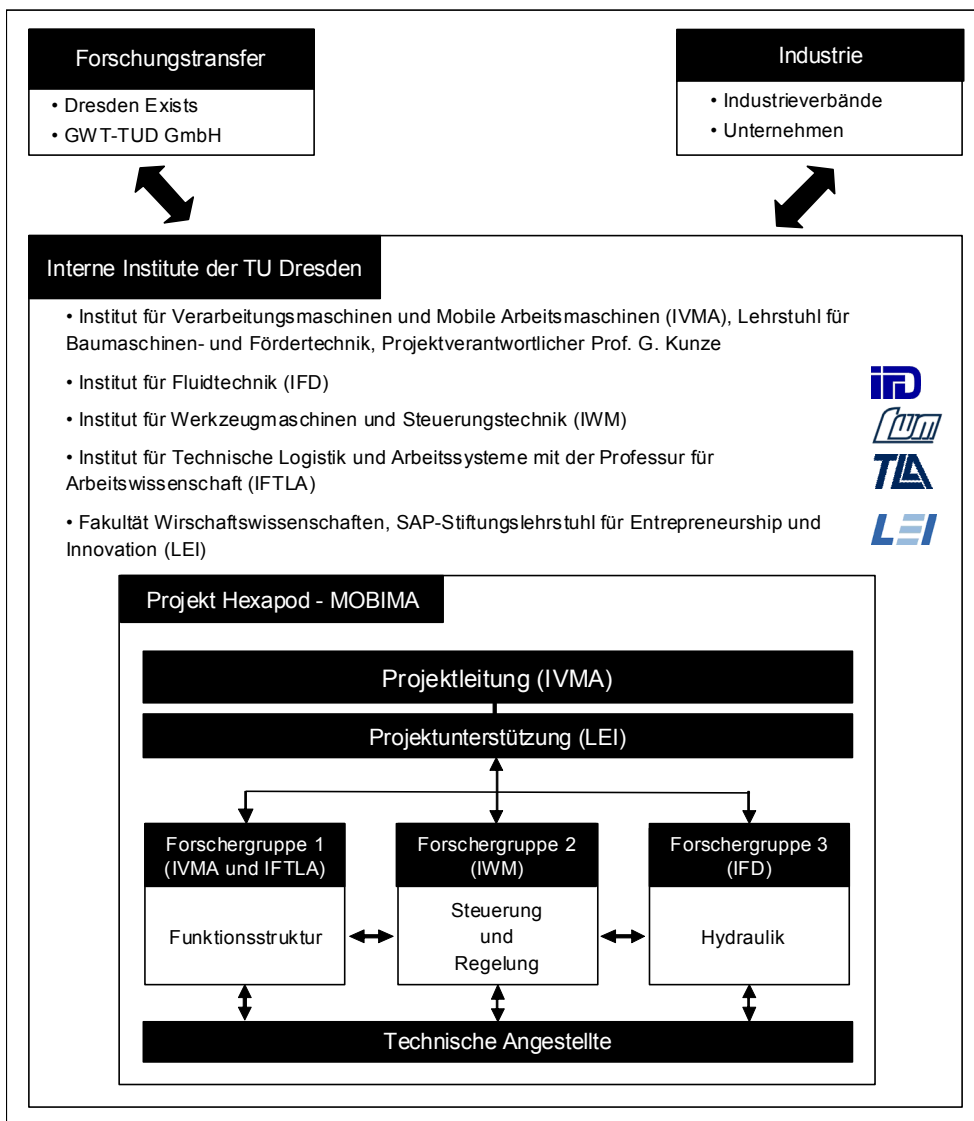


Bild 6: Struktur des Innovationslabors

4.1.1 FOG 1: Funktionsstrukturen

Der Hexapod beinhaltet in 6 FG ein maximales Potential für Arbeitsbewegungen bei entsprechenden Anwendungen. Das „Maß“ dieser den Arbeitsprozess bestimmenden Arbeitsbewegung ist hinsichtlich kinematischer sowie kinetostatischer Grenzen zu bestimmen. Dabei sind technisch und wirtschaftlich optimale parallelkinematische Strukturen zu entwickeln. Hierfür kommen die modernsten topologischen Methoden der Getriebelehre zur Anwendung. Für strukturmechanische Untersuchungen wird die Mehrkörpersimulation und für Bemessungsfragen werden die Stabwerksberechnung sowie die Finite Elemente Methode benutzt. Wegen ihrer inhaltlich bedeutungsvollen Aufgaben ist die FOG 1 federführend tätig.

Alle Untersuchungen dienen dem Ziel, mit neuen Funktionen eine maschinelle Prozesserweiterung entstehen zu lassen. Für den Nachweis dafür sind auf Basis der modularen Softwarearchitektur SARTURIS [SAR10] Simulationen zu entwickeln, die dem Auffinden geeigneter Lösungen dienen. Ihre Übertragung durch Detailkonstruktionen für reale Verhältnisse beschränkt sich dann auf ausgewählte Lösungen.

Der arbeitswissenschaftliche Anteil widmet sich ergonomischen Lösungen für das Bedienungsfeld unter Beachtung der neuen räumlichen Arbeitsbewegungen mit dem Endeffektor. Zusätzlich werden Zulassungs- und Sicherheitsvorschriften ebenso wie Prüfanforderungen, Zertifizierungen oder arbeitsschutztechnische Bestimmungen ausgewertet und in den entwickelten Strukturen berücksichtigt. Da *Mobile Arbeitsmaschinen* bedienergesteuert sind und durch komplizierte interaktive Vorgänge gekennzeichnet sind, haben Ergonomie und Betriebssicherheit einen besonderen Stellenwert.

4.1.2 FOG 2: Steuerung und Regelung

Der Hexapod-Manipulator stellt ein mechatronisches System dar. Die Bewegungskopplung der 6 Aktoren gelingt durch eine elektronische Regelung. Ihr sollen weitere Aufgaben mit dem Ziel geeigneter Teilautomatisierungen von Arbeitsprozessen übertragen werden. Zu dem Zweck sind die mathematischen Beschreibungen für das Übertragungsverhalten (Jacobi Matrix, direkte und inverse Koordinatentransformation) zu entwickeln und in einem praxistauglichen Konzept für Steuerung/Regelung auf einem Mikrocontroller im branchenüblichem CAN-Bus umzusetzen.

4.1.3 FOG 3: Hydraulik

Aufgrund ihres einfachen und robusten Aufbaus bieten hydraulische Antriebe die ideale Basis für die lineare Aktorik am Hexapod. Die FOG 3 betrachtet das gesamte Antriebssystem der von FOG 1 entwickelten Hexapod-Strukturen. Es besteht aus einer hydraulischen Energieversorgung, Zylindern (Aktoren), Ventiltechnik und integrierter Sensorik. Die FOG 3 übernimmt die Entwicklung geeigneter Antriebskonzepte und deren Bemessung nach energieoptimalen Gesichtspunkten.

4.2 Projektverzahnung und Prozessüberwachung

Die Projektunterstützung muss in besonderem Maße die Ausrichtung und Zielerreichung der Einzelgruppen überwachen. Neben der technologischen Weiterentwicklung lassen sich aus unterstützender und innovationsfördernder Sicht drei Kernbereiche erkennen (Bild 7).

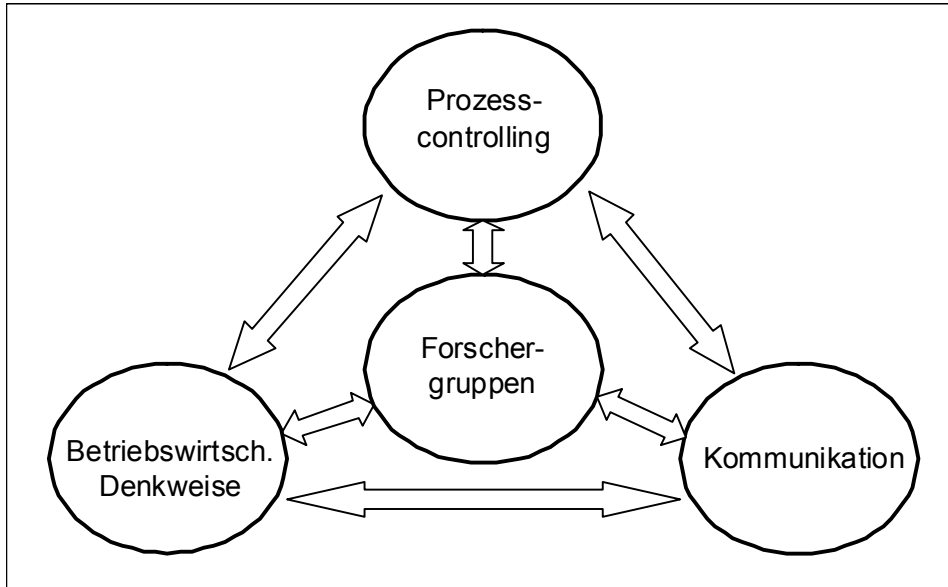


Bild 7: Verzahnung im Innovationslabor

Neben den betriebswirtschaftlichen Aufgaben ist es unablässig, die Kommunikation zwischen den einzelnen Forschergruppen während der Projektlaufzeit zu fördern und auch zu fordern. Dies setzt eine kontinuierliche Überwachung der laufenden Prozesse und deren Zielerreichung voraus.

4.3 Arbeitsprogramm

Aus der Betrachtungsweise einer notwendigen Verzahnung und Überwachung wird das Arbeitsprogramm in zeitlicher Abfolge notwendiger Arbeitspakete (AP) entwickelt und im Bild 8 vorgestellt.

Arbeitsjahr	1												2												
	IV. 2010			I. 2011			II. 2011			III. 2011			IV. 2011			I. 2012			II. 2012			III. 2012			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
AP 1	Wirtschaftliche Betrachtung																								
AP 2													Betriebsw. / techn. Variantenbetrachtung												
AP 3	Konzeptentwicklung																								
AP 4	Schnittstelle Mobile Arbeitsmaschine																								
AP 5	Aufbau stationärer Prüfstand																								
AP 6	Vergleichende Eigenschaftsanalyse																								
AP 7	Kinematische Optimierung																								
AP 8	Versuchsträgeraufbau																								
AP 9													Felderprobung Versuchsträger												
AP 10													Untersuchung der Markttauglichkeit												
AP 11													Berichte / Kolloquium												
interne	Meilenstein 1				Schnittstelle																				
	Meilenstein 2							Stationärer Prüfstand																	
	Meilenstein 3							Stationärer Prüfstand mit optim. Kinematik																	
	Meilenstein 4							Anforderungskatalog																	
	Meilenstein 5							Messeauftritt mit dem Versuchsträger																	
	Meilenstein 6							Demonstrator																	
	Meilenstein 7							Kostenaufstellung																	
	Meilenstein 8							Animierter Variantenkatalog																	
externe	Meilenstein 9							Workshop Stationärer Prüfstand																	
	Meilenstein 10							Workshop Felderprobung																	
	Meilenstein 11							Schlussberichtübergabe und Workshop Demonstrator																	

Bild 8: Arbeitsprogramm

4.3.1 AP1: Wirtschaftliche Betrachtung

Die wirtschaftlichen Betrachtungen umfassen: Ausgestaltung der Öffentlichkeitsarbeit, Workshops und Betreuung der Mitarbeiter, kostenorientierte Überwachung des Gesamtprojekts und der Teilprojekte sowie Ergebnisdokumentation, betriebswirtschaftliche Erarbeitung detaillierter Vorgehensweisen bei der Orientierung auf eine Verwertungsoption (Umsetzungsstrategien und Transferprozesse wie Business-Plan, Kooperationsstrategie, Lizenzverwertung), Benennung von Anwenderszenarien und Anforderungen, Überprüfung und Beantragung von Schutzrechten.

4.3.2 AP2: Betriebswirtschaftlich / technische Variantenbewertung

In Tabelle 1 sind die Varianten der Hexapod-Anwendung am Beispiel der Arbeitsausrüstung vom Radlader dargestellt, die mit dem Stand der Technik im Wettbewerb stehen. Diese Varianten sind in Bezug auf die Markanforderungen zu analysieren und weitere Varianten sind abzuleiten. Die relevanten Varianten sind anhand marktüblicher Kosten zu bewerten. Einsparungspotentiale und zu erwartende Absatzpreise sind zu ermitteln.

4.3.3 AP3: Konzeptentwicklung

Die Konzeptentwicklung (Mechanik, Hydraulik und Steuerung) wird unter Berücksichtigung der Anforderungen und Funktionsstrukturen durchgeführt. Die zugehörigen Schnittstellen werden definiert. Die Arbeiten werden durch Simulationen in Kinematik und Regelung unterstützt und sind methodenorientiert auszurichten. Folgende konkrete Anwendungen (s. Pkt. 1.2) sind dabei umzusetzen:

A1 Hexapod-Manipulator für die Arbeitsausrüstung am Radlader mittlerer Größe

A2 Hexapod-Manipulator für die Arbeitsausrüstung am Grader

B1 Hexapod-Manipulator für Federung/Dämpfung/Lageverstellung an Kabinen.

A1 wird in den folgenden AP bis hin zum Demonstrator verfolgt. Für A2 werden nur Funktionsstrukturen entwickelt und diese in Simulationen untersucht. Die Anwendung B1 wird einem Potentialscreening unterzogen, um weiteren Forschungsbedarf abzuleiten.

4.3.4 AP4: Schnittstelle Mobile Arbeitsmaschine

Es wird ein neuer rahmenseitiger Anschluss für den Hexapod-Manipulator konstruiert. Da in der ForMaT-Phase II mit einem stationären Prüfstand und einem mobilen Versuchsträger gearbeitet wird, soll eine lösbare mechanische Verbindung als Schnittstelle zur Anwendung kommen. Außerdem ist es sinnvoll, in den Untersuchungen auf eine verstellbare Gelenkpunktanordnung zu orientieren, damit topologische Unterschiede in den Lösungsvarianten erkannt werden können.

4.3.5 AP5: Aufbau stationärer Prüfstand

Ziel dieses AP ist die Auslegung, Konstruktion, Fertigung, Montage und Inbetriebnahme eines stationären Prüfstandes einschließlich Mess- und Steuerungstechnik auf Basis der im AP4 erarbeiteten Schnittstelle. Der Prüfstand dient als Drehscheibe für Forschergruppen. Er ist für prozessunabhängige Untersuchungen an Anwendungen, insbesondere Arbeitsausrüstungen und für die Inbetriebnahme der Teilsysteme bestimmt.

4.3.6 AP6: Vergleichende Eigenschaftsanalyse

Ein Kernpunkt des Projektes besteht im Leichtbau mittels Hexapod-Strukturen. In diesem Arbeitspaket wird eine vergleichende messtechnische Untersuchung der konventionellen (Bild 3a) und der Hexapod-Arbeitsausrüstung (Bild 3b) auf dem stationären Prüfstand (Steifigkeit, bewegte Massen, Energiebedarf, Bewegungsgenauigkeit) experimentell vorgenommen.

4.3.7 AP7: Kinematische Optimierung

Das Ziel dieses AP ist die Optimierung des kinematischen und kinetostatischen Aufbaus des Hexapod-Manipulators. Dafür ist eine geeignete Methode zu entwickeln und beispielhaft auf

die Anforderungen aus AP1 anzuwenden. Bei der Methode wird auf Simulation mit experimenteller Verifikation orientiert.

4.3.8 AP8: Versuchsträgeraufbau

In diesem AP wird die neue Arbeitsausrüstung am Beispiel Radlader aufgebaut. Die dafür notwendigen Vorbereitungen, wie Spezifikation, Beschaffung und Umrüstung werden parallel zu anderen AP's in zehn Arbeitsmonaten ausgeführt. Mit dem Versuchsträger ist ein Messeauftritt bei der *Agritechnica* im November 2011 einzuplanen.

4.3.9 AP9: Felderprobung des Versuchsträgers

Das Arbeitspaket beinhaltet eine umfassende Felderprobung anhand der in AP1 ermittelten Anwenderszenarien unter praxisnahen Bedingungen im Testbetrieb. Die Analyse, Weiterentwicklung und Optimierung von Regel- und Steuerfunktionen sowie Bedienerchnittstellen werden in Dauerversuchen durchgeführt.

4.3.10 AP10: Untersuchung der Markttauglichkeit

Nach der Felderprobung wird der Versuchsträger in einen Demonstrator umgerüstet. Mit ihm wird die Kundenakzeptanz, Bedienungsfreundlichkeit und Markttauglichkeit vor Ort beim Kunden demonstriert. Die arbeitswissenschaftlichen Aspekte werden verifiziert und Gebrauchseffekte aufgezeigt. Der Erfüllungsgrad der Anforderungen durch potentielle Anwender wird einer wirtschaftlichen Bewertung unterzogen.

4.3.11 AP11: Berichte / Kolloquium

Im AP11 erfolgt die Ergebnisdokumentation in Form eines Schlussberichtes. Die Forschungsergebnisse werden im Rahmen von Fachkolloquien bei Zulieferern, Herstellern und Endkunden präsentiert. Außerdem werden die Arbeiten von allen Forschergruppen bezüglich geeigneter Transfer- und Verwertungsquellen analysiert.

4.4 Erklärungen zu den Meilensteinen

Meilenstein 1: Bereitstellung einer verstellbaren Gelenkpunktanordnung

Meilenstein 2: Bereitstellung des stationären Prüfstandes für den Hexapod-Manipulator

Meilenstein 3: Aufbau des Hexapod-Manipulators auf dem stationären Prüfstand

Meilenstein 4: Anforderungskatalog auf Basis der Kundenwünsche

Meilenstein 5: Messeauftritt auf der *Agritechnica* 2011 in Hannover

Meilenstein 6: Übergabe des Versuchsträgers in den Testbetrieb

Meilenstein 7: Kostenanalyse für Hexapod-Manipulator

Meilenstein 8: Variantenkatalog zur Darstellung neuer Funktionen

Meilenstein 9: Workshop zu Forschungsergebnissen am stationären Prüfstand

Meilenstein 10: Workshop zu Forschungsergebnissen aus der Felderprobung

Meilenstein 11: Schlussbericht und Fachkolloquien zur Präsentation der Gesamtergebnisse

4.5 Innovationskultur

Neben den formalen Rahmenbedingungen zeichnet sich ein Projekt durch kontinuierliches Lernen und Weiterentwickeln der eigenen Fähigkeiten aus. Um diesen Anspruch gerecht zu werden, verfolgt das Projektteam über die Projektlaufzeit verschiedene unterstützende Maßnahmen, die sich in vier zentrale Bereiche gliedern:

- Qualifikationsmanagement / Kompetenzentwicklung
- Technologiemanagement
- Wissensmanagement
- Sozialmanagement.

Bild 9 zeigt die Möglichkeiten, die das Projektteam während der Projektlaufzeit aufgreifen wird.

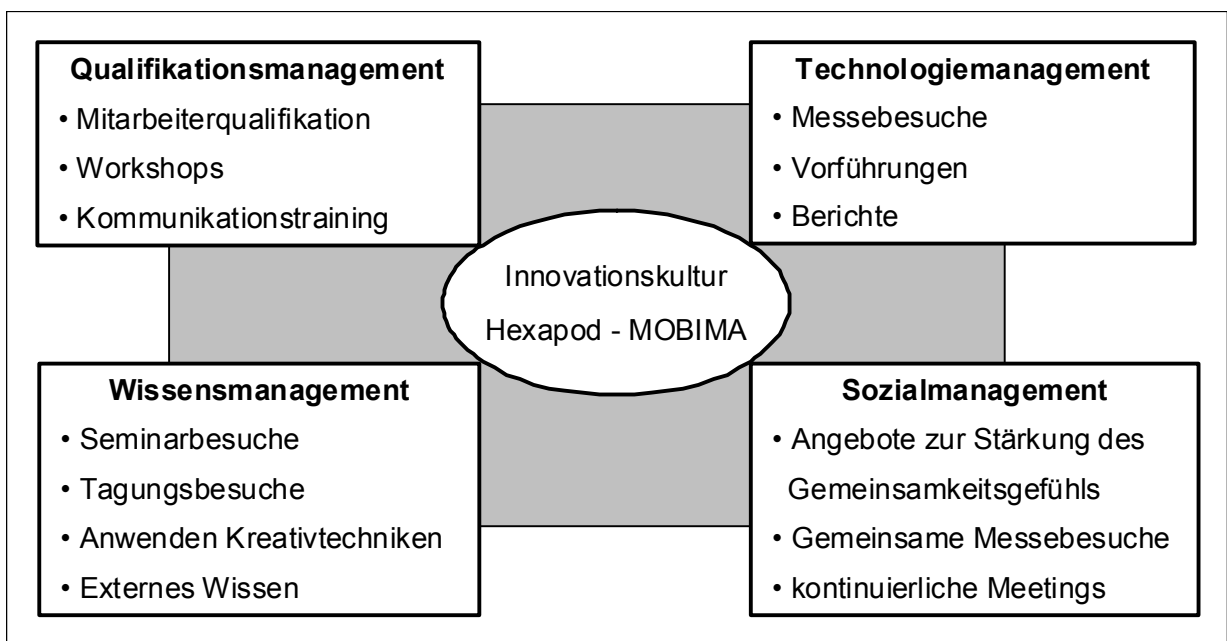


Bild 9: Innovationskultur

Ziel ist es, durch die konsequente Verfolgung dieser Möglichkeiten die Forschergruppen auf das gemeinsame Ziel zu orientieren, den Wissensstand der Gruppen zu erhöhen und auch den Austausch untereinander positiv zu beeinflussen.

5 Kostenplanung

Abschlusskonto	Kostenart	2010	2011	2012	Gesamt
824	A Personalkosten	108.814,17 €	435.256,68 €	326.442,51 €	870.513,36 €
847	B sächliche Verwaltungsaufgaben	29.136,42 €	130.180,67 €	80.769,25 €	240.086,34 €
850	C Ausgaben über 400EUR	17.600,00 €	133.997,00 €	8.500,00 €	160.097,00 €
861	D Gesamtausgaben	155.550,59 €	699.434,35 €	415.711,76 €	1.270.696,70 €
862	E Eigenmittel	- €	- €	- €	- €
863	E Mittel Dritter	- €	- €	- €	- €
864	E Gesamtsumme der Zuwendung	155.550,59 €	699.434,35 €	415.711,76 €	1.270.696,70 €

Personalkosten								
Position	Nr.	Art	TV-L	2010	2011	2012	Gesamt	AG-Brutto
812	1	Wiss. MA	13	12.568,50 €	50.274,00 €	37.705,50 €	100.548,00 €	4.189,50 €
812	2	Wiss. MA	13	12.568,50 €	50.274,00 €	37.705,50 €	100.548,00 €	4.189,50 €
812	3	Wiss. MA	13	12.568,50 €	50.274,00 €	37.705,50 €	100.548,00 €	4.189,50 €
812	4	Wiss. MA	13	12.568,50 €	50.274,00 €	37.705,50 €	100.548,00 €	4.189,50 €
812	5	Wiss. MA	13	12.568,50 €	50.274,00 €	37.705,50 €	100.548,00 €	4.189,50 €
812	6	Wiss. MA	13	12.568,50 €	50.274,00 €	37.705,50 €	100.548,00 €	4.189,50 €
812	7	Wiss. MA AWI	13	12.568,50 €	50.274,00 €	37.705,50 €	100.548,00 €	4.189,50 €
812	8	Projektunterstützung	11	11.009,67 €	44.038,68 €	33.029,01 €	88.077,36 €	3.669,89 €
817	9	Techn. Ang	7	8.340,00 €	33.360,00 €	25.020,00 €	66.720,00 €	2.780,00 €
822		SHK - 20std./Monat	3	1.485,00 €	5.940,00 €	4.455,00 €	11.880,00 €	
824		Personalkosten Gesamt		108.814,17 €	435.256,68 €	326.442,51 €	870.513,36 €	

Sachkosten								
Position	Nr.	Art	2010	2011	2011	Gesamt	Gesamtsummen	
831	1	Verschleißteile	- €	960,00 €	- €	960,00 €		
831	2	Hydraulikzylinder /Ausgleichszylinder	- €	400,00 €	- €	400,00 €		
831	3	Montageteile	600,00 €	- €	- €	600,00 €		
831	4	Gelenke	- €	1.120,00 €	- €	1.120,00 €		
831	5	Leitungen / Kabel	- €	805,00 €	- €	805,00 €		
831	6	Senkbremssventile	- €	1.680,00 €	- €	1.680,00 €		
831	7	Wegeventile	- €	900,00 €	- €	900,00 €		
831	8	Sitzventile	- €	640,00 €	- €	640,00 €		
831	9	Drucksensoren	- €	10.000,00 €	- €	10.000,00 €		
831	10	Spaceball-Mouse	- €	200,00 €	- €	200,00 €		
831	11	Lötgerät	- €	50,00 €	- €	50,00 €	17.355,00 €	
834	12	Miete und Rechnerkosten	- €	- €	- €	- €	- €	
835	13	Patentrecherchen + Antragsverfahren	2.590,00 €	10.000,00 €	7.350,00 €	19.940,00 €		
835	14	Beratungsleistung (Transferberatung usw.)	2.590,00 €	10.000,00 €	7.350,00 €	19.940,00 €		
835	15	Öffentlichkeitsarbeit	750,00 €	3.000,00 €	2.250,00 €	6.000,00 €		
835	16	Externe Aufträge Fräsen etc.)	4.000,00 €	16.000,00 €	8.000,00 €	28.000,00 €		
835	17	Aufträge an ext. F&E	750,00 €	3.000,00 €	2.250,00 €	6.000,00 €		
835	18	Mitarbeiterqualifikation	3.375,00 €	13.500,00 €	10.125,00 €	27.000,00 €	106.880,00 €	
843	19	Verbrauchsmaterial Bleche, Befestigungsteile	885,00 €	3.540,00 €	2.655,00 €	7.080,00 €		
843	20	Geschäftsbedarf	375,00 €	1.500,00 €	1.125,00 €	3.000,00 €		
843	21	Literatur, Studien, Skripte	2.500,00 €	10.000,00 €	7.500,00 €	20.000,00 €		
843	22	Pauschale Ausgaben	375,00 €	1.500,00 €	1.125,00 €	3.000,00 €	33.080,00 €	
843	23	pauschalisiert 843 10%	10.881,42 €	43.525,67 €	32.644,25 €	87.051,34 €	87.051,34 €	
846	24	Dienstreisen Inland / Ausland	3.600,00 €	14.400,00 €	10.800,00 €	28.800,00 €	28.800,00 €	
850	25	Radlader	- €	46.410,00 €	- €	46.410,00 €		
850	26	Radladerturn	- €	4.737,00 €	- €	4.737,00 €		
850	27	Steuerungsrechner Demonstrator	1.600,00 €	- €	- €	1.600,00 €		
850	28	Steuerungsrechner Versuchsträger	2.500,00 €	- €	- €	2.500,00 €		
850	29	Wandlertarte	2.000,00 €	- €	- €	2.000,00 €		
850	30	Stecker-/Verbindungssätze	1.500,00 €	- €	- €	1.500,00 €		
850	31	Prüfstandsmesstechnik	5.000,00 €	- €	- €	5.000,00 €		
850	32	Volumenstrommesser	1.000,00 €	- €	- €	1.000,00 €		
850	33	Demonstratortransport auf Messe	- €	- €	2.000,00 €	2.000,00 €		
850	34	Standgebühr / Messeaufbau	- €	- €	2.500,00 €	2.500,00 €		
850	35	Schmierund- Kraftstoff	- €	3.000,00 €	- €	3.000,00 €		
850	36	Zylinder mit Messsystem 16stk.	- €	16.000,00 €	- €	16.000,00 €		
850	37	Steuerventile	- €	3.600,00 €	- €	3.600,00 €		
850	38	Entwicklungssteuergerät + Zubehör	- €	33.000,00 €	- €	33.000,00 €		
850	39	Hydraulikzubehör	- €	4.000,00 €	- €	4.000,00 €		
850	40	Hydraulikaggregat	- €	6.500,00 €	- €	6.500,00 €		
850	41	Druckspeicher f. Schwingungstilgung	- €	1.500,00 €	- €	1.500,00 €		
850	42	Rapid-Prototyping-Gussteile -Eneffektor	4.000,00 €	12.000,00 €	4.000,00 €	20.000,00 €		
850	43	Spezialwerkzeuge	- €	2.250,00 €	- €	2.250,00 €		
850	44	Dreiachs-Joystick	- €	1.000,00 €	- €	1.000,00 €	188.897,00 €	
		Gesamt ohne Personal	50.271,42 €	263.962,67 €	101.674,25 €	415.908,34 €	444.708,34 €	

6 Zusammenfassung

Im Rahmen der Screening-Phase wurden Analysen über die Verwendung der Parallelmechanismen an *Mobilen Arbeitsmaschinen* durchgeführt.

Dem Parallelmechanismus (Hexapod) wird durch das geplante Innovationslabor ein neues „ForMaT“ gegeben. Dabei werden die wirtschaftlichen und technischen Vorteile aus der Anwendung bei stationären Werkzeugmaschinen auf *Mobile Arbeitsmaschinen* übertragen. Die Branche verfügt auf diesem Gebiet über keine konkreten Erkenntnisse zur technischen und wirtschaftlichen Beurteilung der Parallelmechanismen. Diese Defizite sollen im Rahmen der ForMaT-Phase II in einem Innovationslabor an der TU Dresden beseitigt werden.

In der Nutzwertanalyse wurde die Anwendung einer Parallelkinematik am Beispiel Arbeitsausrüstung für Radlader nach heutigen Marktanforderungen von internen und externen Fachleuten sehr positiv bewertet.

Das Forschungsprojekt Hexapod-MOBIMA ist ausgerichtet auf eine betriebswirtschaftliche Verwertung. Hierzu wurden über die Analyse relevanter Verwertungsstrategien (Ausgründung/Joint-Venture, Kooperation, Schutzrechtsverkauf) in Form einer Nutzwertanalyse Potentiale erkannt, bei der sich die Kooperation in der Screeningphase als aussichtsreich ermitteln ließ. Ebenso konnten über die Analyse einer Wertschöpfungskette verschiedene Hersteller unterschiedlichster Wertschöpfungsebenen für die Hexapod-Technologie interessiert werden. Die neue Technologie ist von Innovationen gekennzeichnet und wurde als betriebswirtschaftlich umsetzbar eingestuft. Mittels verschiedener LoI bekundeten Hersteller, Zulieferer und Endanwender ihre Bereitschaft, das Projekt in der ForMaT-Phase II zu unterstützen und ihre Erfahrungen einzubringen.

Für eine kompetente Umsetzung der beschriebenen Hexapod-Technologie werden 3 interdisziplinäre Forschergruppen vorgesehen, die sich abgestimmt mit den Themen kinematische Funktionsstruktur, Hydraulik und Steuerung/Regelung befassen. Über ein Projektcontrolling werden die Forschergruppen miteinander verzahnt und überwacht. Das Controlling basiert auf einem detaillierten Arbeitsplan, der sowohl konstruktive als auch betriebswirtschaftliche Komponenten in der Zielsetzung beinhaltet. Diese werden durch verbindliche Meilensteine fixiert. Zur Sicherstellung einer geeigneten Innovationskultur im Forscherteam, werden Maßnahmen zum Qualifikations-, Wissens- und Sozialmanagement vorgeschlagen.

Quellenverzeichnis

- [AHL10] -, -: Webseite der Fa. Mecalac-Ahlmann, Stand 12.12.2009:
http://www.mecalac.com/medias/medias/media_461.pdf
- [Bec07] Becker, et.al.: Netzwerkmanagement: Mit Kooperation zum Unternehmenserfolg, Gabler 2007, S.17 ff.
- [Bec78] Bechmann, A.: Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung. Haupt, 1. Auflage, 1978.
- [Bli09] Blind, Dr. K. : Wissens- und Technologietransfer in Berlin-Brandenburg: Chancen und Herausforderungen, Berlin 2009, F 020.
- [Dic08] Dickel, P.: Marktbezogenes Lernen in akademischen Spin-Offs, Gabler 2008, S.13 ff.
- [Fed05] Fedotov, S.: Untersuchung von Parallelmechanismen hinsichtlich deren Eignung als Geräteschnittstelle von Traktoren. TU Dresden. Dissertation. 2005.
- [GWT10] -, -: Webseite zum Leitbild der Fa. GWT-TUD GmbH, Stand 09.02.2010:
<http://www.gwtonline.de/gwt/unternehmen/>
- [Kau06] Kauschinger, B.: Verbesserung der Bewegungsgenauigkeit an einem Hexapod einfacher Bauart. TU Dresden. Dissertation. 2006.
- [MDI09] -, -: Webseite des Ministeriums des Innern zur Nutzwertanalyse, Stand 01.11.2009:
http://www.orghandbuch.de/cln_101/nn_414042/OrganisationsHandbuch/DE/node.html?__nnn=true
- [Por89] Porter, M.E.: Wettbewerbsvorteile (Competitive Advantage) Spitzenleistungen erreichen und behaupten., Frankfurt 1989.
- [Rip08] Ripsas, S.; Zumholz, H.; Kolata C.: Der Businessplan als Instrument der Gründungsplanung – Möglichkeiten und Grenzen; Working Paper No. 43; FHW Berlin; Berlin 2008; S. 9.
- [SAR10] -, -: Webseite des Projektes Sarturis, Stand: 15.02.2010:
<http://www.sarturis.de>
- [Sch07] Schmoch, Dr. U: Patentanmeldungen aus deutschen Hochschulen, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe 2007; S.5 ff.
- [TUD05] Kooperationsvertrag zwischen TU Dresden und der GWT GmbH und deren Zusatzvereinbarungen; Dresden 2002 u. 2005.

- [TUD10] Machbarkeitsstudie und Aufwandsanalyse für die Arbeitsausrüstung als Hexapod-Manipulator, TU Dresden.
- [VDB09] Verband der Baumaschineningenieure und-meister e.V.: Information 04/2009, 37. Jahrgang; Stuhr 2009; S.23 ff.
- [VDM09] VDMA: Branchenindizes Bau- und Baustofffahrzeuge, Frankfurt am Main 2009.
- [Wym09] Oliver Wyman-Studie “Emerging Markets – Opportunity or Threat?”, Stand: Mai 2009.
- [Wal97] Wallaschek, J., Kümmel, M.: Mechatronik - Neue Impulse für die Produktentwicklung. Tagung Transmechatronik-Entwicklung und Transfer von Entwicklungssystemen der Mechatronik, Paderborn 1997.
- [Wie00] Wieland, F.: Entwicklungsplattform für Parallelkinematiken und Prototyp einer Werkzeugmaschine. 1. Auflage, Verlag Wissenschaftliche Skripten Zwickau 2000.
- [Zan76] Zangemeister, Christof: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Dissertation. TU Berlin 1970, 4. Auflage, München: Wittemann. 1976.

Experteninterviews

- [Eck10] Ergebnisprotokoll zum Expertengespräch mit dem Geschäftsführer der Werksvertretung A. Eckold über Bewertung der Technologie im Kundenorientierten Fokus, Markteinschätzung und Meinungsaustausch über Verwertungsstrategien Dresden, 09.03.2010.