

# TheoTrax



**Projektarbeit im schulischen Alltag**  
**POL – projektorientiertes Lernen**  
**Lehre im Dialog**  
**KaLeP an der Universität Karlsruhe**  
**Wiedeking begutachtet Holzschäume-Projekt**

# Erfahrungen mit dem neuen Lehrmodell KaLeP an der Universität Karlsruhe (TH)

o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. A. Albers,  
Dr.-Ing. S. Matthiesen,  
Dipl.-Ing. M. Ohmer

**Evaluation der Änderungen im Problemlösungsverhalten von Studierenden durch die Einführung des Elementmodells „Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen“ im Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung KaLeP**

## Ziele

Im Jahre 1999 haben wir das Elementmodell „Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen“ in den Lehrveranstaltungen des Instituts für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau der Universität Karlsruhe (TH) (mkl) eingeführt. Es bildet einen der grundlegenden Bausteine des am mkl entwickelten Karlsruher Lehrmodells für Produktentwicklung KaLeP. Mittels eines speziell entwickelten Mustertests sollte festgestellt werden, ob und in wie weit dieses Elementmodell den Studierenden eine Hilfe im Denkprozess während der Produktentwicklung bietet.

Weiterhin wollten wir feststellen, in wie weit das Lehrmodell, das am mkl entwickelt wurde und ständig weiterentwickelt wird, ein Werkzeug zur Verfügung stellt, das Studierende dazu befähigt, unbekannte Probleme der Produktentwicklung einfach und sicher zu lösen.

Ein weiteres Ziel war herauszufinden ob die Studierenden die unterrichteten Methoden intuitiv einsetzen ohne explizit darauf hingewiesen zu werden. Dies wäre ein Hinweis darauf, dass die Studierenden die Methoden als sinnvoll und nutzbringend akzeptieren.

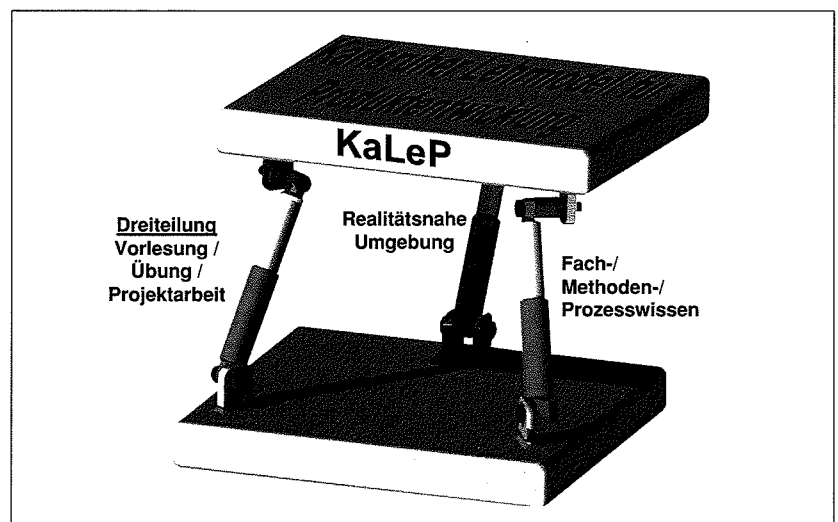


Abbildung 1: Die drei Säulen des KaLeP

## KaLeP

Das Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung KaLeP [6; 7; 8] führten wir im Jahre 1999 am mkl ein. Es ist ein neuer Ansatz der universitären Lehre im Sinne von Humboldt. Aktuelle Forschungsergebnisse fließen direkt in die Lehre ein.

KaLeP basiert hauptsächlich auf der Dreiteilung der Lehre in allen Bereichen. Im ersten Teil wird Wissen vermittelt, im zweiten der Teile wird dieses Wissen erweitert und im dritten Teil intensiv vertieft.

So sind die Lehrveranstaltungen die den Kern der Lehre am mkl bilden, in

drei Vorlesungen geteilt, welche die Studierenden über ihr ganzes Studium hinweg begleiten. Studierende des Vordiploms besuchen die Lehrveranstaltung „Maschinenkonstruktionslehre“, die durch die Lehrveranstaltung „Methoden der Produktentwicklung A“ im Hauptdiplom ergänzt wird. Die Lehrveranstaltung „Integrierte Produktentwicklung“, die das zuvor gelernte Wissen stark vertieft, bildet den dritten Teil des Lehrmodells.

Weitere Säulen von KaLeP sind eine möglichst realistische, industriennahe Entwicklungsumgebung und das unterrichtete Fach-, Methoden- und Prozesswissen (s. Abb. 1).

In den Lehrveranstaltungen setzt sich diese Dreiteilung bis in die Tiefe fort. Die Lehrveranstaltung „Maschinenkonstruktionslehre“ ist in drei Semestern aufgeteilt. Die Studierenden beginnen damit im zweiten Hochschulsesemester und die Lehrveranstaltung begleitet sie bis zum Ende des vierten Semesters, in dem sie für gewöhnlich ihr Vordiplom abschließen.

Die Dreiteilung setzt sich auch in den einzelnen Lehrveranstaltungen eines Semesters fort. Diese sind aufgeteilt in die eigentliche Vorlesung, in Hörsaalübungen und Workshops. Der erste Teil, die Vorlesung, beinhaltet die Vermittlung des grundlegenden Wissens, das während der Hörsaalübungen exemplarisch angewendet und vertieft wird und während des Workshops an Hand praktischer Fragestellungen angewendet wird.

Ein weiterer wichtiger Teil des KaLeP ist das Elementmodell „Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen“ (WFP & LSS), das im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

## Das Elementmodell „Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen“

Das Modell, das in [1] und [2] beschrieben wird, ist ein neuer wissenschaftlicher Ansatz zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Gestalt und Funktion technischer Systeme. Es wird im Rahmen von KaLeP in den einzelnen Lehrveranstaltungen als Basiswissen über technische Systeme unterrichtet und benutzt. Das Elementmodell wird als grundlegender methodischer Weg unterrichtet, um bereits im ersten Semester der Konstruktionslehre-Ausbildung ein Verständnis für Maschinensysteme zu schaffen. Es ist ein grundlegend neuer methodischer und didaktischer Ansatz für die Abstraktion von Maschinenelementen und -systemen auf eine höhere, abstrakte Ebene, auf der die Gestalt und die Eigenschaften von Wirkflächenpaaren und Leitstütz-

strukturen die Grundlage für den Systemzusammenhang der Maschinenelemente bilden.

Auf dieser Grundlage werden Maschinensysteme auf ihre kleinsten gemeinsamen Eigenschaften reduziert, die für ihre Funktion von Bedeutung sind. Dies sind die Oberflächen, die die Funktion des Maschinenelements in seinem Systemzusammenhang bestimmen, die Wirkflächenpaare (WFP), und die sie verbindenden Leitstützstrukturen (LSS). Dieser Ansatz ist nicht auf mechanische Maschinensysteme aus Feststoffen beschränkt. Alle technischen Systeme und Effekte, die im Maschinenbau eine Rolle spielen, können damit beschrieben werden, selbst solche, die auf Feldern beruhen.

Ein großer Vorteil des Elementmodells ist seine Flexibilität in der Anwendung. Durch die Änderung der Auflösung der Betrachtung kann ein komplettes technisches System in seinem Systemzusammenhang untersucht werden. Durch eine Vergrößerung der Auflösung kann die Funktion einzelner Teilsysteme, einzelner Maschinenelemente und auch mikroskopisch kleiner Bereiche eines WFP untersucht werden. Dies alles kann auf abstrakter oder realer Ebene geschehen, je nachdem, welche Sichtweise für den jeweiligen Fall die Günstigste ist.

Es gibt in keiner Phase des Produktentwicklungsprozesses eine Einschränkung in der Wahl der Abstraktionsebene und es ist sehr einfach, von einer sehr abstrakten Ebene der Funktionen und Teilfunktionen auf die konkrete Gestalt der WFP und LSS zu gelangen und umgekehrt. Dadurch bleibt der Überblick über die Gesamtfunktion des technischen Systems stets gewahrt.

Abbildung 2 veranschaulicht den beschriebenen Ansatz am Beispiel eines einfachen Stirnradgetriebes. Die Kraft zwischen den Zahnflanken der beiden Zahnräder wird im WFP<sub>1</sub> von

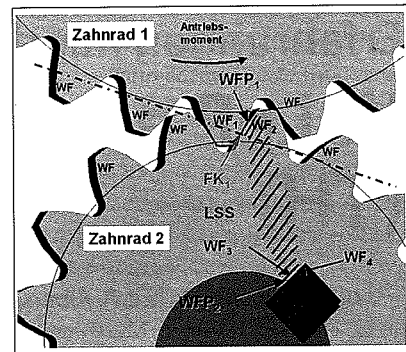


Abbildung 2: WFP und LSS am Beispiel eines Getriebes

Zahnrad 1 in Zahnrad 2 geleitet. Diese Kraft wird in der LSS des unteren Zahnrads in das WFP<sub>2</sub> zwischen dem Zahnrad und der Passfederflanke geleitet.

Durch diesen wissenschaftlichen Ansatz werden alle Hauptebenen der Lernzielhierarchisierung in jeder Komplexitätsstufe gefördert [3], vom Wissen über das Verstehen und die Fähigkeit zur Anwendung und die Fähigkeit zur Analyse und Synthese. Komplexe Systemzusammenhänge können mit Hilfe des Elementmodells wesentlich leichter erfasst werden. Weiterhin können erzielte Erkenntnisse, die die Funktion des Gesamtsystems betreffen, leicht von einem bekannten Maschinenelement oder -system auf ein anderes, unbekanntes übertragen werden.

Im Sinne von Humboldts Verständnis universitärer Lehre werden die aktuellen Forschungsergebnisse am mkl direkt in die Vorlesung übernommen. Im betrachteten Zeitraum war das Elementmodell ein Forschungsthema am mkl und ist es noch immer. Das Elementmodell WFP & LSS und das Lehrmodell KaLeP werden am mkl ständig erweitert und verbessert.

## Der Mustertest

Der Erfolg durch die Lehre des Elementmodells „Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen“ in Verbindung mit dem neuen Lehrmodell KaLeP

wurde seit seiner Einführung durch eine bisher drei Jahre dauernde Untersuchung analysiert. Diese Untersuchung bezieht sich auf die Entwicklung der Fähigkeit der Studierenden zur Anwendung des unterrichteten Wissens und vor allem auf die Fähigkeit zur Systemanalyse, die neben der Systemsynthese ein zentrales Ziel der Lehre darstellt.

Die Studierenden drei aufeinander folgender Jahrgänge mussten einen Mustertest absolvieren. Durch diesen wurde festgestellt, dass das neu eingeführte Lehrmodell, vor allem der neue Ansatz des Elementmodells, dazu geführt hat, dass die Studierenden die Funktion eines unbekanntes Maschinensystems aufgrund einer gegebenen technischen Zeichnung wesentlich leichter erkennen können.

Um die eben erwähnten Fähigkeiten zu prüfen, wurde im Rahme mehrerer Tests, die die Studierenden regulär im Grundstudium absolvieren mussten, ein 20-minütiger, unangekündigter Mustertest durchgeführt. Wörter und Formulierungen, die explizit auf die Anwendung des Elementmodells hinweisen wie z.B. „Wirkflächenpaare“ oder „Leitstützstrukturen“ wurden bewusst vermieden. Es sollte herausgefunden werden, ob die Studierenden das Elementmodell selbständig, im Idealfall unbewusst, in ihrem Denkprozess anwenden.

Der erste dieser Mustertests fand 1999, noch vor der Einführung des Elementmodells in der Lehre, statt, um eine Vergleichbarkeit mit Studierenden zu erhalten, die mit Hilfe eines klassischen Maschinenelemente-Lehrmodells unterrichtet wurden. Die weiteren Tests wurden in den beiden Folgejahren durchgeführt, in denen das Elementmodell immer stärker als grundlegende Methodik unterrichtet wurde.

Die Aufgabe besteht darin, aus einer technischen Zeichnung auf die Funktion und die Eigenschaften eines un-

bekanntes technischen Systems zu schließen. Somit wurde die Fähigkeit zur Systemanalyse, der Denkprozess beim Problemlösen und vor allem die Anwendung des Elementmodells überprüft.

Aus didaktischen Gründen heraus wurde in den Fragen nicht offensichtlich auf die Anwendung des Elementmodells hingewiesen. Trotzdem sollte dies aus den Ergebnissen der Aufgabe abgeleitet werden können. Somit musste der Test so konzipiert werden, dass man aus der Kombination verschiedener Antworten Rückschlüsse auf die gewünschten Informationen ziehen kann.

Zunächst musste herausgefunden werden ob die Studierenden das Maschinensystem bereits kannten oder nicht. Studierende, denen es aus einer früheren Arbeit bereits bekannt war, mussten seine Funktion nicht analysieren, da sie sie bereits kannten. Daher konnten deren weitere Antworten nicht dafür genutzt werden, herauszufinden, ob und wie sie auf die Lösung der ihnen gestellten Problemstellung gekommen sind. Studierende, die das System noch nicht kannten, mussten jedoch einen Weg finden um sich seine Funktion im Systemzusammenhang herzuleiten.

Aus der Kombination derer Antworten musste nun herausgefunden werden, ob und auf welchem Weg sie sich die Lösung der Aufgabe erarbeiten konnten. Obwohl nicht explizit danach gefragt wurde, war es durch geschickte Aufgabenstellung und Auswertung möglich festzustellen, wie die Studierenden bei der Lösung der Aufgabe vorgegangen sind. Eine Frage war zum Beispiel, welche Bereiche des Systems nach längerem Betrieb Verschleißerscheinungen zeigen könnten. Diese Frage wurde dazu genutzt um herauszufinden ob die Studierenden in der Lage sind, die funktionsrelevanten Stellen des Systems, die Wirkflächenpaare, zu erkennen.

Durch die Antworten auf diese und andere Fragen und die Kombinationen daraus konnte darauf geschlossen werden, wie viele der Studierenden, die das System zu Beginn noch nicht kannten und somit seine Funktion herausfinden mussten, in der Lage waren, die Analyse erfolgreich durchzuführen. Als nächstes wurde festgestellt, welcher Prozentsatz derer, die offensichtlich das ihnen in der Lehre zur Verfügung gestellte Elementmodell zur Lösung der ihnen gestellten Aufgabenstellung der Analyse des Systems herangezogen hatten, ohne darauf hingewiesen worden zu sein.

Wiederum durch die Kombination von Antworten war es möglich herauszufinden ob die Studierenden das Elementmodell selbständig angewendet haben und ob es ihnen eine Hilfe bei der Bearbeitung der Fragestellung war.

Die Ergebnisse der Tests, die zwischen 1999 und 2001 durchgeführt wurden, sollte zeigen, ob die Studierenden der späteren Jahrgänge, die das Elementmodell intensiv als grundlegende Methodik gelernt haben, die Analyse einfacher und sicherer durchführen konnten als die Studierenden des ersten Jahrgangs, der mit einem klassischen Maschinenelemente-Lehrmodell unterrichtet wurde.

---

### Ergebnisse

---

Die Auswertung der Tests der ersten drei Jahre bestätigt den Erfolg der Anwendung des Elementmodells „Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen“ im Rahmen des Lehrmodells KaLeP. Die Vorgehensweise der Studierenden der verschiedenen Jahrgänge bei der Problemlösung hat sich offensichtlich während des betrachteten Zeitraums grundlegend geändert.

Der neue Ansatz, der die Abstraktion der Funktion technischer Bauteile und Systeme auf den beschriebenen höheren Abstraktionsgrad ermög-

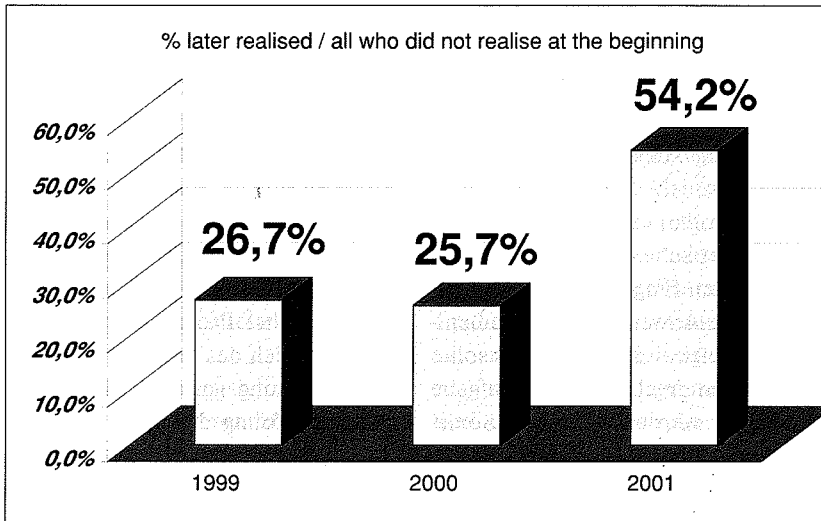


Abbildung 3: Anzahl der Studierenden, die während der Bearbeitung der Aufgabe die Funktion des Bauteilsystems herausgefunden haben

licht, stellt auch in der Lehre eine große Hilfe dar, da der Systemzusammenhang besser erklärt werden kann und somit auch unbekannte Bauelemente und -systeme in ihrem Systemzusammenhang verstanden werden können.

tet wurde, mehr als verdoppelt. (Abbildung 3).

Abbildung 4 zeigt diesen Trend noch deutlicher: Obwohl nicht explizit auf den Gebrauch des Elementmodells hingewiesen wurde, hat sich der An-

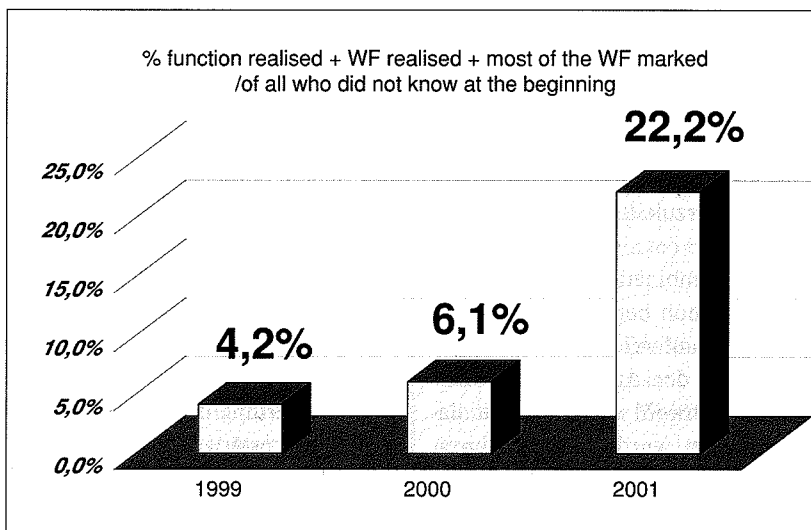


Abbildung 4: Anzahl der Studierenden, die die Funktion und die WFP erkannt haben

Der Anteil der Studierenden, die den Schritt der Funktionsanalyse des gegebenen unbekanntes Maschinensystems vollziehen konnten, hat sich seit Beginn der Untersuchungen, als noch mit einem klassischen Maschinenelemente-Lehrmodell am mkl unterricht-

teil der Studierenden, die die in Abbildung 3 erbrachten Leistungen erbracht haben und zusätzlich die Wirkflächenpaare des Systems herausfinden konnten, sehr stark vergrößert. 2001 konnten dies mehr als fünf mal so viele Studierende wie 1999.

### Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der durchgeführten Mustertests zeigen eine klare Tendenz, dass das Elementmodell „Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen“ ein leistungsfähiges Werkzeug für das Verständnis und die Anwendung in der Konstruktionslehre-Ausbildung bietet.

Studierende, die mit Hilfe des Elementmodells ausgebildet wurden, hatten weit weniger Schwierigkeiten bei der Lösungsfindung für ein ihnen bisher unbekanntes Problem. Vor allem die Studierenden, die offensichtlich die neue Denkweise bereits verinnerlicht hatten und das Bauteilsystem auf Grundlage des Elementmodells betrachteten, ohne explizit darauf hingewiesen worden zu sein, konnten das unbekannte Bauteilsystem sehr viel einfacher analysieren als die, die mit Hilfe eines klassischen Maschinenelemente-Lehrmodells ausgebildet wurden.

Das Elementmodell und auch das Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung KaLeP werden ständig weiterentwickelt und verbessert. Es wird erwartet, dass die Fähigkeiten zukünftiger Studierenden-Jahrgänge zur Analyse und Synthese von Bauteilsystemen und zur Anwendung des erlernten Wissens über das Elementmodell immer besser werden. Ebenso wird erwartet, dass die Mustertests, die auch in Zukunft fortgesetzt werden, immer bessere Ergebnisse erbringen werden.

Es ist geplant, die Tests insofern zu erweitern, dass nicht nur die Fähigkeiten der Studierenden zur Analyse, sondern auch die Fähigkeiten zur Synthese eines Systems oder Teilsystems auf Grund einer gegebenen (Teil-) Funktion erfasst werden können.

Die durchgeführten Tests werden durch viele äußere Faktoren beeinflusst, wie z.B. unterschiedliche Leis-

tungsstände der verschiedenen Jahrgänge, unterschiedliches Hintergrundwissen durch die gesamte Änderung des Lehrmodells während der bisher dreijährigen Betrachtung usw. Daher ist es schwierig, eine statistische Aussagekräftigkeit aus den durchgeführten Tests herzuleiten. Dennoch sprechen die sehr eindeutigen Ergebnisse dafür, dass die Einführung des KaLeP und vor allem die Einführung des Elementmodells in der universitären Ausbildung des mkl das grundlegende Verständnis der Studierenden für die Zusammenhänge in komplexen technischen Systemen wesentlich verbessert haben und dass dies auch in Zukunft in verstärktem Maße der Fall sein wird.

Daher wird das KaLeP und das Elementmodell durch laufende Forschungsprojekte im Sinne von Humboldts Verständnis universitärer Lehre am mkl ständig weiterentwickelt und verbessert. Zusätzlich werden praktische Erfahrungen durch die Anwendung im Rahmen von Industrieprojekten gesammelt und fließen ebenfalls in das Modell ein. So kann das Modell ständig auf seine praktische Anwendbarkeit hin überprüft werden. Durch diese Vorgehensweise wird das Elementmodell davor bewahrt, sich in eine zu akademische, anwendungsfremde Richtung zu entwickeln.

Mit dem beschriebenen Test und seiner Auswertung wurde der sich kontinuierlich vergrößernde Erfolg einer Ausbildung, die sich immer mehr auf das Elementmodell stützt, messbar gemacht. Durch die Auswertung der Tests wird das Lehrmodell und das Elementmodell ständig optimiert.

## Literatur

- [1] Albers, A. and Matthiesen, S., „Konstruktionsmethodisches Grundmodell zum Zusammenhang von Gestalt und Funktion technischer Systeme – Das Elementmodell ‚Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen‘ zur Analyse und Synthese technischer Systeme“, Konstruktion, Zeitschrift für Produktentwicklung, Vol. 54, Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG; Düsseldorf; 2002. pp 55-60, 2002
- [2] Matthiesen, S., „Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementmodells, Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen‘ zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer Systeme“, Forschungsberichte mkl, Vol 6, publisher: o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. A. Albers, Karlsruhe 2002
- [3] Ott, B., „Grundlagen des beruflichen Lernens und Lehrens“, Cornelsen, Berlin, 2002.
- [4] Pahl, G., Beitz, W., „Konstruktionslehre“, Springer, Berlin, 1997
- [5] Roth, K., „Konstruieren mit Konstruktionskatalogen“, Springer, Berlin, 1994

[6] Albers, A., Burkardt, N. and Matthiesen, S., „New education concepts for the training of creative engineers – The Karlsruhe education model for industrial product development – KaLeP –“, Proceeding of the 23rd SEED Annual Design Conference and 8th National Conference on Product Design Education, Derby, United Kingdom, 2001.

[7] Albers, A. and Matthiesen, S., „Neue Lehrmodelle zur Ausbildung kreativer Konstrukteure – Das Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung – KaLeP –“, VDI-Tagungsband 4. Deutscher Konstrukteurstag, 6./7. September; Bochum; 2000.

[8] Albers, A. and Matthiesen, S., „Maschinenbau im Informationszeitalter – Das Karlsruher Lehrmodell“, 44. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Maschinenbau im Informationszeitalter 20, Technische Universität Ilmenau; 1999.

## Kontakt:

Dipl.-Ing. Manfred Ohmer  
 Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau mkl,  
 Universität Karlsruhe (TH)  
 Kaiserstraße 12,  
 76131 Karlsruhe,  
 Germany.  
 Tel.: Int +49 721 608 2371,  
 Fax: Int +49 721 608 6051  
 E-Mail: ohmer@mkl.uni-karlsruhe.de  
 URL:  
<http://www.mkl.uni-karlsruhe.de>



„Ich unterstütze ÄRZTE OHNE GRENZEN, weil sie dort Medizin machen, wo Menschen in Not vergessen werden.“  
 Sandra Maischberger, Journalistin

ÄRZTE OHNE GRENZEN hilft auch fernab der Schlagzeilen – seit über 30 Jahren, in mehr als 80 Ländern. Helfen Sie mit.

### Bitte schicken Sie mir unverbindlich

- allgemeine Informationen über ÄRZTE OHNE GRENZEN
- Informationen für einen Projekteinsatz
- Informationen zur Fördermitgliedschaft
- die Broschüre „Ein Vermächtnis für das Leben“



Name \_\_\_\_\_

Geb.-Datum \_\_\_\_\_

Straße \_\_\_\_\_

PLZ/Ort \_\_\_\_\_

ÄRZTE OHNE GRENZEN e.V. • Am Köllnischen Park 1 • 10179 Berlin  
[www.aerzte-ohne-grenzen.de](http://www.aerzte-ohne-grenzen.de) • Spendenkonto 97 0 97 • Sparkasse Bonn • BLZ 380 500 00

11103502