

# Der wirtschaftliche Nutzen von 3D-Mäusen für CAD-Konstrukteure

## *Forschungsergebnisse*

### Zusammenfassung

Technology Assessment Group (TAG), eine unabhängige Produkt-Consulting-Firma, die sich auf Produktbewertungen und Produktivitätsmessungen spezialisiert hat, führte diese Studie durch, um den wirtschaftlichen Nutzen des Einsatzes von 3D-Mäusen für CAD-Konstrukteure zu beurteilen.

In Forschungsprojekten zu Benutzerschnittstellen von GE, IBM und der Universität Toronto hat sich gezeigt, dass sich durch den Einsatz gut integrierter Geräte mit sechs Freiheitsgraden (6DoF= 6 degrees of freedom) für komplexe 3D-Anwendungen wie 3D CAD erhebliche Produktivitätssteigerungen erzielen lassen sollten.

Dieser Bericht beinhaltet Marktdaten und unabhängige Forschungsergebnisse, in deren Rahmen Unternehmen ihre wirtschaftlichen Ergebnisse beurteilen können.

### Wichtigste Ergebnisse

- **Mehr als 84 %** der CAD-Konstrukteure vermelden durch die Verwendung einer 3D-Maus eine **erkennbare oder deutliche Verbesserung** ihrer Produktdesigns und ihrer Fähigkeit, Designprobleme zu erkennen.
- Der durchschnittliche Produktivitätsgewinn durch die Verwendung einer 3D-Maus liegt laut Aussage von CAD-Anwendern bei **21 %**.
- Die Amortisationsdauer für eine 3D-Maus ist sehr kurz, in der Regel **weniger als ein Monat**.

## 1. EINFÜHRUNG

Für den Erfolg eines jeden Unternehmens ist es von entscheidender Bedeutung, qualitativ hochwertige, fehlerfreie Produkte schneller auf den Markt zu bringen als die Konkurrenz. Beide Faktoren – Qualität und Vorlaufzeit – sind kritisch. Erfolg und Misserfolg liegen je nach Leistung eines Unternehmens oftmals eng beieinander.

Beispiele hierfür gibt es im Wirtschaftsteil in Hülle und Fülle.

- Automobilhersteller befinden sich in einem Wettrennen, sich ändernde wirtschaftliche Anforderungen der Kunden und behördliche Emissionsauflagen zu erfüllen und dementsprechend Kraftstoff sparende Fahrzeuge der nächsten Generation auf den Markt zu bringen.
  - Reuters berichtet, dass "vor dem Hintergrund des intensiver werdenden Wettbewerbs, ein Fahrzeug mit wieder aufladbarem Elektroantrieb in Massenproduktion zu fertigen, aus der GM-Vorstandsetage zu hören sei, dass der Volt eine entscheidende Rolle bei den Anstrengungen des größten Automobilherstellers der USA spiele, die Marktführerschaft des japanischen Rivalen Toyota im Bereich Umwelttechnologie zu beenden."
- Handyhersteller stechen sich gegenseitig mit neuen Angeboten aus, um neue Kunden zu gewinnen.
  - Motorola, 2006 Branchenbester mit seinem trendigen Razr-Modell, konnte mit seinen Nachfolgeprodukten nicht überzeugen und fiel 2008 auf den dritten Platz zurück.
- Flugzeughersteller arbeiten fieberhaft an neuen Modellen, die einen bedeutenden Prozentsatz ihrer zukünftigen Einnahmen ausmachen werden. Wenn man der Konkurrenz bei der Markteinführung um ein paar Monate voraus ist, kann das entscheidend dafür sein, ob man den Zuschlag für einen Milliardenauftrag bekommt oder nicht.

In der Produktentwicklungskette stellt die Leistung der CAD-Konstrukteure ein zentrales Element für die Lieferung qualitativ hochwertiger, fehlerfreier Produkte an den Markt dar. Wenn sie in der Lage sind, ihre Konstruktionen und Produktdesigns mit weniger Zeitaufwand zu verbessern und Problembereiche früher zu erkennen, können sie zur Verbesserung der Marktposition ihres Unternehmens beitragen.

In grundlegenden Forschungsprojekten zu Benutzerschnittstellen (UI) von GE Research, IBM, der Universität Toronto und anderen Organisationen

wurden die Leistungsverbesserungen dokumentiert, die sich durch Eingabegeräte erzielen lassen, mit denen CAD-Konstrukteure 3D-Objekte intuitiv navigieren und beide Hände gleichzeitig verwenden können.

3D-Mäuse sind Eingabegeräte, die sowohl die intuitive Navigation von 3D-Modellen als auch die gleichzeitige Verwendung beider Hände ermöglichen. CAD-Konstrukteure und -Unternehmen, die 3D-Mäuse in ihren Produktionsprozess eingeführt haben, konnten beeindruckende Produktivitätsgewinne verzeichnen.

Es wurden aber keine detaillierten quantitativen Studien durchgeführt, um zu ermitteln, wie hoch der Nutzen dieser 3D-Mäuse wirklich ist. 3D-Mäuse sind ein Investitionsposten für Unternehmen. Daher gilt es, die ökonomischen Ergebnisse zu verstehen, anhand derer Unternehmen den Nutzen für ihre eigenen Zwecke bewerten können.

Technology Assessment Group (TAG) hat die folgenden Forschungsinstrumente entwickelt, um diesen Fragen auf den Grund zu gehen:

- Eine Umfrage mit 14 Fragen wurde erstellt, um Antworten von 190 3D-Mausanwendern zu erheben. Diese Umfrage wurde im Mai 2008 von MarketLab, einer unabhängigen Marktforschungsgruppe, durchgeführt. In der Umfrage wurden Anwender zu Ihrer Erfahrung mit 3D-Mäusen in folgenden Bereichen befragt:
  - Sichtbare Verbesserungen beim Produktdesign und bei der Früherkennung von Problemen
  - Produktivitätssteigerung (Beschleunigung der Arbeit)
  - Einarbeitungszeitraum, nach dem sie im Umgang mit der 3D-Maus vertraut und produktiv waren
  - Zeit, die sie mit der Arbeit mit 3D-CAD-Anwendungen verbrachten.

In diesem Bericht werden die Ergebnisse dieser Forschung sowie die zugrunde liegende UI-Forschung präsentiert.

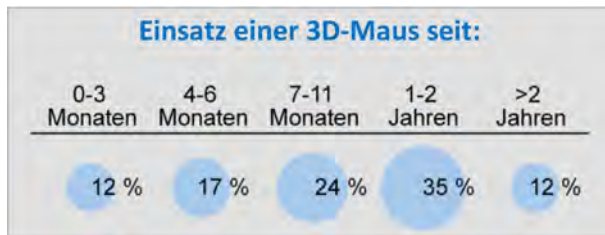
Anschließend behandelt der Bericht folgende grundsätzliche Management-Fragen:

- Wie hoch ist der wirtschaftliche Nutzen einer Investition in 3D-Mäuse für CAD-Konstrukteure?
- Wie können wir den wirtschaftlichen Nutzen für unser Unternehmen ermitteln?

## 2. ERGEBNISSE DER ANWENDERBEFRAGUNG

In den USA wurden 190 CAD-Konstrukteure befragt, die mit 3D-Mäusen von 3Dconnexion arbeiten. An der Umfrage nahmen Unternehmen mit weniger als 10 CAD-Konstrukteuren bis hin zu Unternehmen mit mehr als 500 CAD-Konstrukteuren teil.

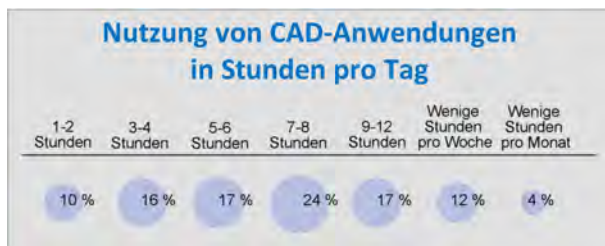
Diese Konstrukteure verwendeten am häufigsten gängige 3D-CAD-Anwendungen wie CATIA, Inventor, NX, Pro/ENGINEER und SolidWorks. Sie decken den vollen Erfahrungsumfang mit 3D-Mäusen ab, von weniger als 3 Monaten bis mehr als 2 Jahren. Von diesen Konstrukteuren verwendeten 53 % ihre 3D-Maus seit weniger als einem Jahr und 88 % seit weniger als 2 Jahren; die genaue Verteilung ist unten gezeigt.



Beachten Sie, dass der Kürze halber in diesem Bericht Prozentwerte ohne Dezimalstelle angegeben sind. Daher gibt es bei den dargestellten Prozentwerten Varianzen von  $\pm 1$  % durch Rundung.

### 2.1 Berufsmerkmale

CAD-Konstrukteure unterscheiden sich dahingehend von Gelegenheits-Computeranwendern, dass sie im Rahmen ihres Aufgabenbereiches viele Stunden am Tag mit spezifischen CAD-Anwendungen arbeiten. So gaben 74 % an, dass sie *mindestens* drei Stunden am Tag mit ihren CAD-Anwendungen arbeiteten. Ganze 41 % wenden für diese Aufgaben *mindestens* sieben Stunden am Tag auf. Die folgenden Diagramme zeigen die Verteilung der Nutzung nach Gruppe und kumulativ.



### 2.2 CAD-Anwendungen und 3D-Mäuse

Wie bereits erwähnt hat sich in unternehmensinternen und akademischen Forschungsprojekten gezeigt, dass zwei zentrale Faktoren der 3D-Maus die Leistung der Personen deutlich verbessern, die mit komplexen 3D-Anwendungen arbeiten.

- 6DoF-Geräte zur schnellen Ausrichtung von 3D-Objekten oder -Ansichten
- Geräte, die das gleichzeitige Arbeiten mit beiden Händen ermöglichen (z. B. eine 3D-Maus in der einen Hand und eine herkömmliche 2D-Maus in der anderen Hand)

In der Umfrage sollte ermittelt werden, ob Anwender von 3D-Mäusen diese beiden Faktoren durch ihre Arbeit bestätigen konnten und ob sie der Meinung waren, dass sie durch diese Faktoren qualitativ hochwertigere Designs produzieren, Fehler besser erkennen und Designs schneller erstellen konnten.

Von diesen Anwendern gaben 83 % (auf einer Fünfpunkteskala) an, dass die 6DoF-Navigation ihrer 3D-Maus "sehr nützlich" oder "äußerst nützlich" sei; fast die Hälfte (49 %) fanden sie "äußerst nützlich". Praktisch alle Anwender (95 %) fanden diese Funktion "nützlich" oder besser. Die genauen Prozentwerte der Antworten sind unten dargestellt.



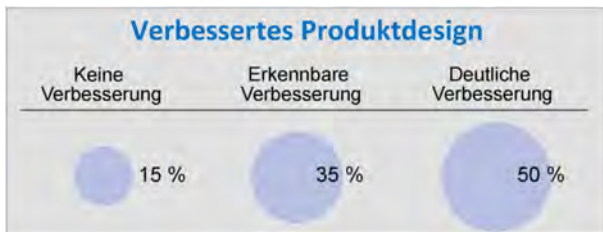
Was das gleichzeitige Arbeiten mit beiden Händen betrifft, fanden 75 % diese Möglichkeit der 3D-Maus "sehr nützlich" oder "äußerst nützlich", und wiederum fand sie fast die Hälfte (49 %) "äußerst nützlich". Praktisch alle Anwender (93 %) fanden diese Funktion "nützlich" oder besser. Die genauen Prozentwerte der Antworten sind unten dargestellt.



Wie beeinflussten diese Faktoren nun den Konstruktions- und Designprozess? In der Einführung wurden qualitativ hochwertige, mängelfreie Produkte als Schlüssel zum Erfolg eines Unternehmens beschrieben. Können 3D-Mäuse tatsächlich die Designqualität verbessern und Fehler reduzieren?

Nach Meinung der befragten Anwender waren sie mit einer 3D-Maus in der Lage, ihre Konstruktionen und Designs viel einfacher zu drehen, zu prüfen und zu untersuchen. Das Ergebnis in Zahlen:

- 85 % sahen eine "erkennbare" oder "deutliche" Verbesserung ihrer Produktdesigns
- 84 % waren der Meinung, dass sie die Früherkennung von Fehlern "erkennbar" oder "deutlich" verbessern konnten



Diese sehr hohen Prozentwerte zeigen an, dass Unternehmen bei der Einführung von 3D-Mäusen für Ihre CAD-Konstrukteure ähnliche Ergebnisse erwarten können.

Und wie steht es mit der Schnelligkeit – die Zeit, die Konstrukteure zur Erstellung ihrer Designs benötigen? Sind sie mit einer 3D-Maus schneller (produktiver)? Produktivitätsgewinne bei CAD-Konstrukteuren tragen direkt zu einer Verkürzung der Vorlaufzeit bei, was einen enormen Einfluss auf den Erfolg eines Produkts am Markt haben kann.

CAD-Konstrukteure gaben an, dass sie durchschnittlich mit einer 3D-Maus um 21 % produktiver waren als ohne 3D-Maus. Mehr als 86 % der Anwender vermeldeten Produktivitätsgewinne, die von unter 10 % bis hin zu über 50 % reichten. Die Verteilung der Antworten ist aus folgendem Schaubild ersichtlich.



Wie steht es um die Lernkurve zum Arbeiten mit einer 3D-Maus? Wenn es drei Monate dauert, um sich mit einer 3D-Maus vertraut zu machen, und weitere drei Monate, um produktiv zu werden, gleichen die Produktivitätsgewinne diese Lernkurve aus?

Wenn Anwender eine neue Arbeitsweise annehmen sollen, ist es unerlässlich, dass sie schnell mit der neuen Arbeitsweise vertraut sind. Wenn sie den neuen Ansatz als ungeschickt oder mühselig empfinden, werden sie ihn nicht umsetzen, selbst wenn sie später vielleicht einmal die Früchte ernten würden.

Mehr als die Hälfte der Anwender (58 %) waren innerhalb der ersten Stunden und die große Mehrheit (80 %) innerhalb von zwei Tagen im Umgang mit 3D-Mäusen vertraut.



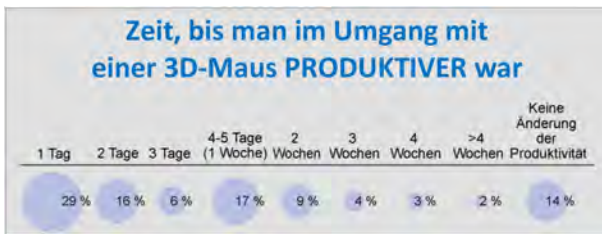
Die nächste Frage: Wie lange brauchen Anwender von 3D-Mäusen, bis sie sich nicht nur vertraut, sondern "kompetent" fühlen? Laut Umfrage findet der Übergang von vertraut zu kompetent bei Anwendern von 3D-Mäusen schnell statt: 66 % fühlten sich innerhalb der ersten Woche kompetent und 78 % innerhalb von zwei Wochen.



Wie schnell wird der Anwender einer 3D-Maus produktiv? Dies ist das eigentliche Ziel jedes geänderten Arbeitsablaufs.



Anwender gaben an, dass fast die Hälfte (45 %) innerhalb von zwei Tagen und 68 % innerhalb der ersten Woche der Verwendung einer 3D-Maus produktiver waren.



### 3. ZUGRUNDE LIEGENDE UI-FORSCHUNG

Es ist wichtig, die diesen Produktivitätsgewinnen zugrunde liegenden UI-Konzepte zu verstehen. Dies erleichtert sowohl CAD-Konstrukteuren, die diese Verbesserungen unmittelbar erleben, als auch Nicht-CAD-Profis, die sich vielleicht wundern, warum eine 3D-Maus einen solchen Unterschied ausmachen sollte, das Verständnis.

Im ersten Abschnitt wird erklärt, wie sich die Arbeit an einem Computer für einen CAD-Konstrukteur von einem Gelegenheits-Computeranwender unterscheidet. Anschließend werden die einzigartigen Anforderungen an die Benutzerschnittstelle durch 3D-CAD-Anwendungen diskutiert. Das Konzept der UI-Bandbreite wird zusammen mit zwei wichtigen Faktoren vorgestellt, die die UI-Bandbreite erweitern und beschleunigen.

Referenzen für die in diesem Abschnitt zitierten Forschungsprojekte können dem Abschnitt "Referenzen" am Ende dieses Berichts entnommen werden.

#### 3.1 CAD-Konstrukteure und Gelegenheits-Computeranwender im Vergleich

CAD-Konstrukteure:

- Ihre Arbeit ist im Kern durch eine Tätigkeit geprägt, die in hohem Maße auf spezifische, komplexe CAD-Anwendungen angewiesen ist.
  - Die am häufigsten verwendeten 3D-CAD-Anwendungen sind CATIA, Inventor, NX, Pro/ENGINEER und SolidWorks.
- Sie verbringen mehr als die Hälfte ihres Arbeitstags mit der Arbeit mit CAD-Anwendungen.
- Sie benötigen Computer mit sehr hoher Leistung, um produktiver zu arbeiten.
- Sie geben zwischen 1.000 und 50.000 US-Dollar für Anwendungssoftware aus.

Dieses Profil trifft auf mehr als eine Million 3D-CAD-Anwender weltweit zu.

Gelegenheits-Computeranwender hingegen:

- Ihre Arbeit ist im Kern durch eine Tätigkeit geprägt, bei der zum Teil universelle Anwendungen verwendet werden (E-Mail, Internet-Zugang, Textverarbeitung, Tabellenkalkulation usw.), die aber in der Regel nicht auf spezifische Anwendungen angewiesen ist.
- Durchschnittlich arbeiten sie weniger als die Hälfte ihres Arbeitstags am Computer.
- Der Bedarf an Hochleistungscomputern ist geringer.
- Sie geben weniger als 1.000 US-Dollar für Anwendungssoftware aus.

Die folgende Tabelle fasst die wichtigsten Unterschiede zwischen diesen beiden Kategorien von Computeranwendern zusammen.

	3D-CAD-Anwender	Herkömmlicher Anwender
<b>Anwendungen</b>	Komplex, tätigkeits-spezifisch	Universell
<b>Computernutzung</b>	4-8 Stunden pro Tag	0-4 Stunden pro Tag
<b>Computerleistung</b>	Hohe Leistung	Mittlere Leistung
<b>Ausgaben für Anwendungen</b>	1.000 – 50.000 US-Dollar	< 1.000 US-Dollar

Diese Unterschiede bieten einen Kontext zur Untersuchung der Eigenschaften von 3D-CAD-Anwendungen und ihrer spezifischen UI-Herausforderungen.

#### 3.2 Eigenschaften von 3D-CAD-Anwendungen

Die Arbeitsweise von 3D-CAD-Anwendern stellt bedeutend höhere Ansprüche an die Hardware als die von Gelegenheitsanwendern. Ihre tätigkeits-spezifischen Anwendungen erfordern in der Regel die folgenden komplexen Arbeitsabläufe:

- Häufigere Navigation der Arbeit (Modelle, Ansichten)
- Komplexere Navigation in punkto Freiheitsgrade (viel häufigeres Verschieben, Vergrößern/Verkleinern und Drehen)
- Deutlich mehr Befehle und Navigationen pro Minute als bei einem Gelegenheits-Computeranwender
- Erheblich größere Zahl an häufig verwendeten Befehlen

Stellen Sie sich zur Veranschaulichung einen Gelegenheitsanwender vor, der E-Mails liest (die am häufigsten verwendete Anwendung). Der Anwender liest den Anfang der E-Mail und blättert dann vielleicht nach unten, um den Rest zu lesen. Dann wird vielleicht geantwortet oder die Nachricht weitergeleitet, bevor man zur nächsten E-Mail übergeht. Für dieses typische Szenario gilt Folgendes:

- Die Navigation (Blättern nach unten) ist in der Regel auf einen Freiheitsgrad (1DoF) beschränkt, genau wie die Auswahl der nächsten zu lesenden E-Mail.
- Die Anzahl der tatsächlich verwendeten Befehle ist recht begrenzt.
- Der "Bandbreiten"-Bedarf für die Anwendereingabe ist sowohl für Navigation als auch für Befehle ziemlich niedrig.

Würde man die Hand dieses Benutzers von oben betrachten, wären die Bewegungen gemäßigt und langsam. Die Hände des 3D-CAD-Anwenders gleichen dagegen denen eines Konzertpianisten bei einem schnellen Musikstück. Während die rechte Hand mit schnellen Bewegungen die Maus und das Mausrad bedient, wählt die linke Hand verschiedene Tasten (oftmals Strg, Umschalt, Alt und Esc) auf der Tastatur.

Nach Beobachtungen von und Gesprächen mit 3D-CAD-Anwendern schätzt TAG, dass 3D-CAD-Anwender fünf bis zehn Mal mehr Navigationen/Befehle pro Minute ausführen als Gelegenheitsanwender. Die Anforderung, eine große Zahl von Navigationen und Befehlen pro Minute auszuführen, ist die Hauptanforderung für Benutzerschnittstellen mit hoher Bandbreite wie im nächsten Abschnitt beschrieben.

### 3.3 UI-"Bandbreite"

Die Leistung einer 3D-CAD-Anwendung kann durch drei verschiedene Bandbreitenkanäle gedrosselt werden:

- Computerbandbreite
- Grafikkartenbandbreite
- UI-Bandbreite

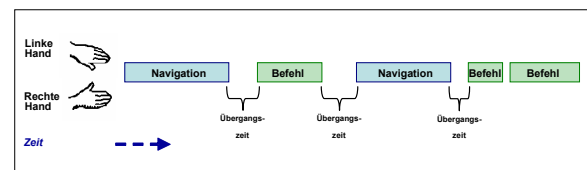
Nehmen wir zur Veranschaulichung das Beispiel eines Maschinenbauingenieurs, der mit einer 3D-CAD-Software wie Pro/ENGINEER oder SolidWorks eine neue Armatur entwirft.

- Der Rechenengpass ist die Fähigkeit der Software/des Computers, ein 3D-Modell auf dem aktuellen Stand zu halten. Mit zunehmender Komplexität von Produkten steigen die Rechenanforderungen rapide an.

- Der Anzeigeengpass ist die Fähigkeit der Software/Grafikkarte, das 3D-Modell in "Echtzeit" darzustellen.
- Der UI-Engpass ist die Fähigkeit des Benutzers, das Objekt direkt an die gewünschte Position zu bewegen und dann verschiedene Befehle auszuführen – mit der geringsten Zahl von Unterbrechungen und Kontextänderungen und in der kürzestmöglichen Zeit.

Die Computerbandbreite und Grafikkartenbandbreite sind dem Mooreschen Gesetz entsprechend angestiegen, während 3D-CAD-UIs unverändert geblieben sind. Somit hat sich die UI-Bandbreite als einer der größten Engpässe für die 3D-CAD-Anwendungen von heute herausgestellt.

Ein von akademischen Forschern entwickeltes Konzept bietet eine nützliche grafische Darstellung zum Verständnis der UI-Bandbreite.



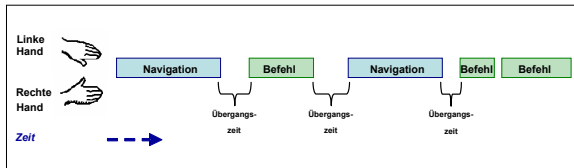
Konzept zur UI-Bandbreite

(Quelle: Buxton, W., Billingham, M., Guiard, Y., Sellen, A. und Zhai, S. 2002)

Wie aus diesem Konzept ersichtlich, sind Benutzerschnittstellen (heute und in naher Zukunft) durch die Aktivitäten der rechten und linken Hand gesteuert, die sowohl die Navigation als auch Befehle ausführen. Die UI-Bandbreite ist ganz einfach die Zeit, die man zur Ausführung einer Reihe von Navigationen und Befehlen zur Durchführung einer bestimmten Anwendungsfunktion benötigt.

### 3.4 Eingabeströme

Die erste UI-Bandbreiteneinschränkung in 3D-CAD-Anwendungen hat mit "Eingabeströmen" zu tun. Wie bereits erwähnt, sind alle Benutzereingaben durch die rechte und linke Hand gesteuert. In Wirklichkeit tut die linke Hand aber in der Regel mit Ausnahme der gelegentlichen Auslösung eines "Modus"-Tastendrucks (z. B. Strg, Umschalt oder Alt) sehr wenig. Aus dem unten gezeigten Konzept der UI-Bandbreite ist ersichtlich, dass die rechte Hand (ausgehend von einem rechtshändigen Anwender) fast die ganze Arbeit bewältigt, was im Endeffekt zu einem einzelnen Eingabestrom führt.



*Einzelner Anwendereingabestrom*

Dies ist in Zhai, Smith und Selker (1997) treffend zusammengefasst:

Eine grundlegende Funktion bestehender gängiger Benutzerschnittstellen ist die, dass der Anwender über einen einzelnen räumlichen Eingabestrom mit dem Computersystem kommuniziert, der durch ein Eingabegerät mit zwei Freiheitsgraden (in der Regel eine Maus) physisch gesteuert und grafisch als Cursor dargestellt wird. Der universelle Cursor bewegt sich auf der gesamten Oberfläche hin und her und wechselt seine Funktion zwischen Zeiger, Sprungmarke, Auswahl-, Zeichen-, Blätter- und Öffnen-Werkzeug, je nachdem, welches virtuelle Gerät (Widget), wie z. B. das Hauptdokument/-fenster, ein Menü, eine Bildlaufleiste, ein Symbol oder ein Hyperlink, erfasst oder betätigt wurde. Ein solcher einzelner Eingabestrom bietet Anwendern offensichtlich zahlreiche Vorteile, wie das einfache Verstehen und Lernen des Interaktionsmechanismus. Der Nachteil sind jedoch die begrenzte Kommunikationsbandbreite (Buxton 1986) und der Aufwand an Zeit und kognitiver Anstrengung, Widgets und Steuerpunkte zu erfassen (Buxton und Myers 1986, Leganchuk, Zhai und Buxton 1996).

Nach Beobachtungen von 3D-CAD-Anwendern und Gelegenheits-Computeranwendern schätzt TAG, dass 3D-CAD-Anwender fünf bis zehn Mal mehr Navigationen/Befehle pro Minute ausführen als Gelegenheitsanwender. Wenn diese zum großen Teil mit einem Einzelstrom arbeiten (wenn auch unter Verwendung der Tastatur für Schaltflächen und Modifikatoren), ist die Bandbreite stark eingeschränkt.

Die erste Gelegenheit zur Verbesserung der UI-Bandbreite liegt daher in der Erhöhung der Zahl von Eingabeströmen, mit denen der Anwender die Anwendung steuern kann.

### 3.5 Navigation

Die zweite UI-Bandbreiteneinschränkung ist die Navigation. Navigation bedeutet, dass man an die gewünschte Stelle gelangt, um eine Aufgabe durchzuführen. Dabei kann es sich um das Blättern zum Lesen einer E-Mail-Nachricht, das Verschieben an eine Stelle in Photoshop oder das Drehen eines Modells zur Betrachtung der Rückseite eines Teils in CATIA handeln.

Navigation ist zwar eine häufige Aktivität in den meisten Anwendungen, die Art der Navigation unterscheidet sich aber je nach Anwendungstyp erheblich.

Die folgende Tabelle zeigt eine Beschreibung gebräuchlicher Navigationsvorgänge und die Anzahl der erforderlichen Freiheitsgrade (DoF) sowie einige Beispielanwendungen.

	Anzahl DoF	Beschreibung	Gängige Anwendungen
<b>Blättern (vertikal)</b>	1	Dokument nach oben/unten verschieben	E-Mail, Internet, Word
<b>Blättern (horizontal)</b>	1	Dokument nach links/rechts verschieben	Excel
<b>Verschieben</b>	2	Zeichnung gleichzeitig horizontal und vertikal verschieben	AutoCAD, Photoshop
<b>Vergrößern/Verkleinern</b>	1	Dokument/Modell vergrößern/verkleinern	AutoCAD, Photoshop
<b>Drehen</b>	3	Modell gleichzeitig um eine von drei Drehachsen bewegen	3ds Max, CATIA, Pro/ENGINEER, Maya, SolidWorks

*DoF-Anforderungen für verschiedene Navigationsarten*

Diese DoF-Zahlen sind additiv. Zum Verschieben und Vergrößern/Verkleinern werden beispielsweise 2 (Verschieben) + 1 (Vergrößern/Verkleinern) = 3DoF benötigt. Zum Verschieben, Vergrößern/Verkleinern und Drehen werden 2 (Verschieben) + 1 (Vergrößern/Verkleinern) + 3 (Drehen um drei Achsen) = 6DoF benötigt.

Verschiedene Anwendungen unterscheiden sich stark in der Nutzung dieser verschiedenen Navigationsarten, wie die folgende Tabelle zeigt.

Anwendung	Blättern (vertikal)	Blättern (horizontal)	Verschieben	Vergrößern/Verkleinern	Drehen
E-Mail	*****				
Word	*****	*		*	
Excel	****	***		**	
Photoshop	*	*	***	****	
CATIA und 3D-CAD-Anwendungen			***	*****	*****

Navigationshäufigkeit nach Anwendung  
(\* = niedrig; \*\*\*\*\* = hoch)

Am auffälligsten ist, dass in den meisten 3D-CAD-Anwendungen häufig mit Verschieben und Vergrößern/Verkleinern (3DoF) oder Verschieben, Vergrößern/Verkleinern und Drehen (6DoF) navigiert wird. Dies stellt also eine weitere wichtige Gelegenheit in Sachen UI-Bandbreite dar.

### "Im Fluss sein"

Bevor wir uns der Forschung auf dem Gebiet der Gelegenheiten für hohe Bandbreite zuwenden, sollte angemerkt werden, dass die drei Bandbreiteneinschränkungen einen von Natur aus kreativen Prozess mit der Bezeichnung "Im Fluss sein" brechen.

"Im Fluss sein" ist ein von Künstlern, Sportlern und Designern verwendeter Begriff zur Beschreibung von Aktivitäten, bei denen sie komplett bei der Sache sind und die Situation im Griff haben. Alle diese Aktivitäten erfordern ein hohes Maß an Konzentration und mentaler und/oder körperlicher Energie.

Für 3D-CAD-Computeranwender, die mit komplexen und kognitiv anspruchsvollen Anwendungen arbeiten, entspricht "Im Fluss sein" höherer Qualität und schnellerer Leistung. Oftmals werden sie jedoch aus ihrem Fluss durch Benutzerschnittstellen abgelenkt, die kognitive Bandbreite abschöpfen und den Benutzer dadurch bremsen, dass er lästige Aspekte der Benutzerschnittstelle "steuern" muss (Bederson 2002).

Eine der häufigsten Unterbrechungen des Zustands "Im Fluss zu sein" ist bezeichnenderweise eine Benutzerschnittstelle mit niedriger Bandbreite, in der Anwender ihre Aufgaben nicht so schnell umsetzen können, wie sie denken.

Benutzerschnittstellen mit hoher Bandbreite erlauben dem 3D-CAD-Anwender dagegen, im Fluss zu bleiben. Wir wenden uns jetzt diesen Gelegenheiten für Bandbreiten zu.

### 3.6 Gelegenheiten für Benutzerschnittstellen mit hoher Bandbreite

Im letzten Abschnitt wurden zwei wesentliche UI-Drosseln identifiziert:

- Begrenzte Eingabeströme
- Begrenzte Navigation

Für beide hat die Forschung Ansätze aufgezeigt, wie die Bandbreite deutlich erhöht werden kann.

#### Eingabeströme mit höherer Bandbreite

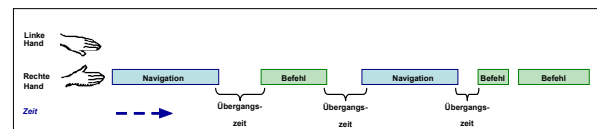
Wir haben das Problem eines einzelnen Eingabestroms vorgestellt, als wir die Beobachtung machten, dass 3D-CAD-Anwender versuchen, 5 bis 10 Mal mehr Befehle pro Minute durchzuführen als Gelegenheitsanwender. Während ein Einzelstrom für einen Gelegenheitsanwender kein großes Problem darstellen dürfte, haben 3D-CAD-Anwender viel höhere Anforderungen an die Bandbreite.

Ein sehr vielversprechender UI-Ansatz nutzt die Fähigkeit des Menschen, beide Hände gleichzeitig in sich ergänzender Art und Weise einzusetzen. Wie in Buxton (2002) angemerkt:

Ein Schüler blättert eine Seite im Buch um, während er Notizen macht. Ein Fahrer schaltet in den nächsten Gang, während er das Auto lenkt. Ein Aufnahmetechniker blendet das Schlagzeug aus, während er die Streicher einblendet.

Durch Ausstattung beider Hände mit Instrumenten zur Steuerung der Anwendung (in der Regel eine 3D-Maus in der linken Hand und eine herkömmliche Maus in der rechten Hand) lassen sich deutliche Bandbreitengewinne erzielen.

Betrachten wir zunächst, wie Schnittstellen mit individuellem Eingabestrom heute funktionieren.



Einzelner Anwendereingabestrom

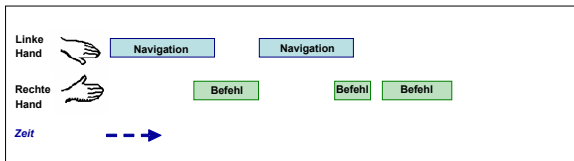
Beachten Sie, dass der Anwender beim Wechsel von einem Modus in einen anderen eine Übergangszeit



benötigt. Das fast universelle Beispiel hierfür ist Navigation und Auswahl. Die rechte Hand navigiert zunächst mit der Maus zur gewünschten Stelle, z. B. in einem Modell. Dann wechselt der Anwender den Modus, wobei die Maus zu einem Auswahlwerkzeug für einen Befehl wird. Dieser Prozess wiederholt sich unzählige Male.

Beachten Sie auch den Mangel an Parallelismus: Der Benutzer führt jeweils entweder Navigation oder Auswahl aus, aber niemals beides gleichzeitig.

Ein zweihändiger Strom würde das Aktivitätsprofil wie folgt verändern.

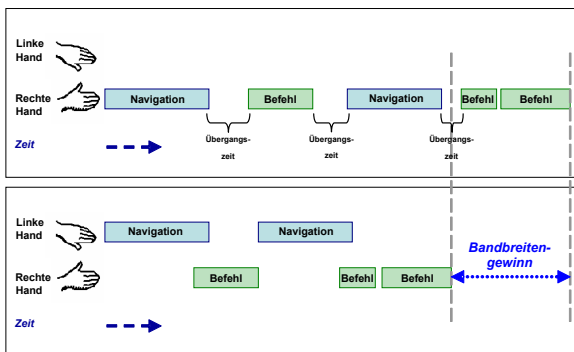


Zweihändige Eingabeströme

Jede Hand hält ein Instrument zur Durchführung von Aufgaben. Der Anwender muss daher nicht mit der rechten Hand vom Navigationsmodus in den Befehlsmodus und zurück wechseln. Durch die Beseitigung der unnötigen Wechsel wird die Bandbreitenanforderung wesentlich verringert.

Die menschliche Physiologie ermöglicht zudem parallele Aktivitäten, die miteinander synchronisiert werden können, wodurch weiteres Bandbreitenpotenzial freigesetzt wird. Dieser Parallelismus ist in dem vorstehenden Schaubild durch das teilweise Überlappen von Navigation und Befehlen dargestellt: Der Benutzer kann den Befehl mit der rechten Hand "starten", während die linke Hand die Navigation abschließt.

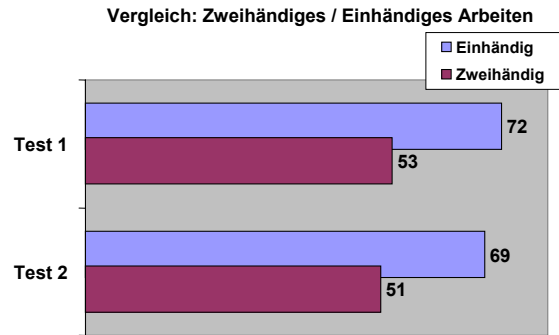
Der daraus resultierende Vergleich der einhändigen und zweihändigen Arbeit ist unten gezeigt.



Vergleich: Bandbreite einhändig (oben) / zweihändig (unten)

Das oben dargestellte Konzept wurde in einer von IBM durchgeführten Studie validiert (Zhai 1997). Hier wurde festgestellt, dass eine zweihändige Schnittstelle (in diesem Fall ein Joystick in der nichtdominanten Hand

und eine Maus in der dominanten Hand) bei Aufgaben, die Navigation und Auswahl einbeziehen, 1,36 Mal schneller war als die Verwendung der Maus allein.



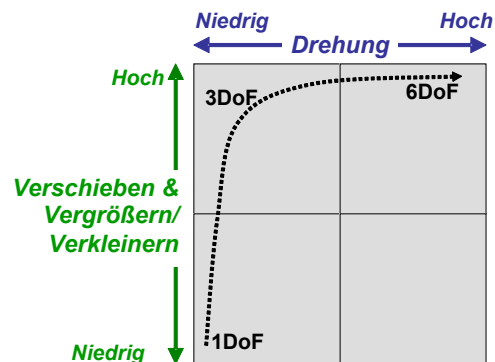
Vergleich: Einhändiges / Zweihändiges Arbeiten (Quelle: IBM – Zhai 1997)

In einer an der Universität Toronto durchgeführten Studie (1997) ließ sich durch zweihändige Schnittstellen bei kognitiv anspruchsvoller werdenden Aufgaben (größere, komplexere Modelle) eine noch deutlichere Leistungssteigerung als im Forschungsprojekt von Zhai erzielen.

### Navigation mit höherer Bandbreite

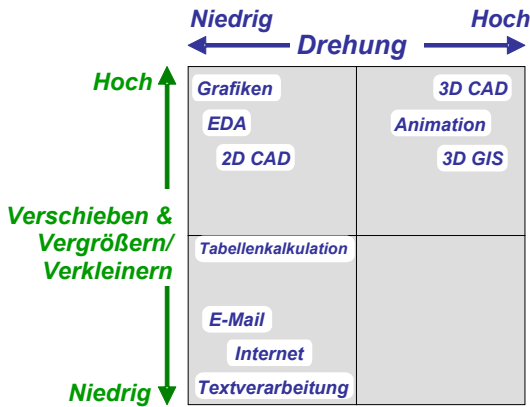
Wie zuvor beschrieben ist die Navigation in 3D-CAD-Anwendungen im Vergleich zu herkömmlichen 2D-Anwendungen viel häufiger und erfordert mehr DoF für effizientes Arbeiten.

Das folgende Diagramm zeigt, wie viele gleichzeitige DoF für verschiedene Navigationsarten erforderlich sind, von Drehen (Blättern) zu Verschieben und Vergrößern/Verkleinern und schließlich zu Verschieben, Vergrößern/Verkleinern und Drehen.



Anwendungsnavigation und DoF

3D-CAD-Anwendungen liegen in der Regel genau in der Mitte des 6DoF-Quadranten, wie das folgende Diagramm zeigt.



Navigation nach Anwendungstyp

Dadurch wird Potenzial für Geräte freigesetzt, die mehrere gleichzeitige DoF bieten – bis zu 6DoF für Anwendungen mit hohem Anteil an Funktionen wie Vergrößern/Verkleinern, Verschieben und Drehen; dies sind in der Regel 3D-Anwendungen.

Die folgende Tabelle zeigt gängige Eingabegeräte und ihre Eigenschaften, insbesondere die Anzahl gleichzeitiger DoF.

Gerätetyp	Gleichzeitige DoF	Grad oder Position	Beispiel
Zweitastenmaus	2	Position	Klassische Maus
Radmaus	2+1	Position	Microsoft IntelliMouse
Grafik-Tablett	2+1+1+1	Position	Wacom Intuos
Joystick	2+1	Grad	Logitech Wingman
3D-Controller	6	Grad	3Dconnexion SpaceBall

Gerätetypen und Eigenschaften

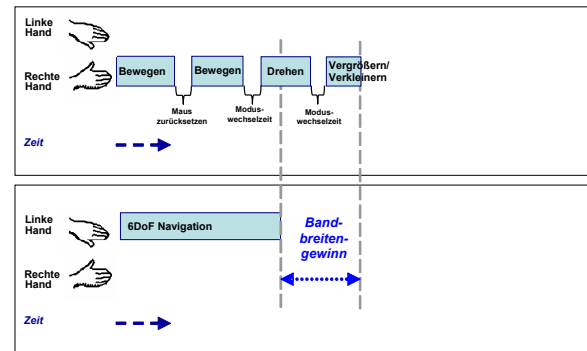
Die herkömmliche Maus bietet 2DoF – also die Möglichkeit, sie entlang einer Schreibtischoberfläche zu bewegen. Das Musrad bietet separat dazu 1DoF (in der Regel zum Blättern in textbasierten Anwendungen und zum Vergrößern/Verkleinern in 3D-Anwendungen). Anwender bewegen in der Regel nicht gleichzeitig die Maus und drehen das Rad, weshalb eine Radmaus als 2+1DoF-Gerät charakterisiert werden kann.

Ein 6DoF-Gerät ermöglicht dem Anwender das Vergrößern/Verkleinern, Verschieben und Drehen des Objekts in jede beliebige Richtung in einer flüssigen Bewegung.

Die spezifischen 2+1DoF-Fähigkeiten der Radmaus erfordern dagegen eine modale DoF-Belegung, um 6DoF-Navigation zu erzielen, in der Regel durch Drücken einer zusätzlichen Taste. Ein gängiger Ansatz sieht wie folgt aus:

- Modus A (Strg-Taste gedrückt) + Mausebewegung *verschiebt* das Modell
- Modus B (Alt-Taste gedrückt) + Mausebewegung *dreht* das Modell
- Modus C (keine Taste gedrückt) + Musrad *vergrößert* das Modell

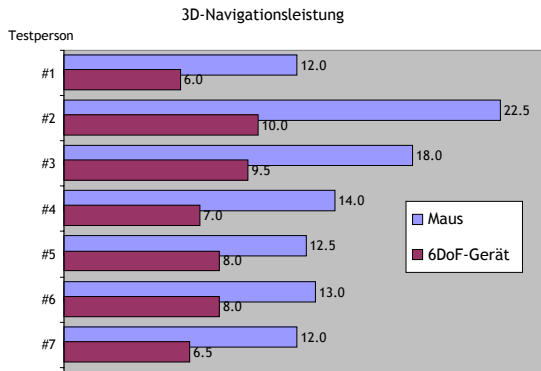
Auf Basis des UI-Bandbreitenkonzepts zeigt der folgende Vergleich den Bandbreitengewinn durch Verwendung eines 6DoF-Geräts für die 3D-Navigation.



Vergleich: 3D-Navigation mit Maus (oben) / 6DoF-Gerät (unten)

Eine der gängigsten Aktivitäten in 3D-CAD-Anwendungen ist die häufige präzise Bewegung eines Modells von einer Orientierung in eine andere. In einer GE-Studie mit sieben Anwendern (Salazar und Marteau, 2004) mussten sich Anwender mit einer klassischen Maus und einem 6DoF-Gerät von einem von acht möglichen Ausgangspunkten in eine präzise 3D-Zielorientierung bewegen (+/-1°).

In dieser GE-Studie konnten Anwender die 3D-Zielausrichtung mit einem 6DoF-Gerät (in diesem Fall eine 3D-Maus von 3Dconnexion) im Vergleich zu einer herkömmlichen 2D-Maus fast doppelt so schnell erreichen, wie das folgende Schaubild verdeutlicht.



3D-Navigationsleistung: Vergleich:  
Herkömmliche Maus / 6DoF-Gerät  
(Quelle: Salazar und Marteau 2004)

Mit der herkömmlichen Maus brauchten Anwender 89 % länger zur Durchführung der geforderten 3D-Orientierung. Alle Anwender waren zudem mit dem 6DoF-Gerät erheblich schneller, vom Faktor 1,56 bis zum Faktor 2,25, was darauf schließen lässt, dass die Ergebnisse allgemein für alle Anwender gelten sollten.

### Vergleich: Grad- / Positionierungsgeräte für Navigation

Ein weiterer beachtenswerter Punkt ist die Unterscheidung zwischen Grad- und Positionierungsgeräten und ihren jeweiligen Stärken für die Navigation. Die obige Tabelle mit Gerätetypen und Eigenschaften weist Grad- und Positionierungsgeräte aus. Zhai (1997) kam zu folgendem Ergebnis:

Wie sich in Kontrollstudien zur 6DoF-Eingabe gezeigt hat (Zhai und Milgram 1993, Zhai, Milgram und Drascic 1993, Zhai 1995), sind isotonische, frei bewegliche Geräte wie die Maus besser für die Positionskontrolle geeignet; isometrische oder elastische Geräte sind dagegen besser für die Gradkontrolle geeignet. Der Schlüsselfaktor zu diesem Kompatibilitätsproblem liegt im Selbstzentrierungseffekt bei isometrischen oder elastischen Geräten. Mit Selbstzentrierung lässt sich die Gradkontrolle auf einfache Weise erzielen. Ohne diese Funktion erfordert die Gradkontrolle eine gewisse mentale Anstrengung. Sowohl mit der Positionskontrolle als auch mit der Gradkontrolle sind Anwender in der Lage,

alle Aspekte der Bewegung zu steuern, u. a. Verschiebung, Bewegungsgeschwindigkeit oder Derivate einer höheren Ordnung. Jeder Modus entspricht aber direkt nur jeweils einem Aspekt: Verschiebung oder Geschwindigkeit.

Eine Gradkontrolltechnik, die mit isometrischen Geräten kompatibel ist, kann besonders gut für Navigationsaufgaben geeignet sein, bei denen sehr genaue und zudem sehr weite Bewegungen nötig sind (z. B. Blättern in umfangreichen Dokumenten, Drehen eines Modells, Bewegen einer Kamera), da die wiederholenden Prozesse der Freigabe und der erneuten Betätigung wie bei einer Maus wegfallen.

### 3.7 Fazit der UI-Forschungsergebnisse

3D-CAD-Computeranwender benötigen eine viel höhere UI-Bandbreite, um im "Fluss" ihrer Arbeit zu bleiben und ein optimales Leistungsniveau zu erreichen.

3D-CAD-Anwender führen 5 bis 10 Mal mehr Navigationen und Befehle pro Minute aus als herkömmliche Anwender. 6DoF-Navigationen kommen häufig vor, was die UI-Bandbreite weiter belastet. Diese Punkte in Kombination mit dem hohen Prozentanteil an Zeit, den 3D-CAD-Anwender mit der Arbeit an ihren CAD-Anwendungen verbringen, bieten erhebliche Gelegenheiten für Produktivitätssteigerungen durch Erhöhung der UI-Bandbreite.

Zwei UI-Ansätze bieten grundsätzliches Potenzial für eine Produktivitätssteigerung:

- Zweihändige Schnittstellen mit einer Maus in der dominanten Hand und einem Gradgerät in der nichtdominanten Hand (**laut IBM-Forschung 1,36 Mal schneller**)
- Ein 6DoF-Gerät für die nichtdominante Hand, insbesondere für 3D-Anwendungen (**laut GE-Forschung 1,89 Mal schneller**)

Diese Ansätze sollten darüber hinaus eine additive Wirkung haben, wodurch sich die UI-Bandbreite für 3D-CAD-Anwender weiter erhöht.

Die Umfrage unter CAD-Anwendern mit 3D-Maus und von einem leitenden CATIA-Anwendungsentwickler entwickelte Test mit Zeitmessung legen nahe, dass 3D-CAD-Konstrukteure erhebliche Produktivitätsgewinne erzielen können. Die Gründe für solche Gewinne werden durch grundlegende Forschungsprojekte zu Benutzerschnittstellen umfassend erläutert.

Die von CAD-Konstrukteuren gemeldeten Produktivitätsgewinne und die

Produktivitätszeitmessungen bei CATIA-Anwendern sind konkrete Belege aus diesen Forschungsprojekten.

Angesichts dieser beeindruckenden Produktivitätsgewinne soll jetzt die wichtigere Frage nach der Wirtschaftlichkeit angesprochen werden: Was ist der wirtschaftliche Nutzen der Ausstattung von CAD-Konstrukteuren mit 3D-Mäusen?

#### 4. WIRTSCHAFTLICHER NUTZEN VON 3D-MÄUSEN

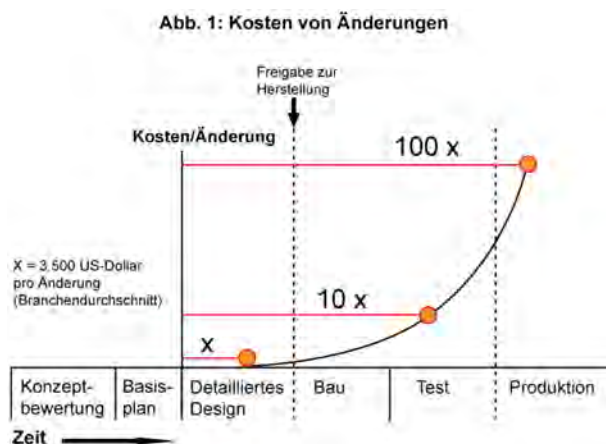
Es ist schwierig, die Auswirkungen einer höheren Produktqualität, einer Reduzierung von Mängeln und einer kürzeren Vorlaufzeit exakt zu quantifizieren. Mit den hier präsentierten Forschungsergebnissen kann aber die Rendite aus Produktivitätssteigerungen eines Konstrukteurs berechnet werden.

Dabei gilt es aber unbedingt zu beachten, dass Produktqualität, weniger Mängel und eine kürzere Vorlaufzeit viel größere finanzielle Auswirkungen haben als allein die Kosteneinsparungen durch einen produktiveren CAD-Konstrukteur.

So schreibt Gavin Finn in *Quality Digest*:

Eine Vernachlässigung der Designqualität hat sehr reale Kosten zur Folge. Wird auf Fehler oder Auslassungen in den Designdaten nicht frühzeitig eingegangen, sind an späterer Stelle im Produktentwicklungsprozess kostspieligere Änderungen erforderlich.

Dies ist in Finns "Früherkennungsdiagramm" unten dargestellt.



Wenn folglich allein auf Grundlage der Produktivitätsgewinne des Konstrukteurs eine Rendite nachgewiesen werden kann, besteht die begründete Annahme einer viel höheren Gesamtrendite.

Die Rendite der Investition in 3D-Mäuse für CAD-Konstrukteure ist von drei Hauptfaktoren abhängig:

- Kosten der 3D-Maus
- Gehalt des CAD-Konstrukteurs einschließlich Arbeitgeberleistungen
- Produktivitätsgewinne durch Verwendung der 3D-Maus

Unternehmen wenden zur Bewertung solcher Investitionen zwei gängige Metriken an: Amortisationsdauer und jährliche Rendite (ROI). Weitere Metriken (Kapitalwert (NPV), interner Zinsfuß (IRR) usw.) werden in diesem Bericht nicht angesprochen, ließen sich aber aus diesen Daten leicht ableiten.

#### 4.1 Amortisationsdauer und Rendite

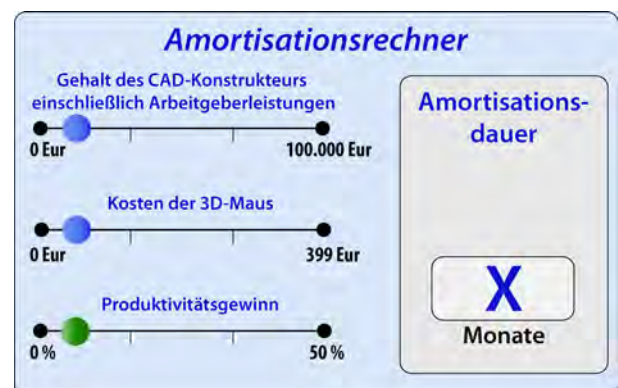
Die Amortisationsdauer bestimmt, wie schnell die gesamten Investitionskosten zurückgewonnen sind. Die Berechnung lautet wie folgt:

$$\text{Amortisationsdauer in Jahren} = \frac{\text{Kosten der 3D-Maus} / (\text{Jahresgehalt des CAD-Konstrukteurs einschließlich Arbeitgeberleistungen} * \text{Produktivitätsgewinn in \%})$$

Wie das folgende Schaubild zeigt, kann diese Berechnung grafisch als "Amortisationsrechner" dargestellt werden, in dem der Anwender drei Schieberegler verstellen kann:

- Gehalt des CAD-Designers einschließlich Arbeitgeberleistungen
- Kosten der 3D-Maus
- Produktivitätsgewinn

Der Amortisationsrechner würde dann die resultierende Amortisationsdauer in Monaten berechnen und anzeigen.





Bei der Renditenberechnung wird die fortlaufende Rendite einer Investition gemessen – in der Regel auf das Jahr umgerechnet, was eine umfassendere finanzielle Beurteilung ermöglicht. Die Berechnung lautet wie folgt:

$$\text{Jahresrendite} = \frac{((\text{Jahresgehalt des CAD-Konstrukteurs einschließlich Arbeitgeberleistungen} * \text{Produktivitätsgewinn in \%}) - \text{Kosten der 3D-Maus}) / \text{Kosten der 3D-Maus}}$$

Zwei dieser Variablen sind recht offensichtlich: Die Kosten der 3D-Maus und das Jahresgehalt des CAD-Konstrukteurs einschließlich Arbeitgeberleistungen. Die kritische Variable – der Produktivitätsgewinn – wird aus der Umfrage der 3D-Mausanwender abgeleitet.

Diese Werte bilden die Basis zur Ermittlung der erwarteten Rendite aus der Investition in 3D-Mäuse für CAD-Konstrukteure.

#### 4.2 Kosten für 3D-Mäuse

Die professionellen 3D-Mäuse von 3Dconnexion liegen preislich zwischen 99 und 399 Euro. Viele Unternehmen wählen aufgrund der größeren Funktionsvielfalt die professionellen Geräte – SpaceExplorer (299 Euro) oder SpacePilot (399 Euro). Zum Zweck dieser Analyse setzen wir die Kosten des SpacePilot von 399 Euro an.

#### 4.3 Gehalt und Kosten für CAD-Konstrukteure

Für die Beispielrechnung nehmen wir das durchschnittliche Jahresgehalt für einen CAD-Konstrukteur für 2008 mit 58.000 Euro an.



Dies unterliegt selbstverständlich den üblichen Schwankungen durch Faktoren wie Berufserfahrung, Standort und Branche. 3D-CAD-Konstrukteure verdienen in der Regel mehr als 2D-CAD-Konstrukteure.

Arbeitgeberleistungen (Urlaub, Krankenversicherung usw.) werden konservativ als 25 % des Grundgehalts geschätzt, wodurch sich durchschnittliche Kosten von 72.500 Euro pro CAD-Konstrukteur einschließlich Arbeitgeberleistungen ergeben.

Nebenkosten wie Arbeitsplatz, Arbeitsgeräte usw. stellen einen weiteren erheblichen Kostenfaktor dar.

Angesichts fehlender aussagekräftiger Daten wird dieser Faktor in der Analyse ignoriert.

#### 4.4 Produktivitätsgewinne durch 3D-Mäuse

Die Produktivitätsgewinne durch den Einsatz von 3D-Mäusen werden berechnet, indem man den durchschnittlichen Produktivitätsgewinn laut Umfrage mit dem durchschnittlichen Prozentanteil des Tages multipliziert, den Konstrukteure mit der Arbeit an 3D-CAD-Anwendungen verbringen.

Der durchschnittliche Produktivitätsgewinn betrug laut Umfrage der 190 3D-Mausanwender 21 %. Die durchschnittliche Zeit, die Anwender nach eigener Aussage pro Arbeitstag mit ihren CAD-Anwendungen arbeiteten, betrug fünf Stunden; es wird eine konservative Schätzung von 50 % ihres Arbeitstages angesetzt.

Durch Multiplikation dieser beiden Zahlen erhält man einen durchschnittlichen Produktivitätsgewinn von 10,5 %.

Wenn man nun die frühere Formel für die Amortisationsdauer

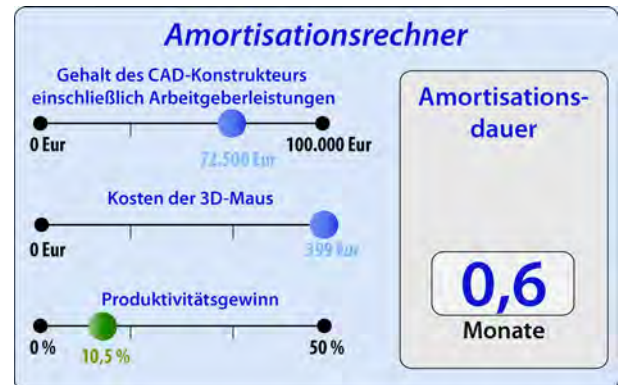
$$\text{Amortisationsdauer in Jahren} = \frac{\text{Kosten der 3D-Maus} / (\text{Jahresgehalt des CAD-Konstrukteurs einschließlich Arbeitgeberleistungen} * \text{Produktivitätsgewinn in \%})}$$

verwendet, erhält man die folgende Berechnung:

$$399 \text{ Euro} / (72.500 \text{ Euro} * 10,5 \%) = 0,052 \text{ Jahre} \text{ (19 Tage)}$$

Daraus folgt, dass sich die Kosten für die Investition in eine 3D-Maus durchschnittlich in weniger als einem Monat amortisieren werden.

Durch Einstellung der drei Schieberegler des Amortisationsrechners auf diese Zahlen sehen wir, dass sich ebenfalls ca. 19 Tage ergeben (= 0,6 Monate).



## 5. FAZIT

Ziel dieses Berichts war es, die von verschiedenen Seiten geäußerte Behauptung zu prüfen, 3D-Mäuse könnten zu deutlichen Produktivitätssteigerungen für CAD-Konstrukteure führen. Des Weiteren sollte die UI-Forschung bewertet werden, die ebenfalls auf beeindruckende Produktivitätsgewinne schließen ließ.

Auf Grundlage einer Umfrage von 190 3D-Mausanwendern verzeichnen CAD-Konstrukteure in der Tat deutliche Produktivitätsgewinne von mehr als 20 % beim Einsatz von 3D-Mäusen mit ihren CAD-Anwendungen.

Einundzwanzig CATIA-Anwender zeigten in einem Zeitvergleich der Arbeit ohne bzw. mit 3D-Maus ähnliche Leistungssteigerungen (18 %).

Diese Anwender bekräftigten ferner die Beobachtungen aus der zugrundeliegenden UI-Forschung, dass 6DoF-Navigation und gleichzeitiger Einsatz beider Hände zentrale Faktoren für ihre Leistungssteigerungen waren.

Schließlich wurde gezeigt, dass sich eine Investition in eine 3D-Maus ungewöhnlich schnell amortisiert – in weniger als einem Monat. Dies führt zu der Schlussfolgerung, dass Unternehmen gut damit beraten wären, die Einführung von 3D-Mäusen für ihre CAD-Konstrukteure proaktiv in Betracht zu ziehen.

## 6. REFERENZEN

- Bederson, B.B. (2002) Interfaces for Staying in the Flow, Human-Computer Interaction Lab, University of Maryland.
- Buxton, W., Billinghurst, M., Guiard, Y., Sellen, A., und Zhai, S. (2002). *Human Input to Computer Systems: Theories, Techniques and Technology*.
- Buxton, W. (1986) There's more to interaction than meets the eye: some issues in manual input. *User Centered System Design*, Lawrence Erlbaum Associates, Norman, D.A. und Draper, S.W. (Eds.), 3 19–337.
- Buxton, W. und Myers, B. (1986) A study of two-handed input. *Proceedings of CHI 86: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 321–326.
- Callahan, J., Hopkins, D., Wisner, M. und Shneiderman, B. (1988) An Empirical Comparison of Pie vs. Linear Menus, Computer Science Department, University of Maryland.
- Fitts, P. (1954) The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 46, 199–210.
- Guiard, Y. (1987) Asymmetric division of labor in human skilled bimanual action: The kinematic chain as a model. *Journal of Motor Behavior*, 19(4) 486–517.
- ISUR Project: Industry Usability Report (1999) NIST White Paper.
- Kabbash, P., Buxton, W. und Sellen, A. (1994) Two-handed input in a compound task. *Proceedings of CHI 94: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 417–423.
- Leganchuk, A., Zhai, S. und Buxton, W. (1996) Manual and cognitive factors in two-handed input: an experimental study. Zur Publikation angemeldet.
- MacKenzie, I.S., Sellen, A. und Buxton, W. (1991) A comparison of input devices in elemental pointing and dragging tasks (1991). *Proceedings of CHI 91: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New Orleans, Louisiana, 161–166.
- Nielsen, J. (1994) *Usability Engineering*.
- Poulton, E.C. (1974) *Tracking skill and manual control*. New York, Academic Press.
- Rutledge, J. und Selker, T. (1990) Force-to-motion function for pointing. *Proceedings of INTERACT '90: The IFIP Conference on Human Computer Interaction*, 701–705.
- Salazar, P. und Marteau, J-M. (2004) Designing a 3D Input Device for Interventional Radiology GE Healthcare, Global Industrial Design Department.
- Smith, D.C., Irby, C., Kimball, R., Verplank, W. und Harslem, E. (1982) Designing the Star user interface. *Byte*, 7(4), 242–282.
- Venolia, D. (1993) Facile 3D direct manipulation. *Proceedings of INTERCHI '93: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, Amsterdam, The Netherlands*, 3 1–36.
- Zhai, S. (1995) *Human Performance in Six Degree of Freedom Input Control*, Ph.D. Thesis, University of Toronto. [http://etclab.mie.utoronto.edu/people/shumin\\_dir/publications.html](http://etclab.mie.utoronto.edu/people/shumin_dir/publications.html).
- Zhai, S. und Milgram, P. (1993) Human performance in evaluation of manipulation schemes in virtual environments. *Proceedings of VRAIS '93: IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, Seattle, Washington, 155–161.
- Zhai, S., Milgram, P. und Drascic, D. (1993) An evaluation of four 6 degree-of-freedom input techniques. *Adjunct Proceedings of INTERCHI '93: The IFIP Conference on Human-Computer Interaction*, Amsterdam, The Netherlands, 155–161.
- Zhai, S., Smith, B. und Selker, T. (1997) Improving Browsing Performance: A Study of Four Input Devices for Scrolling and Pointing Tasks. *Proceedings of INTERACT '97*.