

## 4 Mikrowelten in Squeak

Barbara Groß

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Psychologie

### 4.1 Mikrowelten – Eine kurze Einführung

#### 4.1.1 Warum Mikrowelten?

Sollen für eine wissenschaftliche Untersuchung empirische Daten erhoben werden, sind zu Beginn einige wichtige praktische Entscheidungen zu treffen. Um interessante Ergebnisse zu erzielen, die sich später übertragen lassen, wird Realitätsnähe und damit Komplexität gebraucht. Eine Untersuchung sollte aber auch leicht zu handhaben, die Variablen gut zu kontrollieren und die Faktorenwirkungen eindeutig nachvollziehbar sein. Die Komplexität darf nicht zu hoch sein. Welches Verhältnis wird nun für Realitätsnähe und Kontrollierbarkeit angestrebt? Und wie lassen sich Realitätsnähe und Effizienz miteinander vereinbaren?

An einem Beispiel: Im Projekt ATEO (Arbeitsteilung Entwickler Operateur) geht es um Fähigkeiten im Umgang mit komplexen technischen Systemen. Menschen in der Rolle von Entwicklern von Assistenzsystemen bzw. Automatikfunktionen werden Operateuren solcher Systeme gegenübergestellt (Abbildung 7). Im Fokus der Aufmerksamkeit stehen die Antizipation eines Systems durch Entwickler und die Reaktionen im System durch Operateure:

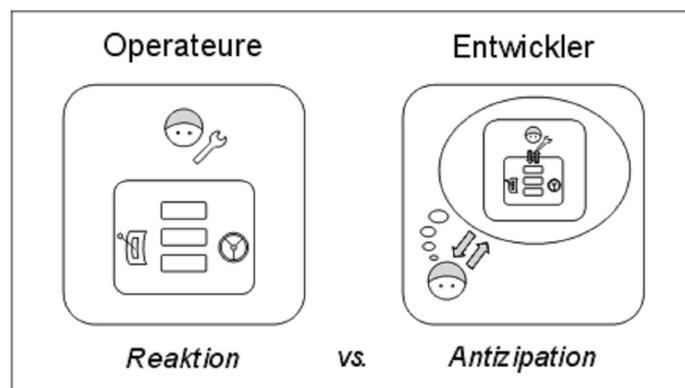


Abbildung 7: Arbeitsteilung Entwickler Operateur

Wann können Entwickler für ein zukünftiges System gut vorausplanen? Mit welchen Situationen können Operateure gut umgehen, wann brauchen sie Unterstützung?

Aus arbeitsökonomischen Erwägungen heraus kommen Felduntersuchungen nicht in Frage. Der Untersuchungsaufwand wäre zu hoch, die relevanten Variablen und deren Wirkungsmechanismen zu schlecht zu kontrollieren und die Güte der Ergebnisse damit zu niedrig. Aber wie lässt sich ein komplexes System im Labor untersuchen?

Möglichst direkt. Immer leistungsfähigere und leichter verfügbare Rechentechnik ermöglicht es, interessierende Ausschnitte der realen Welt mittels Computer im Labor nachzubilden, zu simulieren. Die Bandbreite von Simulationen ist sehr groß. Sie reicht von vollwertigen high-end Nachbildungen von Systemen und Prozessen als Ersatz für die Realität bis hin zu schlichten Laborumgebungen, welche die Durchführung von einfachen Aufgaben ermöglichen, die es in der Realität so nicht gibt. Sie können kompliziert sein wie die komplexesten militärischen Flugsimulatoren oder einfach wie Aufgabenumgebungen zum Paar-Assoziations-Lernen in der Gedächtnisforschung.

Ein wichtiges Merkmal von Simulationsumgebungen ist, dass sie der Laborforschung dienen. Ihre essentielle Gemeinsamkeit ist, dass die durch sie ermöglichten Aufgaben nicht um ihrer selbst Willen erschaffen werden, sondern um Forschungsfragen zu beantworten (Gray 2002).

Für die oben genannten Spannungsfelder zwischen Realitätsnähe, Kontrolle und Effizienz liegen die Vorteile von Forschung mit simulierten Umgebungen gegenüber Beobachtungen in der realen Welt auf der Hand (DiFonzo et al. 1998):

Explizite Auswahl von Variablen und gezielte Erschaffung der experimentellen Bedingungen bedeuten stringente Kontrolle. Die Abbildung des komplexen und dynamischen Charakters von Umweltbedingungen lässt einen hohen Grad an experimenteller Realitätsnähe zu.

Die Forschungsarbeit wird effizient durch die im Gegensatz zur realen Welt relativ einfache Anpassbarkeit der Versuchsbedingungen und die bei moderaterem Einsatz von Mitteln akkuratere Erhebung von Leistungsmaßen. Dazu tragen auch die gegenüber den Felduntersuchungen relativ geringen Kosten der laufenden Forschung bei, auch wenn für den Aufbau der Simulationsumgebung unter Umständen zunächst eine größere Menge Kapital eingesetzt werden muss.

Dazu kommt, dass auch gefährliche Situationen ohne Risiko für die Testpersonen präsentiert werden können (Frieling & Sonntag 1999). Daraus ergibt sich eine wichtige Erweiterung des Anwendungsspektrums, wie zum Beispiel für Trainingsfragen im Hochsicherheitsbereich.

Mikrowelten sind eine besondere Form der Simulationsumgebungen.

#### 4.1.2 Was genau sind Mikrowelten?

Mikrowelten werden definiert als komplexe computer-generierte Systeme, die Bedingungen aus dem Feld der realen Welt herstellen und dabei ein Studium des Verhaltens von Menschen unter Laborbedingungen ermöglichen. Sie werden charakterisiert durch drei gemeinsame Merkmale (Brehmer & Dörner 1993):

Das erste ist ein hoher Grad an *Komplexität*. Charakteristisch für Mikrowelten ist das Vorhandensein mehrerer eng miteinander verbundener Prozesse, mit denen umgegangen werden muss und mehrerer Ziele, die zu verfolgen sind. Dies erfordert das Treffen oftmals schwieriger Entscheidungen. Zweitens sind Mikrowelten gekennzeichnet durch *Dynamik*. Prozesse laufen weiter, auch wenn keine Eingaben in das System gemacht werden. Zeit wird zu einer kritischen Variable. Das dritte wichtige Bestimmungsstück von Mikrowelten ist die so genannte *Opaqueness*. Diese bedeutet, dass nicht alle Aspekte und Parameter des Systems direkt beobachtbar sind, sondern aus zugänglichen Systeminformationen Schlüsse gezogen werden müssen.

Mikrowelten bieten ein weites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten. Eine besondere Tradition hat ihr Einsatz in der Forschung zum komplexen Problemlösen. Ein exemplarischer Vertreter ist Lohhausen (Dörner et al. 1994). In dieser Simulation einer Kleinstadt wurde anhand der Aufgaben eines Bürgermeisters der Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität studiert. Ziel war, das Wohlergehen der Gemeinde zu optimieren. Ein weiteres Beispiel ist C<sup>3</sup>Fire (Granlund 1997; www.c3fire.org), das die Arbeit einer Feuerwache bei der Brandbekämpfung simuliert. Die Grundaufgabe, mehrere Einsatzgruppen zu koordinieren, um fiktive Waldbrände in der Umgebung zu löschen, wird genutzt, um Entscheidungsverhalten zu untersuchen und zu trainieren.

Der zweite große Anwendungsbereich für Mikrowelten findet sich in der Human Factors Forschung im Kontext des Designs bestimmter Arbeitsbereiche (Sauer et al. 2003). Ein Beispiel aus der Prozesskontrolle ist das Cabin Air Management System CAMS (Sauer et al. 2000), in dem das Lebenserhaltungssystem eines fiktiven Raumschiffes zu regulieren ist. Es dient der Erforschung menschlichen Verhaltens bei der Arbeit mit komplexen Systemen. In diesen Bereich ordnet sich auch die ATEO-Mikrowelt ein.

## 4.2 Die Eignung von Squeak für Mikrowelten

### 4.2.1 Warum Squeak für Mikrowelten?

Eine detaillierte Vorstellung der Entwicklungsumgebung Squeak ist bereits mit der Einführung in Squeak zu Beginn dieses Kapitels erfolgt, sie soll an dieser Stelle nicht wiederholt werden. Entscheidend für die Verwendung von Squeak zur Umsetzung von Mikrowelten im Forschungskontext sind zwei Dinge:

Zum einen ist Squeak so aufgebaut und implementiert, dass es möglich ist, über einen spielerischen Einstieg in die Programmierarbeit und den Austausch von Werkzeugen zwischen verschiedenen Projekten der lebendigen Squeak-Community schon mit einfachen Mitteln Mikrowelten entstehen zu lassen. Als eines von vielen eindrucksvollen Beispielen sei hier die Simulation einer Mondlandung genannt (Gälli & Denker 2004; [www.squeakland.org](http://www.squeakland.org)).

Zum anderen kommt hier die Squeak zu Grunde liegende Objektorientierung zum Tragen. Praktischen Forderungen an Mikrowelten, wie die nach Erweiterbarkeit zur Nutzung für verschiedene Fragestellungen, kann durch Objektorientierungskonzepte wie Wachstum durch Zusammenfügen einzelner funktionierender Komponenten und Wiederverwendbarkeit gut nachgekommen werden. Das macht Squeak zu einem besonders geeigneten Werkzeug, um mit Mikrowelten zu arbeiten.

#### 4.2.2 Was bedeutet Objektorientierung?

Die Idee objektorientierter Programmierung ist es, Daten und die darauf arbeitenden Methoden als *Einheiten* aufzufassen, diese werden Objekte genannt. Damit bildet es einen Gegenpol zum prozeduralen Programmierparadigma, in dem Daten von den darauf arbeitenden Routinen getrennt gehalten werden in separaten Strukturen.

Um Objektorientierung zu verstehen, bietet sich ein Vergleich an mit vertrauten Strukturen aus der Biologie. Objekte weisen große Ähnlichkeiten mit Zellen auf (Guzdial 2001):

Sie sind unteilbar und unabhängig, können jedoch mit anderen über bestimmte Mechanismen interagieren. Durch Kombination vieler solcher kleinen Einheiten können sehr komplexe und robuste Einheiten entstehen, die weiter wachsen oder im Ganzen oder in Teilen anderweitig wieder verwendet werden können.

Komplexität wird dadurch handhabbar, dass jedes Objekt seine eigene Funktion erfüllen kann – ohne den Einfluss anderer Objekte und ohne selbst andere zu beeinflussen. Diese Unabhängigkeit führt dazu, dass der Verlust eines Objektes nur andere Objekte beschädigt, die direkt von Zuarbeiten oder der Rolle des verlorenen Objektes abhängen. Das macht Systeme robust. Verlorene Objekte können durch Reproduktion ersetzt werden wie Zellen. Liefert dazu für Zellen die Erbinformation den Bauplan, liegen auch für Objekte entsprechende Anleitungen vor. Diese werden Klassen genannt und definieren jeweils, wie Objekte der gleichen Art gebaut werden können.

Wachstum wird ermöglicht durch die konsequente Verwendung gleicher Grundstrukturen und Kommunikationsmechanismen. So lassen sich viele Objekte miteinander kombinieren zu komplexen Systemen, wie sich Zellen kombinieren lassen zu Organen und ganzen Organismen. Da jedes Objekt in der Lage ist, seine Rolle nahezu unabhängig von anderen Objekten erfüllen, kann es dies in ganz verschiedenen Systemen, wenn diese ähnliche Anforderungen stellen. Damit werden Objekte wiederverwendbar.

Stellt man die Grundprinzipien der Objektorientierung den Anforderungen an eine Mikrowelt gegenüber, wird schnell deutlich, wie gut das eine Konzept dem anderen entgegen kommt. Die Passung soll am Beispiel der Entwicklung der ATEO-Mikrowelt berichtet werden.

### 4.3 Die Umsetzung einer Mikrowelt in Squeak

#### 4.3.1 Wofür wird eine neue Mikrowelt gebraucht?

Da es in diesem Beitrag zentral um die Umsetzung von Mikrowelten geht, können inhaltliche Aspekte nur kurz angerissen werden. Wie bereits beschrieben, werden Menschen in der Rolle von Entwicklern von Assistenzsystemen bzw. Automatikfunktionen Operateuren solcher Systeme gegenübergestellt. Die gewonnen Erkenntnisse sollen dazu dienen, auf der Grundlage einer verbesserten Arbeitsteilung zwischen Entwicklern und Operateuren zukünftig eine kompetenzförderliche und zuverlässige Funktionsteilung Mensch-Maschine zu erreichen.

Benötigt wird eine experimentelle Situation, deren Aufgaben sowohl Operateure als auch Entwickler vor sinnvolle Herausforderungen stellen und deren Lösungen miteinander verglichen werden können. Gewählt wurde eine Unterstützungsaufgabe in der Mikrowelt einer Straßenlandschaft. Um die Übertragung der gewonnen Erkenntnisse auf verschiedene Mensch-Maschine-Systeme zu erleichtern, wird auf eine weitere Explizierung der Domäne verzichtet.



Abbildung 8: Screenshots der Fahrsituation

Eine Grenze bisher entwickelter Mikrowelten besteht darin, dass die implementierten Funktionen entweder deterministisch oder stochastisch sind. In ersterem Fall sind Ereignisse prinzipiell von Menschen vorhersehbar, auch wenn sie hochkomplex und interdependent sind. In letzterem ist Vorhersehbarkeit naturgemäß unmöglich. Für die Beobachtung des Verhaltens von Menschen im Umgang mit komplexen Systemen passt beides nicht richtig. Zur Erhöhung der ökologischen Validität wird daher der Ansatz verfolgt, für empirische Untersuchungen eine Mikrowelt um eine lebende Komponente zu erweitern, um reale Mikroweltbewohner. Menschen als wichtiger Faktor für Komplexität in einem System werden dabei nicht simuliert, sondern in festgelegten Rollen als Teil der Versuchsumgebung eingesetzt.

Grundidee der ATEO-Mikrowelt ist es, eine prinzipiell einfache Aufgabe auf verschiedenen Ebenen sukzessive anzureichern. Die Mikrowelt besteht zu Beginn der Entwicklung in der einfachen Simulation einer Straßenlandschaft, in der zwei Mikroweltbewohner gemeinsam ein Objekt die Straße entlang steuern (Abbildung 8).

Dieser Vorgang der Verfolgung einer Spur wird Tracking genannt. Eine gute Leistung im Tracking kann nur erreicht werden, wenn beide Mikroweltbewohner ihre Handlungen aufeinander abstimmen.

Die Aufgaben der Mikroweltbewohner werden auf verschiedenen Ebenen nach und nach erweitert, um das System insgesamt komplexer werden zu lassen.

Der Operateur, dessen Verhalten mit Hilfe der Mikrowelt erfasst werden soll, bekommt die Aufgabe, die beiden Mikroweltbewohner bei der Bewältigung ihrer Aufgaben zu unterstützen. Er beobachtet das System in Echtzeit und bekommt die Möglichkeit, auf verschiedene Weisen in das System einzugreifen (Abbildung 9). Er kann z. B. bestimmte Aktionen der Mikroweltbewohner blockieren, begrenzen, verstärken oder informative Warnungen, Hinweise und Rückmeldungen geben.

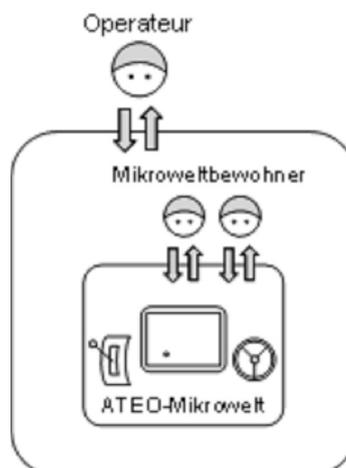


Abbildung 9: Unterstützungsaufgabe des Operateurs

Zur Untersuchung des Entwicklerverhaltens werden Entwickler dazu angehalten, ein Assistenzsystem zu entwickeln, das an Stelle des supervidierenden Operateurs die beiden Mikroweltbewohner bei der Erfüllung ihrer Aufgaben unterstützt.

Am Ende werden die Leistungen der Operateure mit denen der von den Entwicklern entwickelten Assistenzsysteme verglichen.

#### 4.3.2 Wie wird die ATEO-Mikrowelt realisiert?

Durchgehend verfolgtes Grundprinzip bei der Entwicklung der ATEO-Mikrowelt ist Modularität. Ermöglicht wird das durch die Objektorientierung von Squeak. Einzelne funktionierende Grundeinheiten werden nach und entwickelt und erprobt und können dann schrittweise zu einem komplexen Gesamtsystem zusammengesetzt werden. Dieses Prinzip des Wachstums wird durch einen konsequenten Baukastencharakter auf allen Ebenen umgesetzt.

So lässt sich unter anderem die Fahrstrecke durch einfaches Klicken & Ziehen aus einem Baukasten mit Streckenelementen zusammensetzen (Abbildung 10).

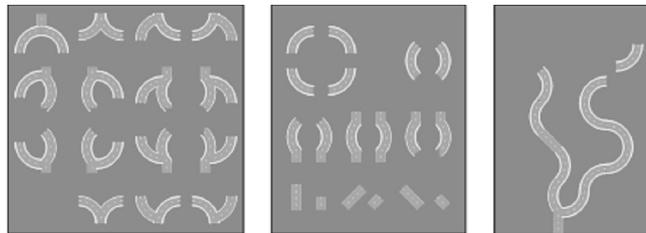


Abbildung 10: Baukästen zur Streckenerstellung

Für das Fahrzeug wurden bisher drei eigenständige Steuerungsmodul implementiert – für die Steuerung über eine Maus, über einen Joystick oder im kooperativen Modus gleichzeitig über zwei Joysticks. Je nach Bedarf kann eine Steuerungsart ausgewählt und verwendet werden.

Über den Einsatz von Farbsensoren am Fahrzeug in Verbindung mit einfachen Wenn-Dann-Regeln wurde ein visuelles Feedback für die Übertretung der Straßenrandbegrenzung realisiert. Die Sensoren befinden sich rings um das Fahrzeug und prüfen, welche Farbe der Untergrund gerade hat. *Wenn* die Farbe nicht mehr grau oder weiß ist, wie die Fahrbahn und ihre Markierungen, *dann* kann in verschiedenen Abstufungen eine Farbänderung des Fahrzeuges ausgelöst werden. Diese weist den Fahrer darauf hin, dass das Fahrzeug die Straße verlassen hat und unterstützt damit korrektes Steuern. Damit steht auch schon ein erstes einfaches Assistenzsystem zur Verfügung. Durch konsequente Objektorientierung lässt es sich mit den vorhandenen Steuerungsvarianten frei kombinieren.

Auch Aufgaben für Mikroweltbewohner und Operateur sollen hinzugefügt oder wieder weggenommen werden können, ebenso Möglichkeiten der Interaktion und Kommunikationen im und mit dem System.

Ziel ist es, am Ende gemäß des Konzeptes der Wiederverwendbarkeit nicht eine feste Mikrowelt zur Verfügung zu haben, die sich für die Beantwortung einer bestimmten Forschungsfrage eignet. Ziel ist es, eine lauffähige Basisvariante zur Verfügung zu stellen, die sich durch verschiedene Kombinationen vorhandener und neu entwickelter Komponenten zu so vielen Formen der Mikrowelt ausbauen lässt, wie sich Forschungsfragen finden lassen.

Die Modularität ermöglicht in flexibler Handhabung sowohl Kontrolle als auch die Herstellung von Realitätsnähe. Es steht dem Forscher frei, je nach Fragestellung den Fokus zwischen beidem am jeweiligen Bedarf auszurichten.

Effizienz in der Datenerhebung wird von Squeak durch eine Eigenschaft unterstützt, die bisher noch keine Erwähnung gefunden hat. Es verfügt über verhältnismäßig einfache Mechanismen, um Input-Output-Modelle umzusetzen. Input steht hier zum Beispiel für das Einlesen von Graphiken und die Abnahme von Benutzereingaben, Output unter anderem für das Schreiben von Logfiles. Die Forderungen nach Realitätsnähe, Kontrollierbarkeit und Effizienz lassen sich also mit der ATEO-Mikrowelt in angemessener Form umsetzen. Squeak bietet dafür eine gute Grundlage.

## 4.4 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Untersuchung komplexer und dynamischer Systeme bieten Mikrowelten einen praktikablen Weg, den gegensätzlichen Forderungen nach Realitätsnähe, Kontrollierbarkeit und Effizienz nachkommen zu können. Aufbau und Implementierung von Squeak ermöglichen einen spielerischen Einstieg in die Programmierarbeit und lassen schon mit einfachen Mitteln Mikrowelten entstehen. Die zu Grunde liegende Objektorientierung – die explizit für Mikrowelten essentielle Eigenschaften wie Wachstum durch Zusammenfügen einzelner funktionierender Komponenten und Wiederverwendbarkeit vorsieht – macht Squeak zu einem besonders geeigneten Werkzeug, um mit Mikrowelten zu arbeiten.

Mit ersten Forschungsarbeiten konnte gezeigt werden, dass das Grundkonzept der ATEO-Mikrowelt funktioniert und tragfähig ist. Arbeiten zu Streckenmerkmalen der Versuchsumgebung, Variationen der Versuchsdurchführung und Faktoren der Aufgabensituation, wie der Einfluss verschiedener Instruktionen, wurden bereits abgeschlossen, eine Studie zum Einfluss von Personenmerkmalen der Mikroweltbewohner auf die Komplexität des Systems befindet sich in der Durchführung.

Gegenwärtig wird daran gearbeitet, eine lauffähige Basisvariante der Mikrowelt fertig zu stellen. Gesucht werden Ergänzungen der Mikrowelt und potentielle Anwendungsmöglichkeiten. Wurde Ihr Interesse geweckt? Dann setzen Sie sich mit uns in Verbindung!

### **Danksagung**

Ein Teil der Arbeiten wurde von der DFG im Rahmen des Programms Graduiertenkollegs (GRK 1013: Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion) gefördert. Besonderen Dank an Joachim Warning und Knut Polkehn für die vielen Gedanken und die praktische Unterstützung bei der Umsetzung der Mikrowelt.

### **Kontaktinformationen**

Humboldt-Universität zu Berlin  
Institut für Psychologie  
Abteilung für Ingenieurpsychologie/Kognitive Ergonomie  
Barbara Groß

Rudower Chaussee 18  
12489 Berlin  
barbara.gross@psychologie.hu-berlin.de