

Agenten in simulierten Umgebungen

Fluchtverhaltenssimulation mit SeSAM

Analyse des Verhaltens von Menschengruppen
in geschlossenen Räumen (speziell in Panik)

von Philip Harborth & Daniel Beckmann, Wintersemester 2004/05

Gliederung

Gliederung	1
Einleitung	2
Motivation.....	2
Was ist Panik, was löst Panik aus?.....	2
Wie reagieren Menschen in Panik?	2
Ziele der Modellierung	2
Modellierung der Realität: Was wurde abgebildet und untersucht?.....	3
Wie verlassen Menschen Räume?	3
Welche Arten von Räumen gibt es?	3
Welche Arten von Panikverhalten gibt es?	3
Welche Sichtverhältnisse gibt es?	4
Realisierung des Modells in SeSAM: Elemente in SeSAM.....	4
Die „World“	4
Die Ressourcen: Ausgang, Hindernis (Wand), Feuer und Hinweisschild	5
Der Ausgang	5
Das Hindernis (Wand)	5
Das Feuer.....	5
Das Hinweisschild	6
Der Agent – der Mensch	6
Beobachtungen, Analyse & Ergebnisse	9
Geschwindigkeitsveränderung.....	9
Änderung der Ausgangszahl und –größe	10
Änderung der Hindernisanzahl	10
Änderung der Raumgröße	11
Vergleich: Individual- vs. Gruppenverhalten	12
Veränderung der Sichtverhältnisse.....	13
Abschließendes Urteil.....	14
Was ist das optimale Fluchtverhalten?	14
Arbeiten mit SeSAM: Kontra.....	15
Arbeiten mit SeSAM: Pro	15

Einleitung

Motivation

Eine der verhängnisvollsten Formen menschlichen Verhaltens ist Panik und deren Folgen. Durch sie können Personen verletzt und im Extremfall sogar getötet werden. Doch wie entsteht eigentlich Panik, was löst sie aus?

Was ist Panik, was löst Panik aus?

Einerseits sind es lebensbedrohliche Situationen wie ausbrechendes Feuer, welche in Menschen Panik auslösen und ihr Verhalten verändern.

Andererseits kann auch schon eine lebensbedrohlich erscheinende Lage, möglicherweise ausgelöst durch Klaustrophobie, Panik in einem Menschen auslösen. Schnell wird dieses unkontrollierte Verhalten auf Andere übertragen.

Des Weiteren kann ein Ansturm auf gute Plätze, durch den ein zu aggressives Verhalten und hohe Interaktionskräfte hervorgerufen und dadurch Menschen verletzt werden, Massenpanik auslösen. Schließlich kann der Grund für Panik nicht offensichtlich erkennbar sein. Häufig ist der Auslöser panischer Flucht auf das Verhalten einer bestimmten Person zurückzuführen, obwohl es objektiv betrachtet hierzu keinen Anlass gäbe.

Wie reagieren Menschen in Panik?

Auf die oben beschriebenen Situationen reagieren Menschen sehr unterschiedlich, schwer ist ein einheitliches Verhalten zu erkennen. Generell ist aber festzustellen, dass Menschen in Panik sich deutlich schneller bewegen; Interaktion mit anderen Personen, also Drängeln und Drücken, entsteht oder erhöht sich. Beim Verlassen des Raumes durch den Ausgang ist jeder mehr und mehr auf sich fixiert, es ist einzig und allein wichtig, den Ausgang zu erreichen und sein eigenes Leben zu retten. Da nicht mehr darauf geachtet wird, wie die Gesamtheit den Raum möglichst schnell verlassen kann, kommt es zu unkoordiniertem Verhalten, Blockierungen in Engpässen und schließlich zu Stau. In diesem Fall ist der Ausgang blockiert, von hinten wird aber immer noch versucht, den Ausgang zu erreichen. Dies führt dazu, dass sich die körperlichen Interaktionen zu sehr hohen Kräften addieren, Menschen dadurch verletzt oder sogar erdrückt werden und sich letztendlich die Fluchtgeschwindigkeit aufgrund der Hingefallenen und Verletzten zusätzlich verringert.

Daneben versuchen Menschen, sich an anderen zu orientieren, da sie selbst in diesem Moment eventuell nicht wissen, wo der Ausgang ist oder/und einer anderen Person ein intelligenteres Fluchtverhalten zutrauen als sich selbst. Häufig ist dieses Phänomen des Herdenverhaltens – also ob sich eine Person eher an anderen orientiert und somit die Flucht in Gruppenform bevorzugt – bei Kindern in Bezug zu Ihren Eltern und bei Freunden zu beobachten. Gegenteilig hierzu verhalten sich Menschen, die eher auf sich allein gestellt handeln, also ein Individualverhalten priorisieren. Dies schließt allerdings nicht aus, dass sich dem Individualisten nicht andere Personen anschließen.

Durch Herdenverhalten werden alternative Ausgänge häufig übersehen oder nicht effizient genutzt. Ein Kind wird niemals einen anderen Ausgang nehmen als seine Eltern, auch wenn dieser von keiner anderen Person genutzt wird und die Flucht durch Nutzung eines anderen Ausganges auf erhebliche Weise beschleunigt würde.

Ziele der Modellierung

Ziel einer Modellierung des Fluchtverhaltens ist ein hinreichend realitätsnahes Modell der Realität. Aus diesem Modell müssen zwei generelle Fragen beantwortet werden:

„Wie flüchten Menschen in Panik am schnellsten?“

und

„Wie flüchten Menschen ohne große Verluste?“

Aus diesen zwei Fragen entsteht ein Optimierungsproblem. Einerseits sollen Menschen schnellstmöglich den Raum verlassen können. Hierbei entstehen wie oben beschrieben große physikalische Interaktionskräfte, die Verletzte und Tote und somit hohe Verluste zur Folge haben können. Andererseits

sollen die menschlichen Verluste so gering wie möglich gehalten werden. Dies ist wiederum nur möglich, wenn die Interaktionskräfte nicht zu groß sind und daraus folgend die Fluchtgeschwindigkeit nicht zu hoch ist.

Schließlich sollen realitätsnahe Ergebnisse generiert und Ergebnisse verschiedener Modellsituationen verglichen werden. Aus dem Modell soll das „perfekte Fluchtverhalten“ erörtert und bewertet werden.

Modellierung der Realität: Was wurde abgebildet und untersucht?

Um die Realität in einem Modell einerseits abstrakt genug und nicht zu komplex, andererseits aber für die Erzeugung brauchbarer Ergebnisse hinreichend detailgetreu nachzubilden, stellen sich vier Fragen, die durch Beantwortung ein brauchbares Modell erzeugen.

Wie verlassen Menschen Räume?

Soweit keine Panik herrscht, verlassen Personen Räume entspannt, sie gehen in gewohntem Tempo, also ca. 0,6 Meter pro Sekunde zum Ausgang. Bei aufkommender Panik entsteht eine Hektik, die Fluchtgeschwindigkeit erhöht sich auf 1,0 – 3,0 Meter pro Sekunde, andere Menschen werden gedrückt, die Flucht der einzelnen Person wird priorisiert.

Eine weitere Steigerung ist die panische Flucht, auch „Stampede“ genannt. Bei dieser Extremform der Panik beträgt die Fluchtgeschwindigkeit bis zu 5,0 Meter pro Sekunde (entspricht 18 km/h), soweit kein Hindernis die Flucht versperrt. Einzig und allein die eigene Flucht ist wichtig; dabei wird jeder andere Verlust in Kauf genommen. Die hierbei auftretenden Interaktionskräfte sind hoch genug, um Menschen zu Tode zu drücken.

Modelliert werden diese so genannten Aggressivitätsniveaus durch eine **veränderbare Fluchtgeschwindigkeit** sowie durch die **Veränderung der dadurch auftretenden physischen Interaktionskräfte**.

Welche Arten von Räumen gibt es?

Räume definieren sich durch ihre Größe und die vorhandenen Ausgänge. Hierbei hat die Größe des Raumes Auswirkungen auf Sichtverhältnisse. In einem mit Rauch gefüllten Raum kann nur über eine bestimmte Distanz der Ausgang registriert werden und die Person schließlich erfolgreich flüchten. Je größer der Raum, desto unwahrscheinlicher ist der direkte Blickkontakt mit dem Ausgang. Abhilfe, also indirekte Sichtverhältnisse, schaffen hier Hinweisschilder, die Informationen über den Ausgang enthalten. Die Anzahl der Ausgänge und deren Größe beim Verlassen des Raumes sind sehr wichtig, da durch einen zweiten gleichen Ausgang die Fläche zum Flüchten aus dem Raum verdoppelt wird. Des Weiteren können durch ein großes Tor in gleicher Zeit mehr Menschen flüchten als durch eine normale Wohnungstür.

Der Weg zum Ausgang kann zudem durch Hindernisse versperrt sein, wodurch das Fluchtverhalten der Masse vor allem direkt vor dem Ausgang sehr verändert wird.

Die Flüchtenden werden eventuell auch noch mit einer dynamischen Raumsituation konfrontiert, die durch sich ausbreitendes Feuer ausgelöst wird. Dabei ist das Feuer als leicht verständliches Beispiel für eine mit der Zeit fortschreitende Verkleinerung des Raumes zu verstehen.

Modelliert werden diese **verschiedenen Raumsituationen** durch eine **variable Ausgangszahl und Ausgangsgröße**, durch **Hindernisse vor den Ausgängen** und durch eine **Verkleinerung des Raumes**.

Welche Arten von Panikverhalten gibt es?

Die bei flüchtenden Menschen zu beobachtenden Verhaltensformen sind auf zwei Grundformen und deren Hybride zurückzuführen. Wie schon in der Einleitung angesprochen, versucht der Herdentyp sich an den Flüchtenden zu orientieren und deren Fluchtverhalten nachzuahmen. Er wird den Ausgang zur Flucht nehmen, durch den auch sein „Vorbild“ flüchtet.

Das genaue Gegenteil hierzu ist der Einzelgänger. Aufgrund seines individuellen Verhaltens orientiert er sich allein an seinen eigenen Wahrnehmungen. Zwar nimmt er auch Informationen von anderen Flüchtenden über die Position des Ausganges auf, folgt ihnen aber nicht, sondern flüchtet auf sich allein gestellt.

Reine Formen des Herden- bzw. Individualverhaltens treten selten auf, daher sind fast immer hybride Formen zu beobachten.

Zu modellieren sind diese **Individualverhalten** durch einen Parameter, der die **Intelligenz des individuellen Suchens nach Ausgängen** (hier nur noch „Intelligenz“ genannt) abbildet. Je höher die dem Agenten zugeordnete Intelligenz ist, desto mehr wird sein individuelles Verhalten gefördert.

Welche Sichtverhältnisse gibt es?

Letztendlich sind die verschiedenen Sichtverhältnisse von großer Bedeutung. Eine klare Sicht lässt jeden wissen, wo sich der Ausgang befindet. Sobald die Sicht jedoch durch Rauch eingeschränkt ist, irrt eine Person ziellos durch den Raum, in der Hoffnung, den Ausgang zu finden. Wie schon angesprochen sind Hinweisschilder eine indirekte Sichterweiterung und verhelfen dem Menschen zu Informationen über die Ausgangsposition. Anzumerken ist, dass durch viel Rauch die Zeitspanne zum Überleben geringer ist und die Möglichkeit, an einer Rauchvergiftung zu sterben erhöht wird.

Die Modellierung erfolgt durch eine **Zuordnung verschiedener Sichtweiten** in unterschiedlichen Situationen und den **Austausch von Informationen zwischen Personen über Ausgänge** und Nutzung von Hinweisschildern, die die Position des Ausganges enthalten.

Die Modellierung der Realität in einem Modell ist nun abgeschlossen. Nun gilt es, das erstellte Modell in SeSAM zu überführen.

Realisierung des Modells in SeSAM: Elemente in SeSAM

Die „World“

Die „World“, die sich in SeSAM ebenfalls als Agent darstellt, übernimmt die Rolle einer globalen Kontrolle der Simulation. Aktivitäten, Zustände und Prüfung von Bedingungen sind hierbei die entscheidenden Elemente und können wie beim „normalen“ Agenten mit Hilfe der Reasoning Engine modelliert werden. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit Variablen zu setzen, die man zur Steuerung der Simulation bzw. der Agenten verwenden kann. Des Weiteren untersucht die „World“, ob Bedingungen zur Beendigung der Simulation eingetreten sind.

In der vorliegenden Panik-Simulation wurde die „World“ für globale Variablen, zur Steuerung der Ressource Feuer und zur Prüfung von Endzuständen benutzt.

Die in der „World“ gesetzten Variablen dienen zur Handhabung der Agenteneigenschaft, der Interaktion des Agenten mit anderen Agenten oder Ressourcen und der Kontrolle der Ressource Feuer. Hierbei sind besonders die Agentenvariablen **angestrebte Geschwindigkeit**, **Wahrnehmungsradius** und **Kommunikationsradius**, die Interaktionsmultiplikatoren und der **Ausgangsradius** hervorzuheben, da sie bei der Analyse des Fluchtverhaltens als die entscheidenden „Stellschrauben“ benutzt wurden. Dementsprechend wurden sie als konstant deklariert. Als Typ der Variablen wurde **Number<Double>** gewählt.

Die „Reasoning Engine“ der „World“ setzt sich aus vier Elementen zusammen: Vom ersten Element, dem Startzustand aus, wird sofort in die Aktivität **world control** - dem zweiten Element - übergegangen, welche die Ausbreitung des Feuers ausführt. Das dritte Element ist der Regelpfeil, der die möglichen Endzustände prüft. Der Endzustand – das letzte Element – besagt, dass die Simulation stoppt.

In der Aktivität **world control** wird die Ressource Feuer wie folgt gesteuert: Mit Hilfe der Funktion **ForElements** werden alle aktiven Feuer Ressourcen beobachtet und anhand ihrer Energie wird ent-

schieden, ob eine neue Ressource erzeugt wird oder – bei einer Energie von Null – das Feuer „ausgebrannt ist“ und dementsprechend mit dem Befehl `kill` entfernt wird. Da das Feuer bei dieser Paniksimulation nur zur Beeinflussung der Raumsituation (Verkleinerung des Raumes) und als Bedrohung für den Agenten Mensch betrachtet wird, findet nur eine „einfache“ Ausbreitung nach oben statt.

Die Simulation wird durch den „World“-Agenten beendet, sofern alle Menschen den Raum durch den Ausgang verlassen haben und/oder sie durch extremes Drängeln und Drücken zu Tode gekommen sind.

Diese Bedingungen werden durch den `count`-Befehl und einer Filterfunktion, die die toten Menschen ausschließt, umgesetzt. Gezählt werden also alle nicht toten Menschen. Wenn diese Anzahl gleich Null ist, wird die Simulation gestoppt.

In den Simulationsläufen zur Analyse des Fluchtverhaltens wurde die „World“ als zentrales Instrument zur Parameteränderung benutzt, um nicht unter Umständen in mehreren Funktionsbäumen von Menschen-Agent-Aktivitäten Werte ändern zu müssen.

Die Ressourcen: Ausgang, Hindernis (Wand), Feuer und Hinweisschild

Der Ausgang

Der Ausgang muss bei der vorliegenden Simulation als die wichtigste Ressource genannt werden, da er das Ziel des Agenten darstellt. Das Ziel – den Ausgang zu erreichen - hat höchste Priorität bei einer Flucht. Ob ein Agent den Ausgang alleine findet oder sich einer Gruppe anschließt, wird in Verbindung mit dem Intelligenzwert beim Agenten genauer erläutert.

Der Ausgang wird nur durch eine einzige Variable parametrisiert – dem Ausgangsradius. Er legt fest, wie groß der Ausgang ist (z.B. die Türbreite), also auch wie viele Agenten gleichzeitig den Raum verlassen können. Diese Variable wird in der „World“ festgesetzt, da dies auch eine „Stellschraube“ bei den Simulationsläufen ist.

Ein Agent erkennt den Ausgang, wenn er sich in seinem **Wahrnehmungsradius** befindet. Sind zwei Ausgänge in diesem Radius, sucht er den mit der geringsten Distanz zu sich aus.

Das Hindernis (Wand)

Die Ressource Hindernis wurde aufgrund von Ergebnissen anderer Studien bzgl. dieses Themas umgesetzt. Es sollte sich zeigen, dass das Fluchtverhalten durch Aufstellen von einem Hindernis – speziell einer Säule – in der Nähe des Ausgangs verbessert werden kann und es dementsprechend zu einer schnelleren Flucht kommt, da sich nicht alle Menschen vor dem Ausgang drängeln, sondern die Situation durch die Säule „entschärft“ wird.

Die Ressource in dieser Simulation verfügt – wie auch der Agent selber und die Ressource Feuer – über einen Interaktionsmultiplikator, der in der „World“ festgelegt wird. Er steuert die beim Auftreten auf dieses Hindernis stattfindenden Interaktionskräfte. Wie genau diese Interaktion abläuft wird beim Agenten selber genauer beschrieben.

Das Feuer

Die Ressource Feuer wird eingesetzt, um die Fluchtsituation innerhalb eines Raumes zu verändern und gilt gleichzeitig als Bedrohung für die Agenten, die bei zu dichtem Kontakt mit dem Feuer sterben.

Das Feuer verfügt über eine Variable **Energie**, die sich pro Zeittick um Eins erhöht. Damit soll das „Wachsen“ und „Abbrennen“ des Feuers simuliert werden. Falls die Energie einen bestimmten Wert überschritten hat – die in der „World“ gesetzte Ausbreitungsgeschwindigkeit – erzeugt die „World“ eine weitere Ressource. Bei Überschreitung einer weiteren „Energiegrenze“ – der **FeuerKillTime** (ebenefalls in der „World“ deklariert) – ist das Feuer ausgebrannt und das jeweilige `simObject` wird entfernt.

Der Interaktionsmultiplikator des Feuers ist so gewählt, dass die Agenten, die dem Feuer zu nah kommen, eine bestimmte Kraft erfahren und sich somit vom Feuer entfernen. Falls dieses Entfernen aufgrund anderer Bedingungen nicht mehr möglich ist, sterben die Agenten wegen der geringen Distanz zum Feuer.

Das Hinweisschild

Das `simObject` Hinweisschild könnte als „Fluchthelfer“ bezeichnet werden, da die Agenten durch die Information, die sie vom Hinweisschild erhalten, den Ausgang eigenständig finden können.

Die Variable `ziel` vom Typ `simObject` übermittelt dem Agenten die Position des Ausgangs. Ein Agent kann diese Information nur erlangen, wenn sich dieses Hinweisschild in seinem `Kommunikationsradius` befindet.

Der Agent – der Mensch

Das komplexeste Konstrukt dieser Simulation ist eindeutig der Agent „Mensch“. Die notwendige Dynamik, die dieser Agent aufweisen muss, ist leicht mit der Aufgabe, menschliches Verhalten in einer solchen Situation zu modellieren, zu vergleichen. Er sieht sich vielen unterschiedlichen sensorischen Inputs gegenüber, die sinnvoll und logisch verarbeitet werden müssen. Wie reagiert der Agent, wenn er auf einen anderen Agenten trifft? Was passiert, wenn der Agent dem Feuer oder einer Wand zu nahe kommt? Wie ist sein Gruppenverhalten? Schließt er sich einer Gruppe an, oder sucht er den Ausgang eigenständig?

Diese möglichen Situationen und das daran angepasste Verhalten machen den Agenten „Mensch“ zu dem Kernstück einer Fluchtsimulation.

Bevor jedoch auf diese Verhaltensmuster eingegangen wird, werden die Variablen des Agenten genannt und deren Bedeutung begründet.

Der Agent verfügt über zwei Variablen, die ihn direkt beschreiben: die **Energie** und die **Intelligenz**. Die **Energie** wird hierbei als „Lebensenergie“ interpretiert. Startwert ist ein zufälliger `Number<Double>` Wert, um nicht jeden Agent mit derselben Energie starten zu lassen. Energie verliert der Agent bei Interaktionen mit anderen Agenten, einem Hindernis oder dem Feuer. Wenn ein Agent stark bedrängt oder „gepusht“ wird, sinkt seine „Lebensenergie“. Bei einer **Energie** von Null ist der Agent zwar tot, aber nicht im Sinne von SeSAM, welches mit einer Entfernung aus der Simulation gleichzusetzen wäre, sondern er bleibt als `simObject` bestehen, da er als toter Agent weiterhin ein Hindernis für anderen Agenten darstellen soll.

Die Variable **Intelligenz** wird benutzt um eine weitere Unterscheidung der Agenten herauszustellen. Man kann die Intelligenz auch mit dem Alter eines Agenten gleichsetzen. Zur Interpretation wird davon ausgegangen, dass Kinder weniger intelligent sind als Erwachsene. Die Intelligenz spielt bei dieser Simulation für das Gruppen- und Individualverhalten der Agenten die entscheidende Rolle. Hat der Intelligenzwert eine bestimmte Grenze überschritten, versuchen diese Agenten den Ausgang eigenständig zu finden. Weniger intelligente Agenten schließen sich dagegen anderen Agenten an, wobei sie sich den Intelligentesten in ihrem `Kommunikationsradius` aussuchen.

Der **Interaktionsradius** eines Agenten geht bei der Berechnung der Krafteinwirkung bei Interaktionen mit anderen `SimObjekten` mit ein. Er erklärt sich als eine Art Volumen oder Breite eines Agenten. „Dicke“ Agenten stoßen eher zusammen als „dünne“ Agenten.

Die Variable **Interaktionsmultiplikator** dient lediglich als „Stellschraube“ bei dem Energieverlust aufgrund von Interaktionen mit anderen Objekten.

Die **Krafteinwirkung** von Typ `Position` wird bei der Berechnung der Interaktionskraft noch genauer erklärt.

Die letzten beiden Variablen sind `ziel` und `Tod`. Das Ziel ist ungleich `Null` sobald der Agent den Ausgang gefunden oder er sich einem anderen Agenten angeschlossen hat. Im letzteren Fall ist die Variable `ziel` ein anderer Agent, die aber durch den Ausgang ersetzt wird, sobald sich ein Ausgang oder Hinweisschild mit Informationen über die Position des Ausgangs im eigenen Wahrnehmungsradius befindet. Es bleibt anzumerken, dass sich ein Agent ein neues Ziel sucht, sobald das aktuelle Ziel (ein anderer Agent) stirbt.

`Tod` wurde als `Boolean`-Wert gesetzt, um den oben schon genannten Zustand des Agenten setzen zu können, in dem er die Simulation nicht verlassen hat, sondern als toter Agent weiter als `simObject` bestehen bleibt.

Die **Bewegungs**-Variablen des Agenten sind bis auf die selbst eingeführte **Richtungsänderung** von SeSAM vorgegeben: **speed** und **Direction**. Die **Richtungsänderung** wurde hierbei extrahiert, weil sie in die Berechnung der neuen **Geschwindigkeit** eingeht.

Das Zusammenspiel der einzelnen Variablen und die Aktivitäten, in denen sich der Agent befinden kann, also die „allgemeine“ **Bewegung**, die **Begegnung** mit anderen Objekten und die **Kommunikation**, werden in der „Reasoning Engine“ dargestellt.

Diese Aktivitäten und die dazugehörigen Übergänge von einer Aktivität in eine andere – in SeSAM durch Regelpfeile veranschaulicht – werden im Folgenden genauer betrachtet.

Die **start**-Aktivität initialisiert lediglich die **Geschwindigkeit**, setzt eine zufällige **Richtung** fest und ordnet dem Agenten ein Bild zu.

Die **Geschwindigkeit** wird anfänglich auf **Null** gesetzt, da die **angestrebte Geschwindigkeit** erst langsam mittels einer vordefinierten Beschleunigung erreicht werden soll.

Eine der beiden Hauptaktivitäten ist die **Bewegung**, in der sich der Agent direkt nach der Initialisierungsaktivität und immer dann befindet, wenn er nicht durch andere **simObjects** beeinflusst wird. Die erste Aktion in dieser Aktivität ist für die Richtungsänderung des Agenten zuständig, wobei dies nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 10% ausgeführt wird. Hierbei wurde an eine realistische Bewegung eines Menschen gedacht, da dieser auch nicht ständig seine Richtung beim Laufen ändern würde.

ChangeSpeedTo ist die zweite Aktion, die der Agent durchläuft. Dabei wird die **Geschwindigkeit** des Agenten gesetzt, wobei bei der Berechnung die **Richtungsänderung** mit einfließt, da die **Beschleunigung** abhängig von der aktuellen **Richtungsänderung** betrachtet werden muss. Dreht sich ein Agent in einem größeren Winkel, kann er seine **angestrebte Geschwindigkeit** nicht so schnell erreichen, als würde er direkt geradeaus laufen. Der Agent versucht also, den durch die Variable **angestrebte Geschwindigkeit** gesetzten Wert zu erreichen.

Die eigentliche Bewegung geschieht in der letzten Aktion der Bewegungsaktivität. Zu beachten ist, ob der Agent bereits ein Ziel betrachtet oder ob er sich ziellos fortbewegt. Wenn ein Ziel gesetzt ist, wird die Aktion **MoveTowardPos** benutzt, wobei seine Richtung auf das Ziel ausgerichtet wird. Das Ziel kann der Ausgang oder ein anderer Agent sein – je nach Intelligenz. Hat er andernfalls kein Ziel, so wird die Funktion **Move** ausgeführt.

Die Aktivität **Bewegung** wird bei folgenden Bedingungen verlassen: Hat der Agent den Ausgang innerhalb seines **Wahrnehmungsradius** erblickt, ist die Bedingung auf dem Regelpfeil **Ausgang gesichtet** wahr, und es wird dementsprechend in die Aktivität **Ausgang gefunden** übergegangen. Diese Aktivität ist **instantly**, d.h. sie benötigt keine Zeiteinheit. In ihr wird der gefundene Ausgang in die Variable **ziel** des Agenten geschrieben. Danach wird die Aktivität verlassen und der Agent befindet sich wieder in der Bewegungsaktivität.

In die Aktivität **Kommunikation** kommt der Agent, wenn sich ein anderer Agent in seinem **Kommunikationsradius** befindet, welches in der Bedingung des Regelpfeils **suche Kommunikationspartner** geprüft wird. Da hier nur die Variable **ziel** gesetzt wird, ist diese Aktivität ebenfalls **instantly**. Mit einer **IF**-Abfrage wird anhand der Intelligenz des Agenten bestimmt, ob der Agent sich diesem gefundenen Agenten anschließt, oder ob er das ggf. schon gefundene Ziel des anderen Agenten übernimmt. Danach wird wieder in die Aktivität **Bewegung** übergegangen.

Die Aktivität **Begegnung**, die neben der Aktivität **Bewegung** auch eine wichtige Rolle bei dem Agentenverhalten darstellt, wird aktiv, wenn sich ein anderes **simObject** – außer dem Ausgang – im **Interaktionsradius** des Agenten befindet.

Ist der Agent nun in dieser Aktivität, werden als erstes alle anderen **simObjects** in seinem **Interaktionsradius** betrachtet. Dies wird in SeSAM mit der Funktion **ForElements** und der Funktion **ObserveObjectsOnPosition** als **Iterator** umgesetzt. Nun muss unterschieden werden, von welchem Typ das betrachtete **simObject** ist – ein anderer Agent, ein Hindernis oder Feuer. Des Weiteren wird, wie folgt, die **Krafteinwirkung** berechnet und dem Agenten anhand dieser **Krafteinwirkung** ein gewisses Maß an Lebensenergie abgezogen, um zu verdeutlichen, dass ihm beim Drängeln und Drücken geschadet wird.

Die Berechnung der **Krafteinwirkung** und die daraus resultierende **Bewegung** des Agenten erklären sich nun anhand folgender Überlegungen (siehe Abb. 3.1): Es kommt in erster Linie darauf an, aus welcher Richtung der Agent eine **Krafteinwirkung** erhält, d.h. der Vektor zwischen seiner und der Position des anderen Agenten muss bestimmt werden. Da die Position eines **SimObjects** in SeSAM als Vektor umgesetzt ist, können die Positionen der Agenten subtrahiert werden. Ebenso geht in die Berechnung der **Krafteinwirkung** die Distanz zu dem anderen Agenten mit ein. Je näher sich die Agenten sind, desto mehr Kraft wird ausgeübt. Dies ist eine Subtraktion des **Interaktionsradius** und der **Positionsdistanz** der Agenten. Der letzte Faktor, der in die Krafteinwirkungsberechnung mit einfließt, ist der **Interaktionsmultiplikator** des anderen Agenten. Dieser Wert wurde bei den Simulationsläufen ebenfalls als „Stellschraube“ benutzt, um verschiedenartige Interaktionsbedingungen zu schaffen.

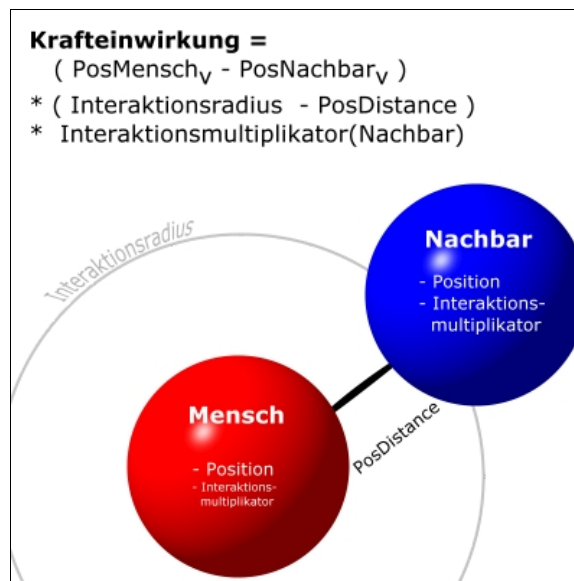


Abb. 3.1

Falls ein Agent von zwei entgegengesetzten Richtungen beeinflusst wird, so heben sich die Interaktionskräfte auf, da er Agent weder in die eine, noch in die andere Richtung gedrückt werden kann. Der eigentliche Vorgang des Drückens oder Drängelns geschieht in der zweiten Aktion der **Begegnungsaktivität**. Um dieses Schubsen umzusetzen wurde mit der SeSAM-Funktion **BeamTo** gearbeitet, die einen Agenten an die als Parameter übergebene Position setzt.

Da die Variable **Krafteinwirkung** vom Typ **Position** ist, kann sie hierbei direkt in der Funktion **BeamTo** verwendet werden.

Die letzte Aktion, die in dieser Aktivität ausgeführt wird, ist eine Reduzierung der Geschwindigkeit, da ein Agent, der gedrückt wird auch gleichzeitig an Geschwindigkeit verliert.

Die Aktivität **tod** ist die letztmögliche, in der sich der Agent befinden kann. Sie wurde umgesetzt, um – wie schon bereits erklärt – den Zustand darzustellen, in dem der Agent zwar tot ist, aber trotzdem noch als Bestandteil der Simulation gesehen wird. Die Variable **tod** wird dementsprechend auf **TRUE** gesetzt, das Bild wird ausgetauscht und sein **Interaktionsmultiplikator** wird stark reduziert, da er nun als liegendes Hindernis andere Agenten nicht mehr „pushen“ kann, sondern lediglich ihren Weg deutlich geringer behindert.

In diese Aktivität **tod** gelangt der Agent, wenn er einerseits durch zu viele Interaktionen keine **Energie** mehr besitzt, oder er andererseits dem Feuer zu nahe gekommen ist.

Der eigentliche Endzustand des Agenten in SeSAM – dargestellt durch einen Kreis mit Ring – wird erreicht, wenn der Agent den Ausgang verlassen hat, da er dann keine Rolle mehr für die Simulation spielt und dementsprechend auch keine Einwirkung mehr auf andere Agenten hat.

Beobachtungen, Analyse & Ergebnisse

Analysiert wurden sechs Situationen, die einen Großteil der interessanten Bereiche abdecken und auf die in Kapitel zwei modellierten Anforderungen eingehen. Soweit nicht explizit erwähnt, entsprechen die eigenen Ergebnisse denen anderer Studien, vor allem denen von Prof. Dr. rer. nat. Dirk Helbing et al. (<http://www.helbing.org>), einem führenden Wissenschaftler in diesem Bereich.

Geschwindigkeitsveränderung

Die erste Situation zur Analyse der Auswirkung einer Geschwindigkeitsveränderung auf die Fluchtzeit einer fliehenden Masse ist wie in Abb. 4.1 aufgebaut. Die 50 durch blaue Punkte dargestellten Agenten versuchen durch den Ausgang (oben mittig) zu flüchten. Hier ist beabsichtigt, dass die Agenten schon zu Beginn nah am Ausgang stehen, da eine weite Streuung die Ergebnisse aufgrund des zu hohen Zeitverlusts des einzelnen Agenten durch den langen Weg bis zur flüchtenden Masse bzw. zum Ausgang verfälschen würde.

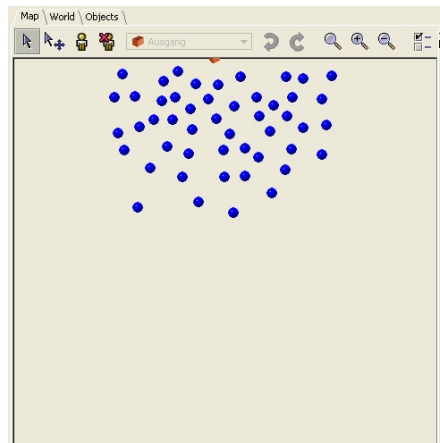


Abb. 4.1

Wie man auf Abb. 4.2 sieht, verläuft das Mittel über die Gesamtfluchtzeit aller Flüchtenden negativ proportional zur Geschwindigkeit. Das bedeutet also: **Je schneller der Einzelne flüchtet, desto schneller flüchtet auch die Masse aus dem Raum.** Der anfangs sehr negativ-steil verlaufende Graph ist auf die sehr langsame Geschwindigkeit von 0,2 - 0,6 zurückzuführen. Hier vergeht noch einige Zeit, bis die weiter vom Ausgang entfernt stehenden Agenten die „drängelnde“ Menge erreichen, soweit es hier überhaupt ein Gedränge gibt. Je höher jedoch die Geschwindigkeit des Einzelnen

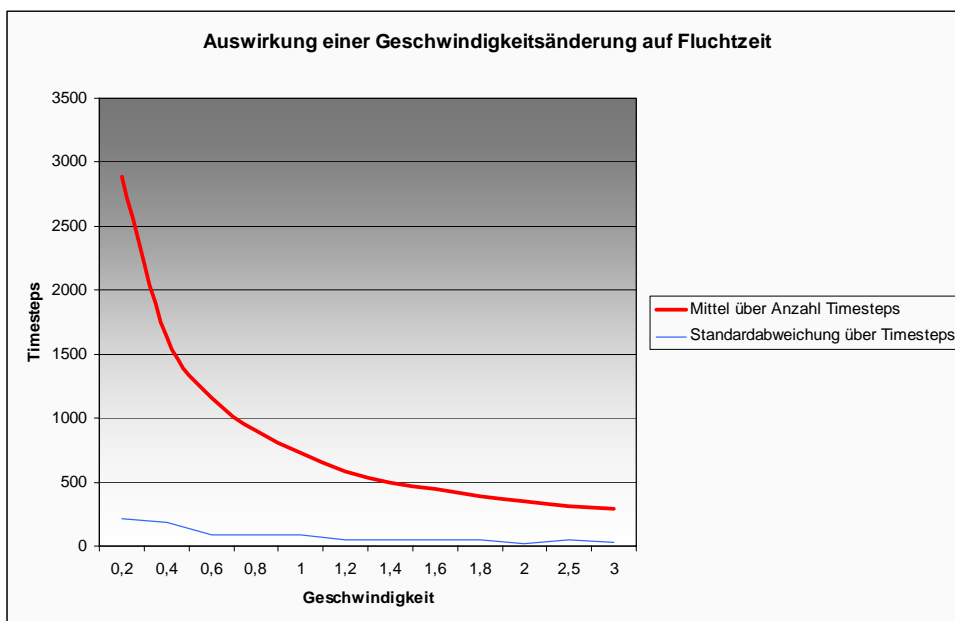


Abb. 4.2

ist, desto höher werden die körperlichen Interaktionskräfte und die Gefahr von Verletzungen steigt stark an. In der laufenden SeSAM-Situation sind bei höherer Geschwindigkeit starke „pushs“ der äußeren Agenten weg von der Menge zu beobachten. Ab einer zu hohen Geschwindigkeit werden die „pushs“ so stark, dass dadurch der Ausgang frei gedrückt wird und eine in anderen Studien nachgewiesene Verlangsamung der Gesamtfuchtgeschwindigkeit bei weiterer Erhöhung der Einzelfuchtgeschwindigkeit hier nicht stattfindet, da der Ausgang zu selten durch einen ineinander verkeilten Agentenhalbkreis blockiert wird. Dies ist der Grund für den bis ins Unendliche verlaufenden monoton fallenden Graphen in der SeSAM-Situation.

Änderung der Ausgangszahl und -größe

Um die Auswirkungen einer Änderung der Ausgangszahl und deren Größe auf die Fluchtzeit zu ermitteln, wurde die gleiche Situation wie bei der Bewertung der Geschwindigkeitsveränderung benutzt, jedoch nun mit variabler Ausgangszahl und -größe.

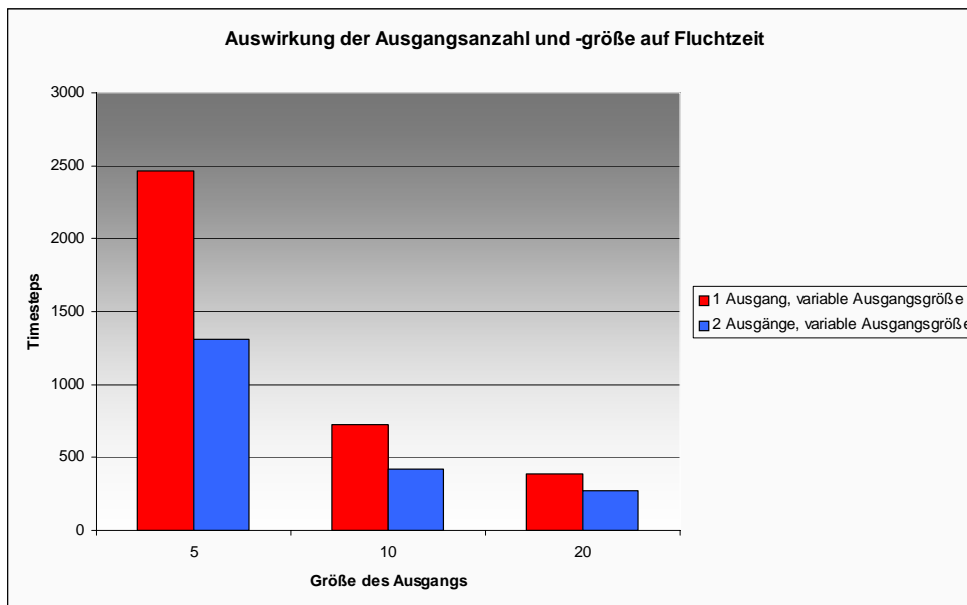


Abb. 4.3

Wie zu erwarten, wirkt sich eine größere Ausgangszahl positiv auf die Fluchtzeit aus (siehe Abb. 4.3), jedoch ist keine genaue Halbierung der Fluchtzeit bei zwei Ausgängen im Vergleich zu einem Ausgang zu erkennen (Vergleich blauer und roter Balken). Erklären lassen sich die Daten durch die impliziten Fluchtzeiten bis zur „drängelnden“ Menge am Ausgang, die durch zwei Ausgänge natürlich nicht halbiert wird.

Eine Vergrößerung des Ausgangs (Vergleich gleichfarbiger Balken) bewirkt eine Fluchtzeitverringern. Hier ist festzuhalten, dass ein zu kleiner Ausgang (<5) die Fluchtzeit sehr stark ansteigen lässt. Je größer der Ausgang wird, desto langsamer fällt der Fluchtzeitgraph. Optimal ist also ein Ausgang, durch den eine akzeptable Fluchtzeit unter Berücksichtigung der Größe des Ausgangs erreicht wird.

Änderung der Hindernisanzahl

Zur Ermittlung der optimalen Hindernisanzahl bei einer Flucht aus einem Raum, wurde die Situation in Abb. 4.4a mit einer Säule als Hindernis und in Abb. 4.4b mit zwei Säulen als Hindernisse (braunes Kästchen = Hindernis) erstellt und ausgewertet. Die 50 Agenten müssen wiederum durch den oben mittig liegenden Ausgang flüchten. Beabsichtigt ist die im Gegensatz zur eben vorgestellten Situation weiter gestreute Verteilung der Agenten, da nur so die Auswirkung von Hindernissen eindeutig festzustellen ist.

Erstaunlich ist in diesem Zusammenhang, dass ein Hindernis direkt vor dem Ausgang die Fluchtzeit nicht - wie man vielleicht denken würde - erhöht, sondern verringert (siehe Abb. 4.5). Dies ist darauf zurückzuführen, dass dieses Hindernis den Stau vor dem Ausgang weiter in den Raum hineinverlegt. Dadurch wird ein Stau direkt vor dem Ausgang abgeschwächt und es wird leichter, am Hindernis vorbei durch den Ausgang zu gelangen.

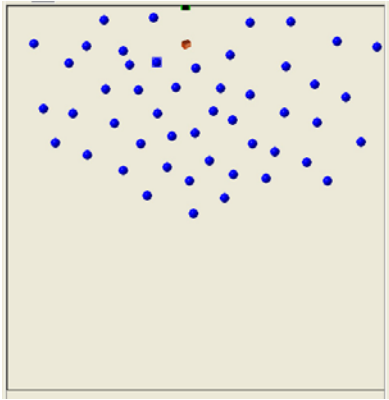


Abb. 4.4a

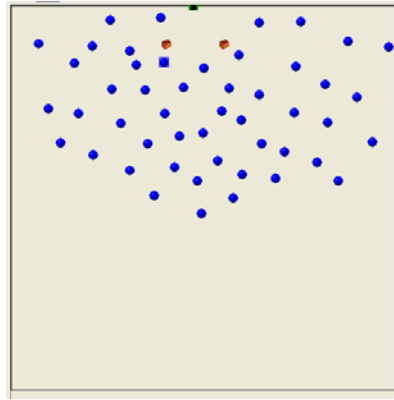


Abb. 4.4b

Zwei Hindernisse hingegen verlangsamten die Fluchtzeit allerdings erheblich, so dass allgemein festgehalten werden kann, dass ein Säulenhindernis vor dem Ausgang die Fluchtzeit im Vergleich zu keinem Hindernis verbessert, zwei und mehr Hindernisse die Fluchtzeit erheblich verschlechtern. Es bleibt noch anzumerken, dass diese These auch von anderen Studien nachgewiesen wurde und demgemäß aktuellen Forschungen entspricht.

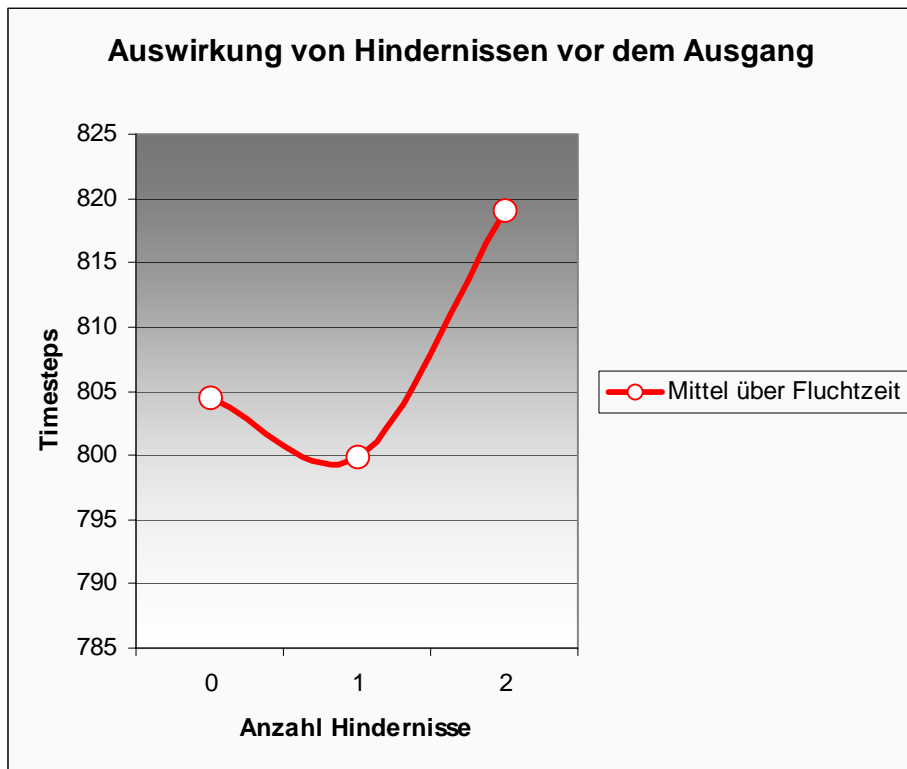


Abb. 4.5

Änderung der Raumgröße

Als vierter Bereich wurde die Auswirkung einer Änderung der Raumgröße auf das Fluchtverhalten untersucht. Es erscheint zwar offensichtlich, dass eine Vergrößerung der Raumgröße eine schnellere Flucht erlaubt, jedoch soll dies auch in dem in SeSAM erstellten Modell nachgewiesen werden. Als Testaufbau wurde die in Abb. 4.1 erzeugte Situation durchlaufen. Die in Abb. 4.6 gewonnenen Ergebnisse bestätigen die vorher aufgestellten Vermutungen.

Die im Chart grün dargestellten Balken zeigen die, bei auf der x-Achse variierenden Ausgangsgrößen, veränderten Fluchtzeiten (vgl. auch rote Balken in Abb. 4.3) bei gleicher Raumgröße. Hier ist ein negativ proportionales Verhältnis zwischen Fluchtzeit und Ausgangsgröße zu erkennen.

Die türkis dargestellten Balken zeigen die bei beibehaltener der Raumgröße gestorbenen Agenten. (Anm.: Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit wurde die Zahl „normiert“: Tote pro 100 Tests.)

Bei einer geringen Ausgangsgröße sterben von 50 Agenten im Schnitt 15 aufgrund der hohen, lang andauernd einwirkenden Interaktionskräfte. Sobald die Ausgangsgröße steigt und somit die Fluchtzeit sinkt, wird kein Agent mehr durch die auftretenden Interaktionskräfte erdrückt.

Der in Abb. 4.6 dargestellte rote Balken verdeutlicht im Gegensatz zum grünen Balken die Fluchtzeit bei variierender Ausgangsgröße und gleichzeitiger kontinuierlicher Verkleinerung der Raumgröße z.B. durch Feuer. Auch bei unterschiedlichen Ausgangsgrößen ist hier keine Veränderung der Fluchtzeit zu erkennen, da innerhalb von ca. 450 „Timesteps“ das Feuer den gesamten Raum ausfüllt und keine Überlebenden mehr im Raum sein können bzw. sind. Die in orange gekennzeichneten Balken zeigen hierzu die Anzahl der Toten.

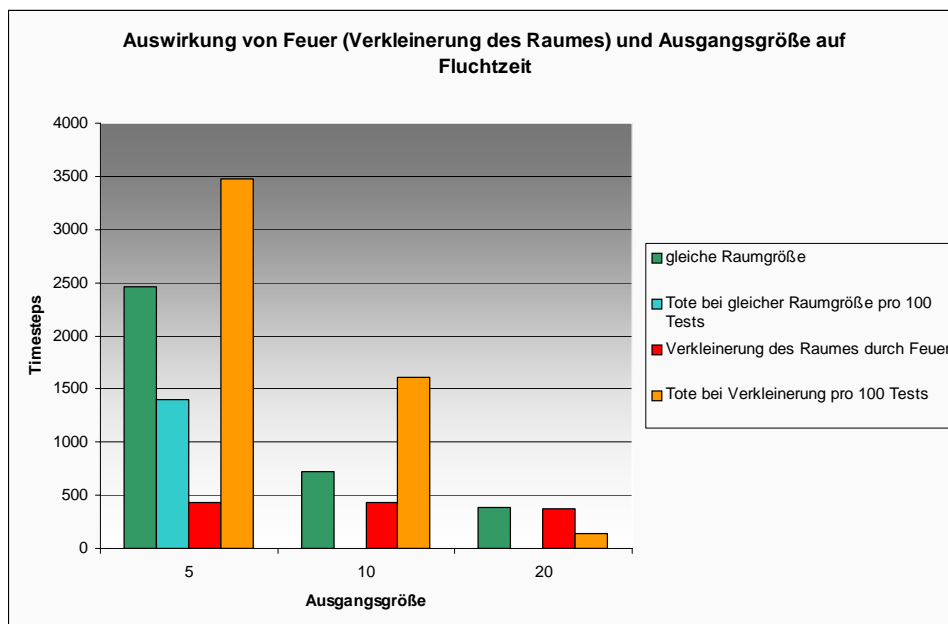


Abb. 4.6

Wenn die Ausgangsgröße über ca. 20 steigt, können alle Agenten aus einem Raum, unabhängig davon, ob der Raum verkleinert wird oder nicht, flüchten: Die Fluchtzeit ist gleich.

Sehr aussagekräftig ist vor allem das Fluchtverhalten bei einer Ausgangsgröße von 20. Ohne Feuer (grüner Balken) können alle Agenten aus dem Raum flüchten, die Fluchtzeit beträgt ca. 400. Mit Feuer schaffen es in einer Zeit von mehr als 400 Timesteps nicht alle, den Raum zu verlassen. Dies lässt darauf schließen, dass ein Feuer die Fluchtzeit verlängert, abgesehen davon, dass bei Feuer die Anzahl der Toten generell höher ist. Grund für die langsamere Flucht bei Feuer ist der veränderte „Fluchthalbkreis“ um den Ausgang herum. Sobald das Feuer sehr nah ist, wird diese Formation zerstört und mehr und mehr an die Wände, weg vom Feuer verlagert. Die nun nicht mehr so kurzen Fluchtwege, wie sie bei einem perfekten Halbkreis möglich sind, verlangsamen die Flucht.

Vergleich: Individual- vs. Gruppenverhalten

Der nächste Chart (Abb. 4.7) vergleicht das Individual- und Gruppenverhalten. Eine, in der Grafik auf der x-Achse aufgetragene, hohe Intelligenz bedeutet, dass die Agenten eine Neigung zu hohem Individualverhalten aufweisen, also eher den Fluchtweg allein bestimmen als anderen zu folgen; niedrige Intelligenz steht folglich für einen starken Hang zu Gruppenverhalten. Anzumerken ist, dass ein reines Individual- bzw. Gruppenverhalten in der Realität selten bis nie auftritt.

Die Situation wurde durch eine willkürliche Verteilung der Agenten auf den gesamten Raum mit einem Ausgang erstellt. Variabel gehalten wurde letztendlich nur die „Intelligenz“.

Im Chart ist sehr deutlich zu sehen, dass ein starkes Herdenverhalten aller eine sehr langsame Gesamtfuchtzeit fordert. Allerdings ist an der extrem hohen Standardabweichung eine große Schwankung der einzelnen Versuchsergebnisse zu erkennen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Flucht

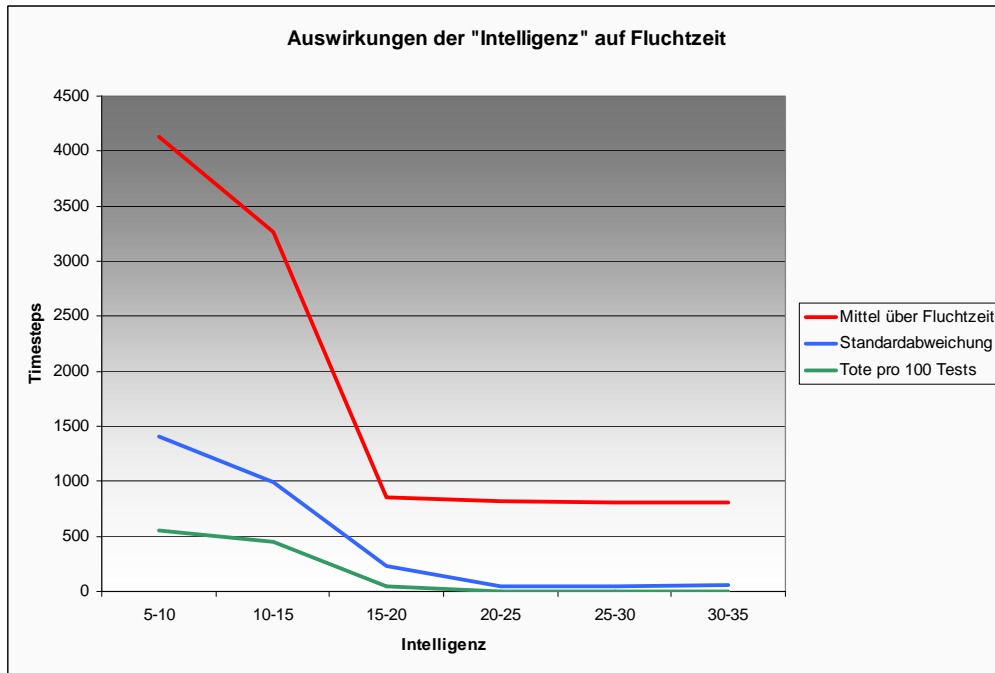


Abb. 4.7

sehr zügig, fast optimal verläuft, wenn die gesamte Gruppe frühzeitig den Ausgang findet; die Wahrscheinlichkeit, dass dies passiert, jedoch nicht sehr groß ist.

Die Gesamtfuchtzeit verbessert sich, sobald ein gewisser Grad an Individualverhalten vorhanden ist. Hierbei gibt es genug „kleine Agentengruppen“ oder einzelne Agenten, sodass die Information über die Lage des Ausgangs schnell im ganzen Raum bekannt ist.

Veränderung der Sichtverhältnisse

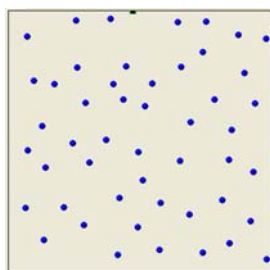


Abb. 4.8

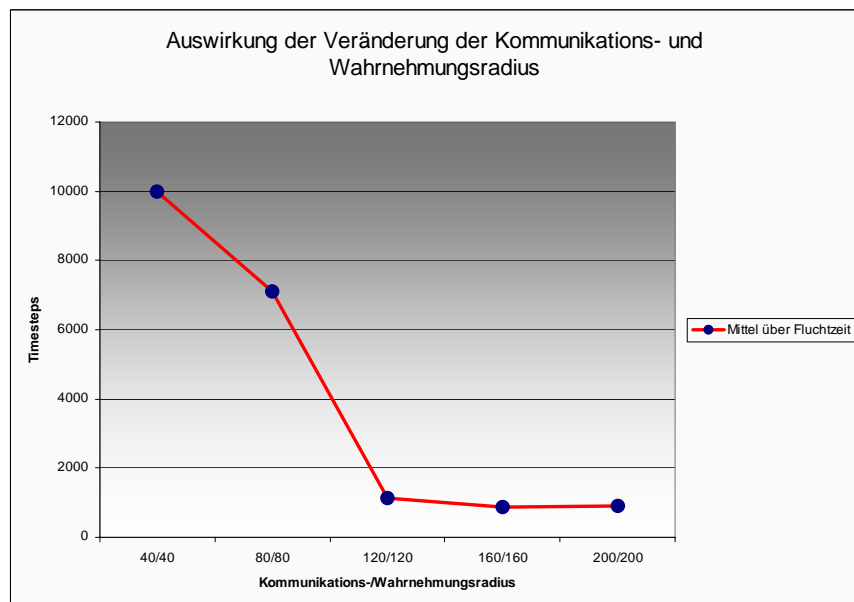


Abb. 4.9

Schließlich wurde eine Veränderung der Sichtverhältnisse untersucht. Hierzu wurde die Testsituation wie in Abb. 4.8 abgebildet. Um Ergebnisse zu erzielen wurden die Kommunikations- und Wahrnehmungsradien variabel von 40/40 bis 200/200 gehalten.

Der Chart in Abb. 4.9 zeigt die erzielten Fluchtzeiten bei veränderten Kommunikations- / Wahrnehmungsradien. Man kann erkennen, dass eine Vergrößerung des Sichtradius eine Flucht beschleunigt.

Einfach und logisch zu erklären ist das Ergebnis damit, dass durch einen größeren Radius die Wahrscheinlichkeit, Informationen über die Position des Ausgangs zu erhalten, erhöht wird. Der „Knick“ bei 120/120 in Abb. 4.9 ist darauf zurückzuführen, dass ab diesem Sichtradius allen die Position des Ausgangs sehr schnell bekannt ist.

Abschließendes Urteil

Aufgrund der obigen Analysen und Beobachtungen kann nun ein zusammenfassendes Urteil über das optimale Fluchtverhalten abgegeben und dadurch die anfangs aufgestellten Fragen

„Wie flüchten Menschen in Panik am schnellsten?“
und
„Wie flüchten Menschen ohne große Verluste?“

beantwortet werden.

Was ist das optimale Fluchtverhalten?

Bei dieser Simulation sollte mit Hilfe verschiedener Parameteränderungen herausgefunden werden, welches das beste Fluchtverhalten von Menschen in einem geschlossenen Raum ist. Hierbei wurden die oben aufgeführten verschiedenartigen Szenarien, wie unterschiedliche Geschwindigkeiten der flüchtenden Menschen, Ausgangsgröße oder das Aufstellen von einem Hindernis (Säule) zum kontrollierten Verlassen des Raumes betrachtet und analysiert.

Zusammenfassend kann zu den verschiedenen Punkten folgendes festgehalten werden:

- 1) Die SeSAM-Simulation zeigt, dass eine schnellere Fluchtgeschwindigkeit des Einzelnen die Fluchtzeit der Masse beschleunigt. **Hier lautet das Motto also: „Je schneller, desto besser!“**. Andere Studien haben jedoch gezeigt, dass es bei extrem erhöhter Geschwindigkeit der einzelnen Agenten **nicht** dementsprechend auch zu einer insgesamt schnelleren Flucht der Gesamtmasse kommt. Zu hohe Geschwindigkeit führte dabei zu größeren Interaktionskräften, wodurch eine geordnete Flucht verschlechtert bzw. blockiert wurde. Das durch SeSAM ermittelte und von anderen Studien abweichende Ergebnis ist auf eine andere Modellierung der physischen Interaktion und der damit verbundenen Blockierungen der Agenten zurückzuführen: Durch die höhere Geschwindigkeit kommt es zu großen Interaktionskräften innerhalb des Ausgangsradius, so dass die Agenten stark vom Ausgang weg „gepusht“ werden. Dies wiederum sorgt dafür, dass der Ausgangsbereich nicht mehr so stark von Agenten besetzt ist und andere relativ schnell den Raum verlassen können.
- 2) Außerdem werden die in dieser Simulation erwarteten relevanten Ergebnisse hinsichtlich der Ausgangsbeschaffenheit erreicht: **Zwei Ausgänge sind besser als einer und große Ausgänge beschleunigen die Flucht mehr als kleine.**
- 3) Weiterhin bestätigt die vorliegende Fluchtsimulation das Ergebnis anderer Studien, in denen **ein Hindernis vor dem Ausgang die allgemeine Fluchtproblematik „entschärft“ und somit die Fluchtgeschwindigkeit erhöht**. Dies ist damit zu begründen, dass sich die Fluchtmasse aufgrund eines Hindernisses vor dem Ausgang nicht mehr vor demselbigen blockiert, sondern das Hindernis die Blockierungen weiter vom Ausgang in den Raum verschiebt und somit Blockierungen unwahrscheinlicher werden.
- 4) Zudem zeigt die Situation, in der sich Feuer im Raum ausbreitet, dass die **Agenten durch den kleiner werdenden Raum langsamer flüchten**, soweit durch Feuer keine Geschwindigkeitserhöhung des Einzelnen stattfindet.
- 5) Das Gruppenverhalten der Agenten spielt bei der Flucht eine wichtige Rolle und muss daher auch bei der Analyse des optimalen Fluchtverhaltens genannt werden.

Es hat sich herausgestellt, dass **Herdverhalten die Flucht verlangsamt**, da die Wahrscheinlichkeit, dass ein Agent bzw. eine Agentengruppe den Ausgang findet und dies dann anderen Agent mitteilen kann, geringer ist, als wenn viele Agenten sich unabhängig bewegen und somit in der gleichen Zeit einen größeren Bereich des Raumes absuchen können.

Kommt es auf der anderen Seite eher zu Individualverhalten, ist die Wahrscheinlichkeit den Ausgang zu finden höher als wenn nur ein Agent den Raum absucht und die anderen ihm lediglich folgen.

6) Die Sichtsituation der SeSAM-Simulation bestätigt die Erwartung, dass es **bei besserer Sicht eher möglich ist, den Ausgang zu finden, als bei schlechter Sicht**. Hierbei wurde als Parameter der Sichtverhältnisse der Wahrnehmungsradius des Agenten benutzt.

Abschließend kann gesagt werden, dass es kein generell optimales Fluchtverhalten gibt, da zu viele Parameter einer Situation und unterschiedliche Eigenschaften der flüchtenden Menschen eine Rolle spielen. Die oben aufgeführten Ergebnisse geben aber sehr wohl eine Richtung vor und lassen eine erste zuverlässige Analyse einer Flucht in Panik aus Räumen zu. Durch das vorgestellte Modell lässt sich beispielsweise ein Raum auf verschiedene Situationen testen und schon in der Planungsphase effizient hinsichtlich einer optimalen Flucht gestalten.

Arbeiten mit SeSAM: Kontra

Neben einer fehlenden bzw. sehr dürftigen Dokumentation SeSAMs, die uns dazu gezwungen hat, erst ein sehr kleines „Anfangsmodell“ zu erstellen und dies durch Ausprobieren immer weiter auszubauen, ist uns besonders aufgefallen, dass es sehr schwer ist, sich in die bestehende Struktur eines Objekts einzuarbeiten (gemeint ist die Einarbeitung in bestehenden Quelltext).

Um komplexe Raumsituationen laufen zu lassen ist zudem eine sehr hohe Rechenleistung nötig, vor allem, wenn die laufende Situation grafisch betrachtet werden soll.

Arbeiten mit SeSAM: Pro

Sehr positiv ist uns die weit reichende Funktionalität von aufgefallen, mit der verschiedenste Situationen einfach und realitätsnah entwickelt werden können.

Aufgrund der übersichtlich und grafisch gestalteten Reasoning-Engine (Aktivitäten & Zustände) findet sich jeder schnell zurecht und komplexe Modelle bleiben übersichtlich.

SeSAM erlaubt eine schnelle Erzeugung erster Simulationen und einfache anschließende Ausbaufähigkeit. Zudem war es sehr wichtig, realistische Ergebnisse zu erzeugen, die durch den Gebrauch von SeSAM überzeugend erzielt wurden.