



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# **Bachelorarbeit**

Tommy Redel

Konzeption einer Physis für einen Agenten in einem  
Multiagentensystem am Beispiel von WALK

# **Tommy Redel**

## **Konzeption einer Physis für einen Agenten in einem Multiagentensystem am Beispiel von WALK**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Angewandte Informatik  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. Thomas Thiel-Clemen  
Zweitgutachter : Prof. Dr. Stefan Sarstedt

Abgegeben am 31.07.2012

**Tommy Redel**

**Thema der Bachelorarbeit**

Konzeption einer Physis für einen Agenten in einem Multiagentensystem am Beispiel von WALK

**Stichworte**

Gruppensimulation, Evakuierungssimulation, Simulation, Multiagentensystem, agentenbasierte Simulation, Physis, Physiologie

**Kurzzusammenfassung**

Diese Arbeit befasst sich mit der Modellierung einer menschlichen Physis für einen Agenten in einem Multiagentensystem. Dazu werden verschiedene Statistiken vorgestellt, die sich u.a. mit der Altersverteilung der Population, Größen- und Gewichtsverteilungen u.v.m. befassen. Das entstehende Modell wird innerhalb des WALK-Projektes zur realistischen Simulation von Fußgängern in Evakuierungsszenarien genutzt.

Das Ziel der Arbeit ist die Implementation eines unabhängigen Moduls, welches beliebig viele Physiologien unter Berücksichtigung der Statistiken generieren kann.

**Tommy Redel**

**Title of the paper**

Conception of an agent physis in a multi-agent system using the example of WALK

**Keywords**

Crowd Simulation, Evacuation Simulation, Simulation, Multi-Agent System, Agent-Based Simulation, Physis, Physiology

**Abstract**

This paper deals with the modelling of a human physis for an agent in a multi-agent system. In order to do this, various statistics concerning the age distribution of the population, height and weight distributions and so on will be introduced. The resulting model will be used within the WALK project for realistic simulations of pedestrians in evacuation scenarios.

The objective of the paper is the implementation of an independent module which can be used to generate any desired number of physiologies taking account of the statistics.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>6</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>9</b>
1.1 Problem- und Themenbeschreibung .....	9
1.2 Frage- und Aufgabenstellung .....	10
1.3 Themenabgrenzung .....	11
1.4 Ziel der Arbeit und Bedeutsamkeit .....	11
1.5 Struktur der Arbeit .....	11
1.6 WALK .....	12
<b>2 Multiagentensysteme .....</b>	<b>14</b>
2.1 Merkmale von Multiagentensystemen .....	14
2.2 Agenten .....	16
2.2.1 Eigenschaften .....	16
2.2.2 Abgrenzung Agenten und Objekte .....	17
2.3 Architektur eines Agenten .....	18
<b>3 Aktionen und Physis von Agenten .....</b>	<b>23</b>
3.1 Grundlegende Begriffe .....	23
3.1.1 Verhalten .....	23
3.1.2 Fußgängerbewegung- und simulation .....	24
3.1.3 Panik .....	24

3.1.4	RiMEA (Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungs-Analysen).....	25
3.1.5	Fundamentaldiagramme .....	26
3.1.6	Perzentile .....	26
3.2	Physis eines Agenten in WALK .....	27
3.2.1	Physische Eigenschaften .....	27
3.2.2	Statistische Werte.....	31
3.2.3	Physische Zustände.....	55
3.3	Aktionen eines Agenten in WALK.....	57
3.3.1	Das Aktionsspektrum .....	57
<b>4</b>	<b>Realisierung des Modells .....</b>	<b>60</b>
4.1	Architektur .....	60
4.2	Berücksichtigung der Statistiken.....	65
<b>5</b>	<b>Schlussbetrachtung .....</b>	<b>69</b>
5.1	Zusammenfassung .....	69
5.2	Ausblick .....	70
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>71</b>

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Größenentwicklung bei Jungen und Mädchen in Abhängigkeit vom Alter .....	33
Tabelle 2: BMI-Anteil nach Altersgruppen und Geschlecht (Statistisches Bundesamt, 2012).....	37
Tabelle 3: BMI-Klassifikation bei Erwachsenen nach Geschlechtern (Kunsch & Kunsch, 2007) .....	38
Tabelle 4: Perzentile für den BMI von Jungen und Mädchen im Alter von 10 – 18 Jahren (Kromeyer-Hauschild, 2001) .....	38
Tabelle 5: Gehgeschwindigkeiten innerhalb von Altersbereichen (TraffGo HT GmbH, 2012).....	41
Tabelle 6: Atemminutenvolumen bei Männern und Frauen in unterschiedlichen Belastungsstadien (Kunsch & Kunsch, 2007) .....	49
Tabelle 7: Grenzen der Erträglichkeit von Wärmestrahlung (Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., 2005) .....	51

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Reaktiver Agent (Wooldridge, 2006).....	20
Abbildung 2: Agent mit Wahrnehmung (Wooldridge, 2006) .....	21
Abbildung 3: Agent mit Zustand (Wooldridge, 2006).....	22
Abbildung 4: Fundamentaldiagramm (Weidmann, 1993).....	26
Abbildung 5: Altersverteilung der RiMEA-Standardpopulation, die zu jeweils 50 % aus Männern und Frauen besteht. (TraffGo HT GmbH, 2012).....	31
Abbildung 6: Größenentwicklung bei Jungen und Mädchen in Abhängigkeit vom Alter .....	33
Abbildung 7: Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen (Mädchen 0 - 18 Jahre) (Pharmacia GmbH, 2012).....	34
Abbildung 8: Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen (Jungen 0 - 18 Jahre) (Pharmacia GmbH, 2012) .....	35
Abbildung 9: Größenverteilung bei Frauen und Männern .....	36
Abbildung 10: Gehgeschwindigkeit in der Ebene in Abhängigkeit vom Alter (TraffGo HT GmbH, 2012) .....	41
Abbildung 11: Beispielkurve einer positiven Beschleunigungsphase eines Menschen, der nach etwa 5 Sekunden seine Maximalgeschwindigkeit von etwa 8 m/s erreicht .....	45
Abbildung 12: Beispielkurve einer negativen Beschleunigungsphase eines Menschen, der nach 60 Sekunden seine Restausdauer aufgebraucht hat.....	46
Abbildung 13: Kombiniertes Geschwindigkeitsverlauf eines Beispielagenten.....	47
Abbildung 14: Zusammenwirken der Eigenschaften .....	54
Abbildung 15: Zustandsübergänge .....	56
Abbildung 16: AgentPhysiology Klassendiagramm .....	62

---

Abbildung 17: Theoretische Perzentil-Verteilung .....	66
Abbildung 18: Praktische Perzentilverteilung 1. Durchlauf .....	67
Abbildung 19: Praktische Perzentilverteilung 2. Durchlauf .....	67
Abbildung 20: Praktische Perzentilverteilung 3. Durchlauf .....	68

# 1 Einleitung

Dieses Kapitel soll eine kurze Einführung in das Themengebiet dieser Arbeit bieten. Es erklärt vor allem die Bedeutsamkeit der Fußgängersimulation und der Bereitstellung einer Physis und eines Aktionsspektrum zur Modellierung eines Fußgängers. Außerdem werden dem Leser das Ziel der Arbeit und dessen Aufbau erläutert. Abschließend wird die Gruppensimulation WALK vorgestellt, die im Laufe dieser Arbeit mehrmals Erwähnung findet und um eine Physis-Komponente erweitert werden soll.

## 1.1 Problem- und Themenbeschreibung

Menschenmengen sind eine alltägliche Erscheinung und treten vor allem in Großstädten an Bahnhöfen, öffentlichen Plätzen oder Einkaufszentren auf. Auch Großveranstaltungen wie Festivals oder Fußballspiele sind Anlässe, die viele Menschen auf einen relativ kleinen Raum konzentrieren. Mit Hilfe von sogenannten Gruppen- bzw. Fußgängersimulationen lässt sich das Verhalten von Menschen in solchen Gruppierungen simulieren. Oft werden dafür verschiedene Szenarien inszeniert, wie das Ausbrechen einer Massenpanik durch einen Bombenanschlag oder eines Feuerausbruches.

Ein Ansatz für die Modellierung ist die makroskopische Betrachtung. Dabei werden lediglich Personenströme simuliert, um beispielsweise Engpässe zu ermitteln. Der in dieser Arbeit verfolgte Ansatz soll jedoch die mikroskopische Betrachtungsweise sein, bei der jedes Individuum ausreichend detailliert modelliert wird, um unterschiedliche Charakteristika und Eigenschaften nachzubilden. Im Rahmen von Multiagentensystemen wird jeder Mensch als Agent modelliert, dem individuelle Eigenschaften und Fähigkeiten zugeschrieben werden. Dieser kann autonom handeln und sich beispielsweise aufgrund seiner Persönlichkeit völlig anders entscheiden als ein anderer Agent.

Bei Evakuierungssimulationen sind vor allem realitätsnahe Ergebnisse wichtig, da die Auswertung der Simulationen ansonsten nur als Richtlinie genutzt werden, keineswegs jedoch um Sicherheitsvorkehrungen und Verbesserungsmaßnahmen zu treffen. Aus diesem Grund muss auch die Simulation so realistisch wie möglich modelliert werden. Dazu gehören unter anderem die Umwelt und die Agenten selbst. Vor allem bei der Modellierung der Agenten gilt es unterschiedliche Konzepte und Eigenschaften zu beachten, die sich hauptsächlich in den physischen und psychischen Bereich einteilen. Zum physischen Bereich gehört dabei die Modellierung von physischen Eigenschaften wie Alter oder Geschlecht, aber auch die Fähigkeiten eines Menschen und deren Ausführungsqualität wie das Fortbewegen mit einer gewissen Geschwindigkeit. Im psychischen Sektor siedeln sich Persönlichkeits- und Charaktereigenschaften, die die kognitiven Eigenschaften eines Menschen beeinflussen.

Realistische Simulationen spielen aber auch in anderen Bereichen eine Rolle, wie z.B. Spiele. In manchen Spielen ist es wichtig, dem Spieler eine gewisse Atmosphäre zu verschaffen. Dies gelingt nur durch ein integriertes Verhalten von sogenannten NPCs (Non-Player-Characters), die dem Spieler das Gefühl verschaffen sollen, mit echten Individuen zu interagieren.

## **1.2 Frage- und Aufgabenstellung**

Momentan können die Agenten in WALK gerade einmal laufen. Dieser Satz an Fähigkeiten soll jedoch noch erweitert werden um beispielsweise das Laufen hinsichtlich der Geschwindigkeit zu parametrisieren, Türen zu öffnen, anderen Agenten zu helfen etc. Um diese Fähigkeiten jedoch wiederum realistisch zu gestalten, muss ein Agent verschiedene physische Eigenschaften wie Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht usw. besitzen, da diese die Ausführungsqualität von Aktionen maßgeblich beeinflussen.

Des Weiteren sollen physische Zustände modelliert werden, die das Aktionsspektrum als solches einschränken oder erweitern. Ein solcher Zustand kann zum Beispiel der Tod eines Agenten sein, welcher ihn komplett interaktionsunfähig macht und einen möglichen Einfluss auf andere Agenten haben kann z.B. in Form von Paniksteigerung.

### **1.3 Themenabgrenzung**

Die Arbeit beschäftigt sich nicht mit der kompletten Modellierung und Implementierung eines Agenten innerhalb von Gruppensimulationen oder gar einer kompletten Simulation. Weiterhin sollen auch die psychischen Eigenschaften eines Menschen vernachlässigt werden. Diese können zwar die Fähigkeiten des Agenten beeinträchtigen, jedoch innerhalb dieser Arbeit nicht betrachtet werden.

### **1.4 Ziel der Arbeit und Bedeutsamkeit**

Frei zugängliche Konzepte zur Umsetzung des genannten Problems scheint es nur ansatzweise zu geben. Aus diesem Grund soll diese Arbeit ein neues Konzept zur Modellierung von Physis und Aktionsspektrum eines Agenten liefern, welches in der ersten Version komplett auf WALK zugeschnitten sein wird. Die Basis des konzeptuellen Entwurfs werden statistische Werte über den Menschen sein, die durch verschiedene Institutionen und Personen zusammengetragen wurden.

Die Implementierung soll in der Programmiersprache Java erfolgen. Das entstehende Modul soll nach Außen möglichst unabhängig sein, um so auch für evtl. andere Fußgängersimulationen nutzbar zu sein.

### **1.5 Struktur der Arbeit**

Die Arbeit gliedert sich in drei inhaltliche Kapitel, „2 Multiagentensysteme“, „3 Aktionen und Physis von Agenten“ und „4 Realisierung des Modells“.

Im zweiten Kapitel „2 Multiagentensysteme“ wird eine Einführung in das Konzept der Multiagentensysteme gegeben. Dafür werden zunächst grundlegende Eigenschaften eines Multiagentensystems erläutert. Anschließend werden die sogenannten Agenten vorgestellt, den Kern-Elementen von Multiagentensystemen.

Im anschließenden Kapitel „3 Aktionen und Physis von Agenten“ wird ein Konzept für die physischen Eigenschaften, Zustände und Aktionen eines Agenten in WALK erarbeitet, welches für die spätere Implementierungsphase genutzt werden kann. Dafür werden zunächst Eigenschaften vorgestellt, die ein Agent besitzen muss, um einen Menschen annähernd realistisch widerzuspiegeln. Außerdem sollen physische Zustände wie „Tod“ oder „Bewusstlos“ modelliert und sinnvolle Zustandsübergänge aufgezeigt werden. Um die physischen Eigenschaften eines Agenten mit sinnvollen

Werten zu füllen, müssen außerdem statistische Werte herangezogen werden. Diese Werte wurden aus verschiedenen Bereichen wie Brandschutz, Bevölkerungsschutz, Sport u.v.m. zusammengetragen. Aus diesen werden Funktionen entwickelt, die für eine spätere Berechnung physischer Eigenschaften wie Alter, Größe, Gewicht etc. genutzt werden können. Abschließend wird ein Satz an Aktionen vorgestellt, die die Fähigkeiten eines Agenten in der Simulation definieren.

Das letzte inhaltliche Kapitel „4 Realisierung des Modells“ beschäftigt sich mit der Implementierung des im vorangegangenen Kapitel erstellten Konzepts. Das Kapitel soll nicht die komplette Implementierung zeigen und erläutern, sondern lediglich den grundlegenden Entwurf erklären und Vergleiche zwischen den Ergebnissen der Implementation und den Statistiken ziehen.

Im Anschluss soll das Ergebnis der Arbeit resümiert werden. Dafür soll das entstandene Modell zusammengefasst und mögliche Weiterentwicklungsmöglichkeiten vorgestellt werden.

## **1.6 WALK**

Das WALK-Projekt ist ein Forschungsprojekt an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, welches sich mit der Fußgängersimulation befasst. Dabei stehen vor allem Paniksituationen und Evakuierungsszenarien im Vordergrund. Als Ergebnis des Projektes, soll ein Simulationsframework entstehen, welches von verschiedenen Institutionen zur Analyse von Fluchtwegen, Simulation von Großevents mit verschiedenen Szenarien usw. genutzt werden kann.

Um möglichst realistische Simulationen zu produzieren, wird in WALK das Konzept der Multiagentensysteme genutzt. Bei diesem soll jeder Agent einen individuellen Satz an psychischen und physischen Eigenschaften erhalten, um der Eigenschaft der Individualität eines Menschen gerecht zu werden. Dies spiegelt sich auch in deren Planungsprozessen wieder, die abhängig von ihrer Persönlichkeit und körperlichen Verfassung vollkommen unterschiedlich ausfallen können.

Ein weiterer Aspekt von WALK ist die Kommunikation und Interaktion zwischen Agenten, die sich so gegenseitig unterstützen oder auch behindern können. Beispielsweise wird eine Mutter sich anders verhalten, wenn sie ihr Kind dabei hat,

da sie dann auch dafür sorgen wird, dass sich ihr Kind stets in einem sicheren Zustand befindet.

WALK besteht im Wesentlichen aus drei großen Bereichen. Einem Geoinformationssystem, dem Multiagentensystem als solches, sowie den Agenten. Das Geoinformationssystem kümmert sich vor allem um die Darstellung von Terrain, Infrastruktur, Gebäuden und sonstigen Objekten, die die Umwelt eines Agenten innerhalb einer Simulation definieren. Außerdem stellt das GIS Mechanismen zur Ausbreitung von Feuer und Rauch zur Verfügung.

Das Multiagentensystem ist für eine verteilte Simulation eines spezifizierten Szenarios zuständig. Dazu gehören vor allem die verteilte Koordination von Berechnungen und Informationsaustausch zwischen Agenten und der Umwelt in einer Netzwerkinfrastruktur.

Die Agenten selbst stellen die Simulation der Menschen dar. Dazu gehören eine Emotions- und Persönlichkeitskomponente, eine Physis-Komponente, sowie eine Planungskomponente, die mögliche Aktionen eines Agenten validiert und eine Reihe von Aktionssequenzen berechnet. Außerdem hat ein Agent eine Wahrnehmungskomponente, die im Prinzip eine Schnittstelle zur Umwelt darstellt.

## 2 Multiagentensysteme

Immer mehr Computersysteme erleichtern oder ersetzen die Arbeit des Menschen. Dies geschieht im Allgemeinen noch auf Basis relativ statischer Modelle und Architekturen, die in der Regel Benutzereingaben erfordern, weshalb wichtige Entscheidungen immer noch vom Menschen getroffen werden (müssen).

Systeme, die aber in unserem Namen handeln sollen, benötigen zwei grundlegende Eigenschaften.

Zum einen müssen solche Systeme unabhängig (d.h. ohne Benutzereingaben) agieren können. Zum anderen müssen sie unsere Interessen vertreten, wenn sie mit anderen Systemen oder sogar Menschen interagieren. Gerade dies stellt jedoch häufig ein großes Problem dar, denn Systeme, die unsere Interessen vertreten sollen, treffen auf Systeme, die meist ganz andere Ziele verfolgen. Aus diesem Grund müssen interaktiv Vereinbarungen getroffen werden.

Diese und weitere Überlegungen führten letztendlich zur Entstehung eines neuen Forschungsschwerpunktes in der Informatik: Multiagentensysteme.

### 2.1 Merkmale von Multiagentensystemen

Multiagentensysteme zeichnen sich im Wesentlichen durch mehrere autonome und interaktive Entitäten aus, die als Agenten bezeichnet werden. Allerdings ist dies nur ein grobes Charakteristikum, weshalb die wesentlichen Merkmale im Folgenden genauer beleuchtet werden sollen.

#### *Umwelt*

Die Umwelt beschreibt den Raum, in dem Agenten interagieren. Russel und Norvig (Russel & Norvig, 2003) schlugen folgende Klassifizierung der Umwelt vor.

**Offen/Geschlossen:** In einer offenen Umwelt erhält der Agent jederzeit alle benötigten Informationen über den Zustand der Umwelt, wohingegen in einer

geschlossenen Umwelt gewisse Informationen nicht zur Verfügung stehen. Würde man beispielsweise von einer Fußgängersimulation ausgehen, ist alles, was nicht im Sichtbereich des Agenten ist, dem Agenten auch unbekannt.

**Deterministisch/Nicht-Deterministisch:** In einer deterministischen Umwelt hat jede Aktion eine bekannte Wirkung auf die Umwelt, also des resultierenden Zustands. Im Gegensatz dazu ist in einer nicht-deterministischen Umwelt die Wirkung einiger oder aller Aktionen ungewiss.

**Statisch/Dynamisch:** Eine statische Umwelt verändert ihren Zustand ausschließlich durch Einflüsse der Aktionen der Agenten. Eine dynamische Umwelt hingegen kann ihren Zustand auch unabhängig von den Aktionen der Agenten verändern.

**Diskret/Kontinuierlich:** In einer diskreten Umwelt existiert eine endliche Anzahl von Zuständen, Aktionen und Wahrnehmungen. Falls eine oder mehrere dieser Anzahlen nicht endlich sind, spricht man von einer kontinuierlichen Umwelt.

### *Objekte*

Objekte sind alle Entitäten, ausgenommen der Agenten. Innerhalb einer Paniksimulation, in der Agenten versuchen müssen ein Haus/Raum zu verlassen, könnten dies beispielsweise Türen sein. Auch räumliche Entitäten wie Wände können als Objekte modelliert werden, wodurch diese dann nicht mehr zur Umwelt gehören, sondern lediglich Entitäten innerhalb der Umwelt darstellen.

### *Agenten*

Da es in diesem Kapitel einen eigenen Abschnitt zu den *Agenten* gibt, soll hier vorerst eine Definition genügen:

„An agent is a computer system that is situated in some environment, and that is capable of autonomous action in this environment in order to meet its design objectives.“

(Wooldridge, 2006, S. 15)

### *Beziehungen*

Beziehungen zwischen Agenten beeinflussen häufig die Entscheidungen, wenn sie mit anderen Agenten in Interaktion treten. In diesen Bereich fällt auch die

Kommunikation zwischen Agenten, da dies wiederum nur eine spezielle Art der Interaktion darstellt.

Beziehungen können auch zwischen Objekten bestehen. Wenn beispielsweise auf einem Tisch eine Vase steht und der Tisch umfällt, hat dies einen direkten Einfluss auf die Vase.

### *Aktionen*

Die Aktionen stellen die Fähigkeiten der Agenten dar, Objekte zu empfangen, erzeugen, konsumieren, verändern oder zu löschen.

### *Operatoren/Gesetze*

Operatoren dienen zur Verknüpfung der Aktionen der Agenten mit der Umwelt, sodass durchgeführte Aktionen, die die Umwelt verändern sollen, sich auch auf diese auswirken und korrekt dargestellt werden. Die Operatoren bezeichnet man auch als Gesetze des Simulationsuniversums.

## **2.2 Agenten**

Agenten haben eine zentrale Rolle in Multiagentensystemen, wie der Name schon vermuten lässt. Im Zusammenhang mit Agenten hört und liest man häufig auch das Prädikat *intelligent*, da Agenten auch in der künstlichen Intelligenz eine große Rolle spielen. Die Intelligenz eines Agenten wird typischerweise durch die Zuschreibung bestimmter Eigenschaften definiert. Hierfür schlugen Wooldridge und Jennings (Wooldridge, 2006) folgende Eigenschaften vor.

### **2.2.1 Eigenschaften**

**Reaktivität:** Intelligente Agenten müssen fähig sein, ihre Umwelt wahrzunehmen und auf Änderungen innerhalb dieser zu reagieren, um ihre Ziele zu erreichen.

**Proaktivität:** Intelligente Agenten müssen fähig sein, zielgerichtete Aktionen aus eigener Initiative heraus durchzuführen.

**Soziale Fähigkeiten:** Intelligente Agenten müssen fähig sein, mit anderen Agenten oder Menschen zu interagieren, um ihre Ziele zu erreichen.

Diese grundlegenden Eigenschaften stellen die Basis eines jeden intelligenten Agenten dar. Dennoch finden sich in der Literatur weitere, von denen hier einige aufgeführt werden sollen.

- **Autonomie:** Diese Eigenschaft taucht schon in der bereits vorgestellten Definition eines Agenten auf und meint das selbständige Handlungsvermögen und die Kontrolle über den eigenen Zustand eines Agenten.
- **Lernfähigkeit:** Durch Erfahrung, die ein Agent durch die Ausführung der Aktionen und die resultierende Veränderung der Umwelt macht, kann ein Agent sein Verhalten dauerhaft anpassen.
- **Flexibilität:** Die Aktionen eines Agenten sind in ihrer Ausführungsreihenfolge nicht festgelegt und können spontan verändert werden.
- **Mobilität:** Mit Mobilität meint man die technische Fähigkeit des Agenten, sich über Plattformen hinweg zu bewegen. Dieser Punkt ist besonders interessant, wenn man die Ausführung der Agenten auf mehrere Systeme verteilen will.
- **Persistenz:** Diese Eigenschaft fordert die persistente Speicherung des inneren Zustands eines Agenten.
- **Charakter:** Diese Eigenschaft stellt wohl die am schwierigsten zu modellierende Eigenschaft dar, da sie dem Agenten eine Persönlichkeit, sowie ein emotional getriebenes Verhalten zukommen lässt.

### 2.2.2 Abgrenzung Agenten und Objekte

Agenten und Objekte werden häufig von Programmierern objektorientierter Sprachen wie Java, C# oder Ruby gleich gesetzt. Dies ist auf den ersten Blick auch nicht verwunderlich, wenn man sich die Eigenschaften eines Objektes solcher Sprachen betrachtet. Ein Objekt hat einen Zustand und ein Verhalten, heißt es in den meisten Einführungskapiteln objektorientierter Sprachen. Diese Eigenschaften haben sie in der Tat mit den Agenten gemeinsam. Um jedoch die Unterschiede zwischen beiden hervorzuheben, genügt es, sich die oben aufgeführten Eigenschaften eines Agenten mit denen eines Objektes zu vergleichen.

Als erstes soll auf die besondere Eigenschaft der Autonomie eingegangen werden. Ein Objekt stellt seinen inneren Zustand durch Instanzvariablen dar, die man als ‚private‘ deklarieren kann, um sie vor dem Zugriff von außen zu schützen. Somit hat ein Objekt die Kontrolle über seinen inneren Zustand und erfüllt damit zumindest

einen Teil der Autonomie-Eigenschaft. Da ein Objekt jedoch seine Funktionalität über ‚public‘ Methoden zur Verfügung stellt, hat es keinen Einfluss darauf, wann diese Methoden aufgerufen werden, wodurch sein Verhalten von außen bestimmt wird. Das Verhalten eines Agenten hingegen kann nicht von einem anderen direkt beeinflusst werden, sodass Agenten die alleinige Kontrolle über ihr Verhalten haben und somit selbst bestimmen, welche Aktionen sie wann ausführen. Zwar kann während der Kommunikation eines Agenten mit einem anderen ein bestimmtes Verhalten erbeten werden, dennoch liegt die Entscheidung der Bitte nachzugehen beim Agenten selbst.

Ein zweiter Unterschied bezieht sich auf die Basis-Eigenschaften eines Agenten (Reaktivität, Proaktivität, Soziale Fähigkeiten). Es ist zwar möglich auch Objekten ein entsprechendes Verhalten zu geben, jedoch ist dies nicht Bestandteil des allgemeinen Modells der Objektorientierung.

Der dritte wesentliche Unterschied geht in den Bereich Nebenläufigkeit. In gewöhnlichen objektorientierten Systemen gibt es nur einen Hauptthread. In Agentensystemen hingegen erhält jeder Agent seinen eigenen Thread, um die Eigenschaft der Autonomie zu bedienen. Diese Anforderung stellt zugleich auch eine neue Herausforderung dar, da Agenten oft innerhalb einer gemeinsamen Umwelt interagieren, welche somit in sich konsistent sein muss. Das bedeutet, dass alle Agenten zu einem Zeitpunkt  $t$  die gleichen Informationen über die Umwelt haben müssen.

### 2.3 Architektur eines Agenten

Als Interaktionsgrundlage wird eine Umwelt  $E$  benötigt. Diese kann sich in einem beliebigen Zustand aus einer endlichen Reihe von Zuständen befinden:

$$E = \{e_0, e_1, \dots, e_x\}.$$

Als nächstes benötigen Agenten eine endliche Anzahl an Aktionen  $A$ , die den Zustand der Umwelt verändern können:

$$A = \{a_0, a_1, \dots, a_x\}.$$

Die Interaktion der Agenten mit der Umwelt läuft wie folgt ab. Die Umwelt befindet sich in einem beliebigen Zustand. Der Agent wählt nun eine Aktion aus, die er auf diesem Zustand ausführen kann. Aus der Aktion resultiert dann ein neuer Zustand

der Umwelt, der dem Agenten mitgeteilt wird. Auf Basis des neuen Zustandes sucht sich dann der Agent die nächste mögliche Aktion aus und verändert dadurch wieder die Umwelt usw.

Ein solcher Durchlauf  $r$  ist also eine Sequenz von aufeinanderfolgenden Zuständen, ausgelöst durch Aktionen des Agenten.

$$r : e_0 \xrightarrow{a_0} e_1 \xrightarrow{a_1} \dots \xrightarrow{a_{x-1}} e_x$$

Dabei ist zu beachten, dass eine bestimmte Aktion nicht immer im gleichen Zustand resultiert, sondern verlaufsabhängig ist. Das bedeutet, dass frühere Aktionen des Agenten in die Berechnung des neuen Zustandes mit einfließen. Sei  $AG$  die Menge aller Agenten und  $R$  die Menge aller beobachteten Durchläufe, so lässt sich folgende Formel aufstellen.

$$AG : R \rightarrow A$$

Ein solcher Durchlauf kann nun vom Agenten persistiert werden und bei der Wahl der Aktionen späterer Durchläufe mit einfließen.

### *Rein reaktive Agenten*

Einige Agententypen fällen Entscheidungen ohne Rücksicht auf die Historie. Agenten, die also nur Informationen aus der Gegenwart nutzen, nennt man rein reaktiv, da sie nur auf Umweltveränderungen reagieren. Sei  $E$  die Umwelt in einem beliebigen Zustand, ergibt sich folgende Formel.

$$AG : E \rightarrow A$$

Statt auf die Historie zuzugreifen und frühere Erfahrungen bzw. Durchläufe in die Auswahl der Aktionen mit einzubeziehen, nutzen rein reaktive Agenten nur Informationen aus dem aktuellen Zustand der Umwelt, um ihre nächste Aktion auszuwählen.

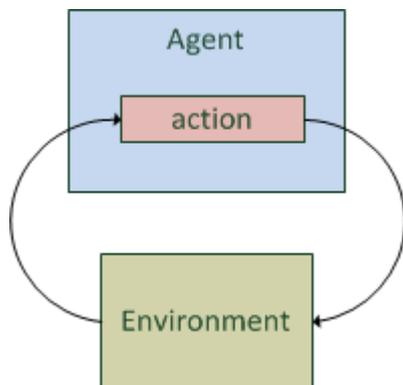


Abbildung 1: Reaktiver Agent (Wooldridge, 2006)

### *Wahrnehmung eines Agenten*

Zur Wahrnehmungsmodellierung eines Agenten werden prinzipiell zwei Eigenschaften benötigt. Zum einen die Wahrnehmung als solche, d.h. die Fähigkeit, gewisse Ereignisse oder Entitäten in der Umwelt zu beobachten und zum anderen, aus dieser Beobachtung eine oder mehrere sinnvolle Aktionen abzuleiten. Sei  $P$  die Menge aller Wahrnehmungsobjekte, dann ist *perceive* die Funktion

$$\textit{perceive} : E \rightarrow P$$

welche die Umweltzustände auf Wahrnehmungsobjekte abbildet. Des Weiteren ergibt sich die Funktion *action* folgendermaßen.

$$\textit{action} : P \rightarrow A$$

Diese bildet Wahrnehmungsobjekte letztendlich auf die auszuwählenden Aktionen ab.

Ein Agent  $AG$  ist somit ein Tupel  $AG = (\textit{perceive}, \textit{action})$ , welches aus einer *perceive* und einer *action* Funktion besteht.

Der wesentliche Unterschied zu den rein reaktiven Agenten ist folgender. Ein rein reaktiver Agent bezieht seine Informationen zur Auswahl einer Aktion direkt von der Umwelt. Dies kann auf zwei Arten geschehen. Einerseits kann die Umwelt den Agenten benachrichtigen, sobald sich ihr Zustand ändert, andererseits kann der Agent in regelmäßigen Abständen die Umwelt nach ihrem Zustand fragen und entsprechend reagieren. Wahrnehmende Agenten erhalten stattdessen ihre

Informationen über die Umwelt durch Sensoren. Dabei kann ein Sensor den exakten Zustand der Umwelt wiedergeben oder diesen sogar verfälscht dem Agenten präsentieren. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn ein Mensch mit einem schlechten Seh- oder Hörsinn modelliert werden soll.

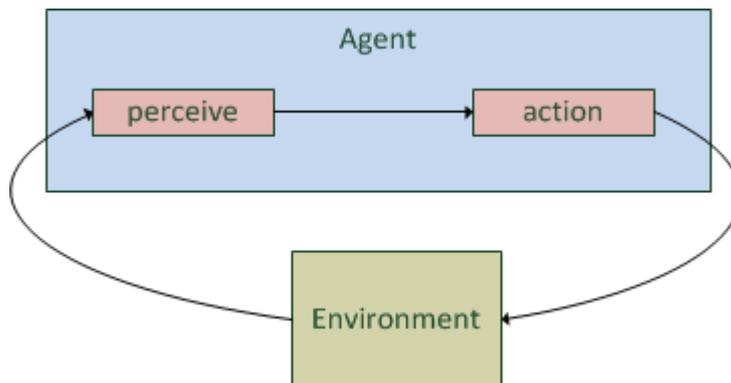


Abbildung 2: Agent mit Wahrnehmung (Wooldridge, 2006)

### *Zustand eines Agenten*

Bisher wurden mögliche Aktionen hauptsächlich aus Informationen über die Umwelt ausgewählt und vorausgesetzt, dass der Agent jederzeit in der Lage ist, jede mögliche Aktion, die sich aus dem Zustand der Umwelt ergibt, auszuführen. Um jedoch realitätsnahe Agenten zu modellieren, muss es ein Kriterium geben, welches etwas über die Qualität der auszuführenden Aktion aussagt. Nicht jeder Mensch kann alles und häufig entscheidet auch noch unser psychischer und physischer Zustand, wie gut oder schlecht wir eine Aktion ausführen. Dies soll auch bei den Agenten durch die Modellierung von Zuständen berücksichtigt werden.

Es gelte weiterhin die *perceive* Funktion, welche Umweltzustände auf Wahrnehmungsobjekte abbildet.

$$\textit{perceive} : E \rightarrow P$$

Des Weiteren sei  $S$  die Menge aller internen Zustände eines Agenten. Die auszuwählende Aktion ergibt sich aus dem aktuellen internen Zustand des Agenten, sodass die *action* Funktion wie folgt lautet.

$$\textit{action} : S \rightarrow A$$

Zur Berechnung des Folgezustandes sei die Funktion *next* gegeben.

$$\text{next} : S \times P \rightarrow S$$

Diese berechnet aus dem internen Zustand des Agenten und der Wahrnehmung von der Umwelt den neuen internen Zustand des Agenten. Die Auswahl einer Aktion kann somit folgendermaßen zusammengefasst werden.

Ein Agent befindet sich in einem initialen Zustand  $s_0$ . Zur Berechnung der nächsten Aktion beobachtet ein Agent die Umwelt und generiert daraus seine Wahrnehmung. Aus dieser und dem initialen Zustand des Agenten wird dann der Folgezustand berechnet. Aus dem Folgezustand wiederum kann dann die nächste Aktion berechnet werden. Der vollständige Funktionsaufruf lässt sich dann als  $\text{action}(\text{next}(s_0, \text{perceive}(e_0)))$  ausdrücken.

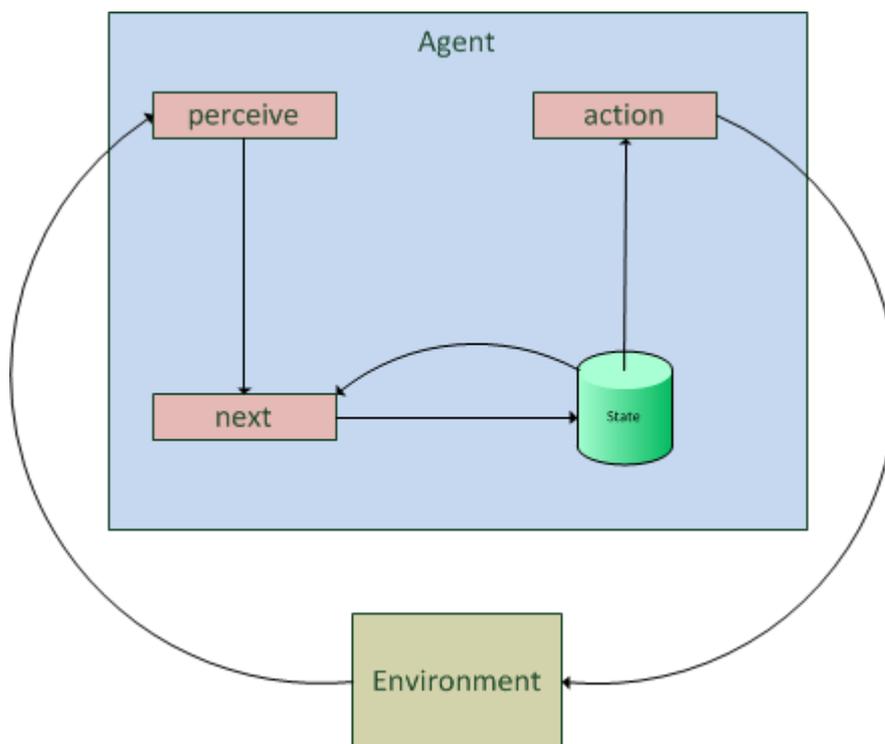


Abbildung 3: Agent mit Zustand (Wooldridge, 2006)

# 3 Aktionen und Physis von Agenten

Dieses Kapitel soll die Anforderungen hinsichtlich der Aktionen und der physischen Eigenschaften und Zustände eines Agenten in WALK definieren. Dabei werden zunächst grundlegende Begriffe erklärt, die im weiteren Verlauf der Arbeit benutzt werden.

## 3.1 Grundlegende Begriffe

Für das weitere Verständnis der Arbeit und der Simulation von Paniksituationen müssen zunächst ein paar grundlegende Begriffe erläutert werden, die in diesem Themengebiet immer wieder auftauchen.

### 3.1.1 Verhalten

Da das Ziel dieser Arbeit auch die Modellierung des Verhaltens eines Menschen in Paniksituationen ist, soll auch dieser Begriff zunächst erläutert werden.

Innerhalb dieser Arbeit soll der Begriff Verhalten als Synonym für das Aktionsspektrum eines modellierten Menschen, sprich eines Agenten, gelten. Das mögliche Verhalten zu einer gegebenen Situation ist also eine bestimmte Aktion aus der Menge aller Aktionen des Agenten.

Das Verhalten wird durch verschiedene Einflussfaktoren bestimmt, die entweder mehr Aktionen in einer bestimmten Situation ermöglichen oder das Aktionsspektrum sogar einschränken. Einige solcher Einflussfaktoren sind z.B. der physische und emotionale Zustand des Agenten, aber auch der Zustand der Umwelt und anderer Agenten im Einflussbereich.

Durchgeführte Aktionen haben immer eine sicht- oder messbare Auswirkung auf die Umwelt oder andere Agenten.

### 3.1.2 Fußgängerbewegung- und simulation

*„Um ein tadelloses Mitglied einer Schafherde zu sein, muss man vor allem ein Schaf sein.“*

*Albert Einstein*

Über die Bedeutung und Korrektheit dieses Zitates existieren genügend Diskussionen in vor allem öffentlichen Plattformen. Fest steht jedoch eines. Würde sich jeder Mensch reibungslos in einer Gruppe von Menschen einfügen, wäre die Simulation von Fußgängern wesentlich leichter, da von einheitlichen Verhaltensmustern ausgegangen werden könnte. Leider ist dies nicht der Fall.

Menschen sind komplex denkende Individuen, die allein betrachtet schon schwer zu verstehen oder gar zu modellieren sind. Noch komplexer wird der Mensch, wenn er sich in Gruppen aufhält, da er sich abhängig von seiner Persönlichkeit, seinen Zielen oder seines individuellen Gemütszustandes und der wiederum anderen Gruppenmitglieder nahezu unberechenbar verhalten kann.

Das Gebiet der Fußgängerbewegung beschäftigt sich mit eben genau diesen Umständen am Beispiel des Fußgängers in öffentlichen Lokationen und unterteilt sich aufgrund der genannten Komplexität in mehrere Teilgebiete, wie z.B. des Menschen in Paniksituationen.

Die Fußgängersimulation versucht Systeme zu entwickeln, die das Verhalten von Fußgängern in verschiedenen Situationen voraussagen können und so z.B. eventuelle Engpässe zu finden und entsprechende Maßnahmen treffen zu können oder eine Transportnetz- und Gebäudeplanung durchzuführen. Da hier verschiedene Aspekte des Menschen berücksichtigt und nachmodelliert werden müssen, ist auch dieses Gebiet entsprechend komplex. Daher spezialisieren sich die meisten vorhandenen Simulationssysteme auf ein Teilgebiet. Eines dieser Teilgebiete ist die in dieser Arbeit zentrale Rolle der Menschen in Paniksituationen.

### 3.1.3 Panik

Dem Begriff Panik wird in der Literatur und in verschiedenen Fachbereichen und Interessengruppen eine unterschiedliche Bedeutung zugeschrieben. Im Allgemeinen beschreibt er aber eine Situation, in der sich ein Mensch anders als erwartet verhält bzw. anders, als er es in einer normalen alltäglichen Situation tun würde. In solch einer Situation ist der Betroffene nach allgemeiner Definition nicht mehr Herr seiner Lage und neigt zu affektierten unkontrollierten Verhaltensmustern.

Panik wirkt sich bei vielen Menschen, abhängig von ihren Persönlichkeitseigenschaften, unterschiedlich aus. Während die einen panisch die Flucht ergreifen, stehen andere wie vor Angst erstarrt da und fühlen sich nicht in der Lage auf die vermeintliche Bedrohung zu reagieren. Wiederrum andere können selbst in solchen Situationen noch rational denken, werden aber im Allgemeinen dann nicht als panisch bezeichnet. Diese unterschiedlichen Verhaltensmuster werden als *Individuelle Panik* bezeichnet. *Kollektive Panik* hingegen basiert auf Paniksituationen in Gruppen, in denen der einzelne durch die anderen Gruppenmitglieder beeinflusst wird. Auch die Fluchtmöglichkeiten werden hier durch das kollektive Verhalten bestimmt, was wiederum Auswirkungen auf das Verhalten einzelner hat. Auslöser für Panik ist meist die Bedrohung der eigenen Lebensqualität, im extremen Fall die Angst vor dem eigenen Tod.

### **3.1.4 RiMEA (Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungs-Analysen)**

Der Verein RiMEA e.V. beschäftigt sich mit den Bereichen Brandschutz sowie Evakuierungssicherheit. Innerhalb dieser Bereiche sehen die Mitglieder ihre Aufgaben in der Schulung, Entwicklung von Richtlinien und der Förderung wissenschaftlicher Forschung.

Auszug aus der Vereinssatzung vom Februar 2011 des RiMEA e.V. (TraffGo HT GmbH, 2012):

„Der Satzungszweck wird verwirklicht insbesondere durch:

1. Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses
2. Förderung von Forscherinnen und Forschern im Bereich Brandschutz und Evakuierung
3. Förderung der Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis
4. Durchführung wissenschaftlicher Veranstaltungen
5. Entwicklung neuer Wege in der Evakuierungsanalyse“

Außerdem hat der Verein auch eine Zusammenfassung verschiedener Statistiken veröffentlicht wie z.B. Reaktionsdauer, durchschnittliche Gehgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Alter und des Geländes etc. Diese Werte werden als Grundlage für die später in dieser Arbeit durchzuführende Simulation des Verhaltens eines Menschen in einer Paniksituation genutzt. Eine explizite Auflistung der genutzten Werte erfolgt an entsprechender Stelle innerhalb dieser Arbeit.

### 3.1.5 Fundamentaldiagramme

Fundamentaldiagramme werden hauptsächlich in der Verkehrsflussmodellierung sowie Verkehrsplanung genutzt. Dabei beschreibt ein solches Diagramm die Abhängigkeit der Geschwindigkeit (des Verkehrs) von Verkehrsstärke und Verkehrsdichte. Diese Art von makroskopischen Untersuchungen hinsichtlich Flussgeschwindigkeiten kann auch für die Untersuchung von Fußgängerströmen genutzt werden. Denn auch hier gilt, dass sich dicht gedrängte Fußgänger gegenseitig hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit beeinflussen.

In den RiMEA-Richtlinien taucht dafür der Begriff des spezifischen Flusses auf, welcher die Anzahl der Personen beschreibt, „die einen bestimmten Querschnitt pro Meter lichter Breite und pro Sekunde passieren“. (TraffGo HT GmbH, 2012)

Dieser spezifische Fluss ist abhängig von der Personendichte  $\rho$  (Personen/m<sup>2</sup>). Die Formel des spezifischen Flusses lautet:

$$\varphi_{s,max} = \rho * 1,34 * \left(1 - e^{-1,913 * \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{5,4}\right)}\right).$$

Aus dieser Formel ergibt sich das Fundamentaldiagramm aus Abbildung 4.

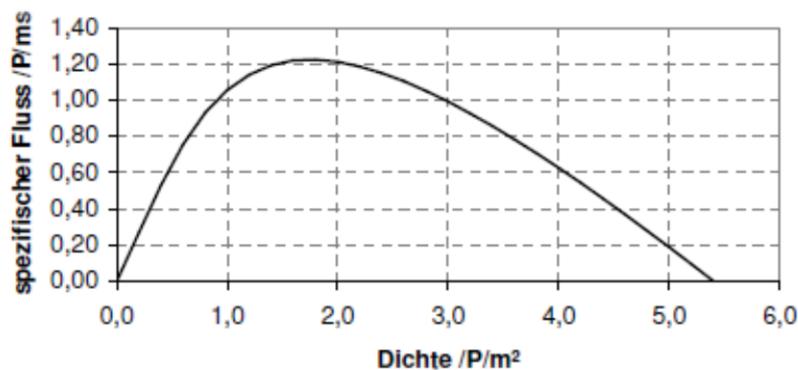


Abbildung 4: Fundamentaldiagramm (Weidmann, 1993)

### 3.1.6 Perzentile

Bei Kindern werden Gewichtsverteilungen oft in sogenannte Perzentile eingeteilt. Dabei handelt es sich um eine Art Vergleichsverfahren zwischen gleichaltrigen Kindern. Ein Perzentil entspricht dabei immer dem Anteil der Kinder in Prozent, die leichter sind, als das betroffene Kind. Liegt beispielsweise ein Kind mit seinem

Gewicht auf der 10. Perzentile, bedeutet das, dass 10 % aller anderen Kinder seines Alters leichter sind und 90 % schwerer.

Die gleiche Methode wird auch bei der Größenverteilung von Kindern genutzt.

## **3.2 Physis eines Agenten in WALK**

Die Modellierung eines Menschen muss natürlich auch die physischen Eigenschaften und Zustände berücksichtigen, da diese das Aktionsspektrum erweitern oder einschränken können. Außerdem ist eine drastische Veränderung der Physis immer ein Indikator für eine kritische Zone, die es als Ergebnis einer Simulation näher zu untersuchen gilt.

Im Folgenden sollen demnach notwendige physische Eigenschaften und Zustände angeboten werden.

### **3.2.1 Physische Eigenschaften**

Zu den physischen Eigenschaften eines Agenten zählen alle körperlichen Eigenschaften, die die Qualität der Ausführung einer Aktion beeinträchtigen können. Dazu gehören alle sichtbaren (z.B. Größe, Alter, Behinderungen etc.), als auch unsichtbaren (z.B. Ausdauer) Eigenschaften. Die physischen Eigenschaften können jedoch auch eine Auswirkung auf die psychische Belastbarkeit und den emotionalen Zustand eines Agenten haben.

Die folgende Liste soll eine Übersicht über die gewünschten physischen Eigenschaften eines Agenten in WALK liefern. Dabei werden die Eigenschaften weiter in statische und dynamische Eigenschaften unterteilt.

#### *Statische Eigenschaften*

Statische Eigenschaften sind alle Eigenschaften, die bei der Erstellung des Agenten festgelegt werden und sich während der Simulation nicht ändern.

#### **Gender**

Das Geschlecht des Agenten spielt für viele andere physische Eigenschaften eine wichtige Rolle. So sind statistisch gesehen z.B. die durchschnittlichen Körpergrößen oder Laufgeschwindigkeiten bei Frauen und Männern unterschiedlich.

Das Geschlecht kann nur einen von zwei Werten annehmen: *Male* und *Female*.

**Age**

Das Alter eines Agenten spielt für bestimmte statistische Werte eine wichtige Rolle, auf die im Laufe dieser Arbeit zurückgegriffen wird. Ein typisches Beispiel ist die in den RiMEA-Richtlinien aufgeführte durchschnittliche Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Alter.

Der Wert wird als ganze Zahl angegeben und entspricht dem Alter in Jahren (a).

**Weight**

Das Gewicht eines Agenten fließt in mehrere spätere Berechnungen mit ein. So sinkt zum Beispiel der Erschöpfungsgrad eines schwereren Menschen schneller, als der eines leichteren, da mehr Energie aufgebracht werden muss, um auch die größere Masse zu bewegen. Natürlich spielen hier noch andere Faktoren, wie die Ausdauer, eine wichtige Rolle.

Außerdem ist das Gewicht ein bestimmender Faktor, der angibt, wie leicht oder wie schwer sich der Agent von anderen Agenten schieben lässt.

Der Wert wird als Dezimalzahl angegeben und entspricht dem Gewicht in Kilogramm (kg).

**Height**

Die Größe eines Agenten soll in der Simulation vorerst keine direkte Rolle für die Qualität einer auszuführenden Aktion spielen. Jedoch kann die Größe einen entscheidenden Einfluss auf die Psyche des Agenten haben. So werden kleine Menschen, die sich in einer eng gedrängten Menge größerer Menschen befinden, oft schneller panisch als Menschen in der entsprechend entgegengesetzten Situation.

Der Wert wird als Dezimalzahl angegeben und entspricht der Größe in Zentimetern (cm).

**Maximum Movement Speed**

Die maximale Fortbewegungsgeschwindigkeit sagt etwas über die maximale Laufgeschwindigkeit eines Agenten auf ebener Fläche ohne Hindernisse aus. Diese ist bei jedem Menschen unterschiedlich und sollte daher auch modelliert werden. Die Werte für jeden Agenten können allerdings auch entsprechend ihres Alters standardisiert werden, sodass für jede Altersgruppe ein gewisser festgesetzter Wert gilt. Dadurch spart man sich die Festlegung eines bestimmten Wertes für jeden zu modellierenden Agenten in der Simulation. Entsprechende körperliche Handicaps können dann diesen Standardwert weiter verändern.

Der Wert wird als Dezimalzahl angegeben und entspricht der maximalen Laufgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde ( $\frac{m}{s}$ ).

### **Walking Speed**

Bei dieser Eigenschaft handelt es sich um die durchschnittliche Gehgeschwindigkeit eines Agenten auf ebener Fläche ohne Hindernisse. Hier gelten wieder die gleichen Aussagen wie bei dem *Maximum Movement Speed*, sodass auch hier wieder eine Standardisierung der Werte für bestimmte Altersgruppen herangezogen werden kann.

Auch die Gehgeschwindigkeit wird als Dezimalzahl mit der Einheit Meter pro Sekunde ( $\frac{m}{s}$ ) angegeben.

### **Positive Acceleration Time**

Die Zeit der positiven Beschleunigung, also die Zeit bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit, wird für den Geschwindigkeitsverlauf eines Agenten benötigt.

Der Wert wird als Dezimalzahl angegeben und entspricht der Zeit in Sekunden (s).

### **Maximum Speed Duration**

Dieser Eigenschaft definiert die die Dauer, für die die maximale Geschwindigkeit aufrechterhalten werden kann. Sie wird ebenfalls für den Geschwindigkeitsverlauf eines Agenten benötigt.

Der Wert wird als Dezimalzahl angegeben und entspricht der Dauer in Sekunden (s).

### **Maximum Stamina**

Die maximale Ausdauer eines Agenten gibt den Höchstwert für die aktuelle Ausdauer (s. *Current Stamina*) an, die sich bei starker Belastung verringert und in Pausen regenerieren kann.

Der Wert wird als Ganzzahl angegeben und entspricht dem Maximalwert für die aktuelle Ausdauer in Sekunden (s).

## *Dynamische Eigenschaften*

Dynamische Eigenschaften sind alle Eigenschaften, die bei der Erstellung des Agenten initialisiert werden, sicher aber während der Simulation ändern können.

**Health**

Der Gesundheitszustand bestimmt vor allem den physischen Zustand des Agenten. Hierfür werden Grenzwerte bestimmt, deren Erreichen eine Änderung des physischen Zustandes zur Folge hat. Jeder äußere Einfluss auf die Agenten wie Feuer, Rauch oder sonstige körperliche Verletzungen senken seinen Gesundheitszustand.

Außerdem kann dieser Wert auch für die anschließende Auswertung genutzt werden, um beispielsweise festzustellen, wie viel Agenten innerhalb der Simulation leicht, schwer oder gar nicht verletzt wurden.

Der Wert wird als Dezimalzahl angegeben und entspricht dem Gesundheitszustand in Prozent (%). Dabei soll ein Unterschreiten der 30%-Marke den Agenten in den physischen Zustand *Bewusstlos* versetzen. Erreicht der Agenten die 0%-Marke, gilt dieser als *tot*.

**Current Movement Speed**

Diese Eigenschaft beschreibt die aktuelle Bewegungsgeschwindigkeit des Agenten. Sie kann maximal den Wert der maximalen Laufgeschwindigkeit annehmen und mindestens  $0 \frac{m}{s}$ .

Die aktuelle Geschwindigkeit wird als Dezimalzahl mit der Einheit Meter pro Sekunde ( $\frac{m}{s}$ ) angegeben.

**Current Stamina**

Die aktuelle Ausdauer eines Agenten entscheidet über die Dauer, mit der sich ein Agent schneller als seine Gehgeschwindigkeit bewegen kann. Sinkt sie auf 0, ist sie aufgebraucht und der Agent kann nur noch gehen. Natürlich regeneriert sich die Ausdauer auch wieder nach einer gewissen Zeit, wodurch das schnelle Laufen wieder verfügbar wird. Der Maximalwert für die aktuelle Ausdauer wird durch die Eigenschaft *Maximum Stamina* bestimmt.

Der Wert wird als Ganzzahl angegeben und entspricht der Dauer in Sekunden (s).

**Physical Handicaps**

Dieses Merkmal soll den Verlust von Extremitäten darstellen. Diese können schon zu Beginn der Simulation auftreten, beispielsweise durch körperliche Behinderungen, aber auch während der Simulation.

Der Wert wird als Liste von nicht vorhandenen oder nicht funktionsfähigen Extremitäten angegeben ( $[e_1, \dots, e_n]$ ). Diese beschränken sich zunächst auf Hände und Beine, da diese das Aktionsspektrum wesentlich beeinträchtigen.

### 3.2.2 Statistische Werte

Im Folgenden sollen statistische Werte aufgeführt werden, die entweder für die Generierung eines Agenten oder die Simulation notwendig sind.

#### *Altersverteilung der Population*

Für die Generierung von Agenten ist eine realistische Altersverteilung notwendig, da diese u.a. die Bewegungsgeschwindigkeiten eines Menschen definieren. Wird für die Simulation keine Altersverteilung explizit definiert, wird die folgende Standard-Altersverteilung aus den RiMEA-Richtlinien (TraffGo HT GmbH, 2012) herangezogen.

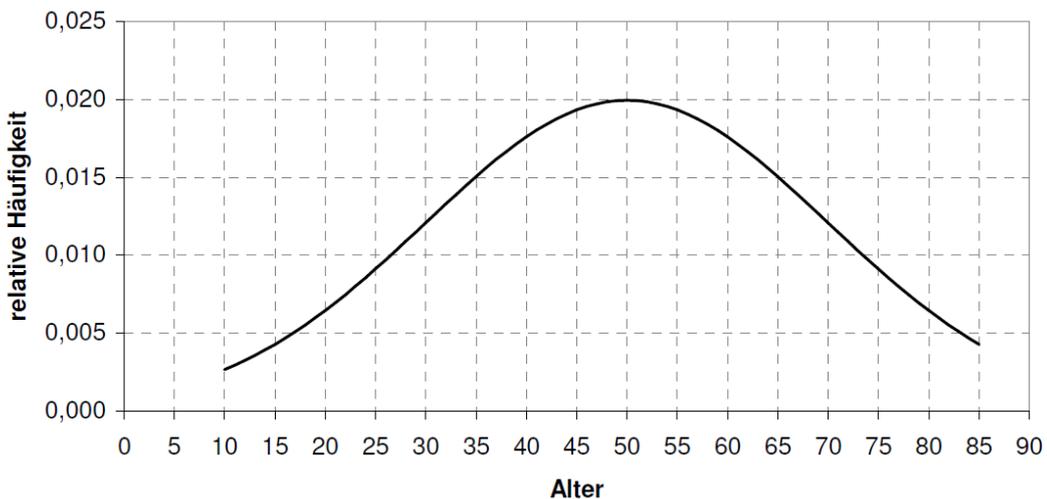


Abbildung 5: Altersverteilung der RiMEA-Standardpopulation, die zu jeweils 50 % aus Männern und Frauen besteht. (TraffGo HT GmbH, 2012)

Bei dieser Standardpopulation wird von einer gleichmäßigen Verteilung der Männer und Frauen ausgegangen, sodass beiden ein Anteil von 50% der Gesamtbevölkerung zugeschrieben wird. Das Mindestalter beträgt 10 Jahre und das maximale Alter 85 Jahre. Bei der Abbildung handelt es sich um eine Normalverteilung um den Mittelwert 50 Jahre mit einer Standardabweichung von 20 Jahren. Sei  $\sigma$  die Standardabweichung in Jahren und  $\mu$  der Alters-Mittelwert in Jahren, dann lautet die allgemeine Funktion für die Berechnung der relativen Häufigkeit eines bestimmten Alters, also die Funktion der Normalverteilung, wie folgt:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Da der Mittelwert und die Standardabweichung bekannt sind, kann die Formel weiter angepasst werden:

$$f(x) = \frac{1}{20\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-50}{20}\right)^2}$$

**Beispiel:**

Bei einer Gesamtpopulation von beispielsweise 100 Personen liegt der Anteil von 20-Jährigen bei etwa 0,647588%. Dies entspricht auch einem Anteil von etwa 0,64 Menschen von den gesamten 100 Menschen. Dieser Wert ist so jedoch unbrauchbar und muss daher auf einen ganzzahligen Wert gerundet werden, sodass sich ein Wert von 1 ergibt, was einem Menschen entspricht. Somit ist der Anteil an 20-Jährigen bei einer Population von 100 Personen gleich 1. Führt man diese Rundung auf jedes ganzzahlige Alter im Bereich von 10 bis 85 Jahren durch und addiert die Ergebnisse, erhält man eine Gesamt-Personenzahl von 98. Somit fehlen zwei Personen von den ursprünglich gewünschten 100. Dies ergibt sich zum einen aus den Rundungen, zum anderen aber auch durch die Begrenzung der Funktion auf einen Wertebereich von 10 bis 85 Jahren. Um dennoch die fehlenden Personen zu berücksichtigen, werden diese gleichmäßig um den Mittelwert auf die Alters-Anteile verteilt.

*Größenverteilung*

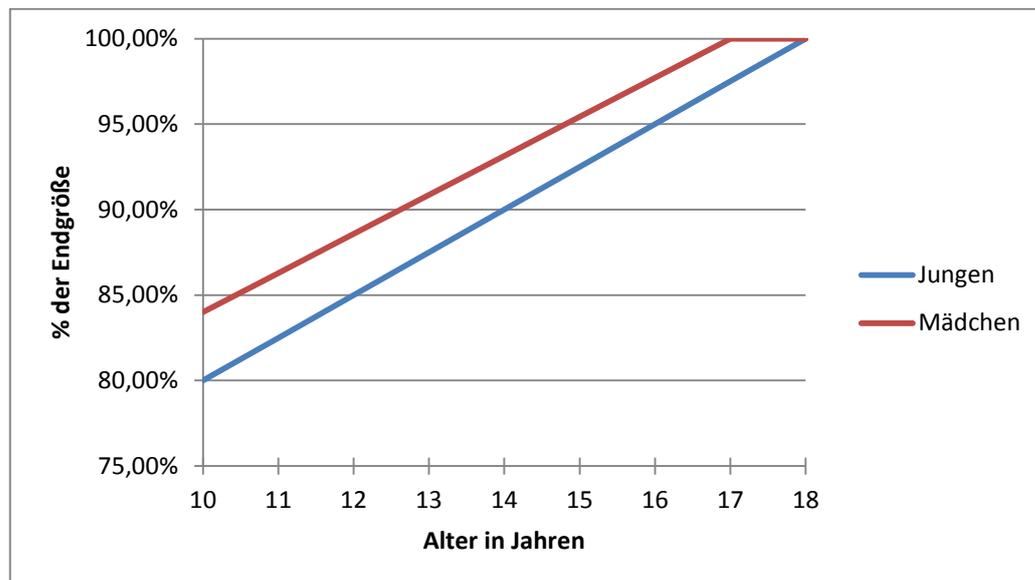
Die Größe eines Menschen kann von vielen Faktoren abhängen. Dazu zählen vor allem Alter, Geschlecht oder Rasse. In dieser Arbeit sollen lediglich die Faktoren Alter und Geschlecht für die Beeinflussung der Größe genutzt werden.

Frauen erreichen ihre maximale Körpergröße durchschnittlich mit etwa 17 Jahren. Bei Männern ist dies erst mit 18 Jahren der Fall (Weidmann, 1993). Außerdem ist zu erwähnen, dass die Wachstumsrate bei beiden Geschlechtern nicht linear ist, sondern abhängig vom Alter mal hoch und mal niedrig sein kann. Der Einfachheit halber soll jedoch ein lineares Wachstum beider Geschlechter angenommen werden. Betrachtet man sich die Perzentilenkurven für Jungen und Mädchen im Altersbereich von 10 bis 18 Jahren auf der 50. Perzentile, stellt man fest, dass Jungen mit 10 Jahren etwa 80 % ihrer Endgröße erreicht haben, bei Mädchen

beträgt dieser Wert bereits 84%. Geht man nun wie bereits erwähnt von einem linearen Wachstum aus, lässt sich der Wachstumsverlauf vereinfacht wie folgt darstellen.

**Tabelle 1: Größenentwicklung bei Jungen und Mädchen in Abhängigkeit vom Alter**

<b>Jungen</b>		<b>Mädchen</b>	
% der Endgröße	Alter	% der Endgröße	Alter
80,00%	10	84,00%	10
82,50%	11	86,29%	11
85,00%	12	88,57%	12
87,50%	13	90,86%	13
90,00%	14	93,14%	14
92,50%	15	95,43%	15
95,00%	16	97,71%	16
97,50%	17	100,00%	17
100,00%	18	100,00%	18



**Abbildung 6: Größenentwicklung bei Jungen und Mädchen in Abhängigkeit vom Alter**

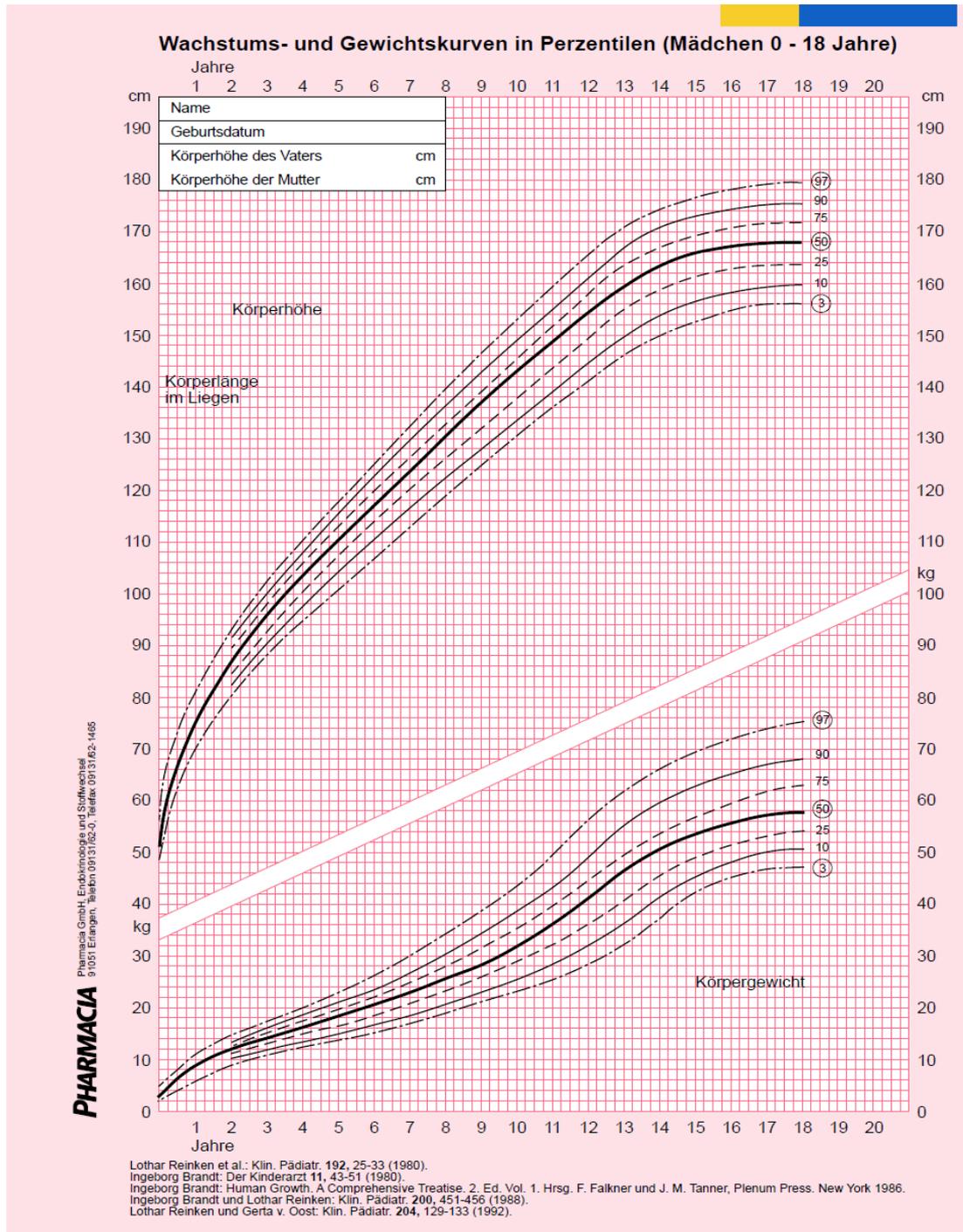


Abbildung 7: Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen (Mädchen 0 - 18 Jahre) (Pharmacia GmbH, 2012)

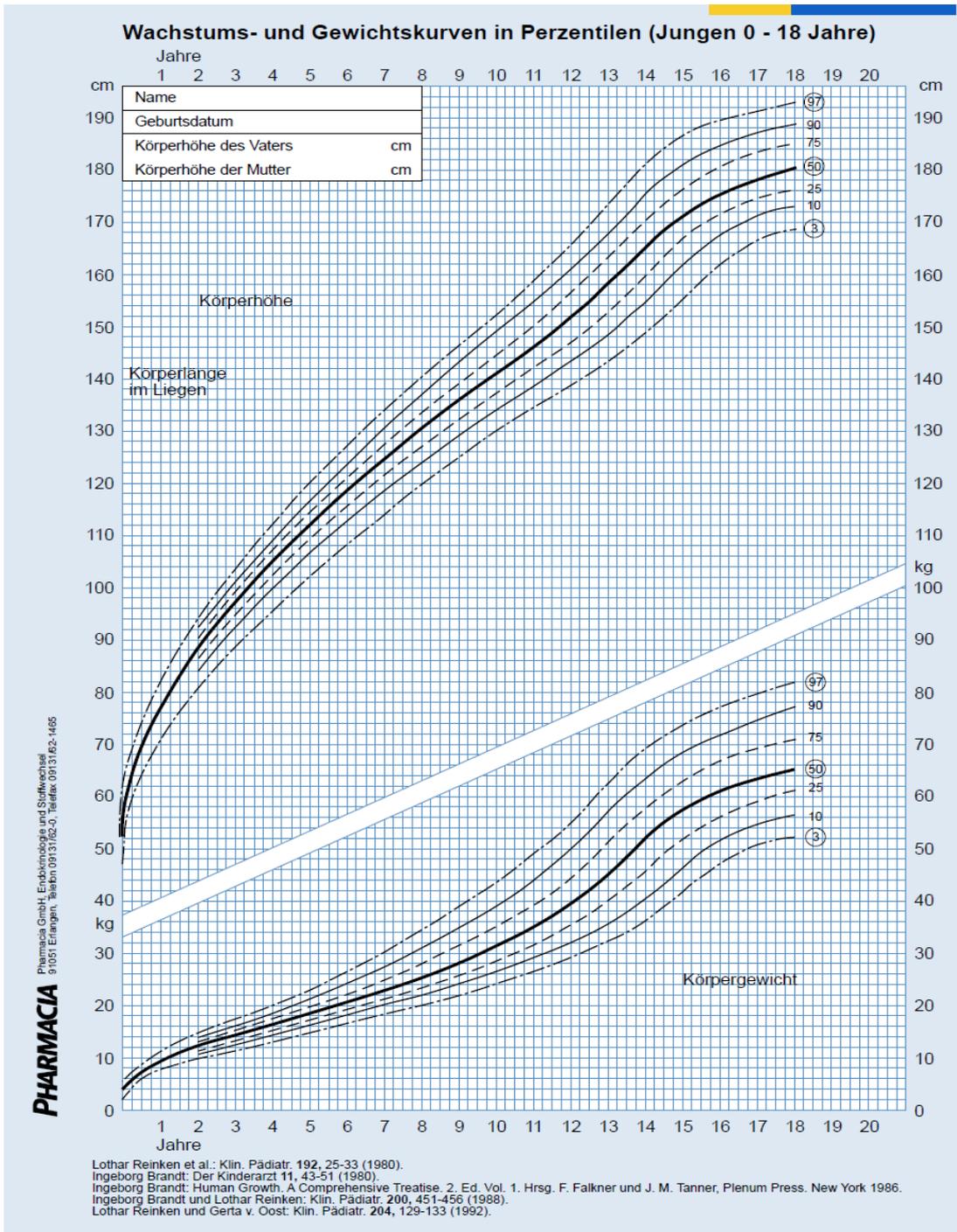


Abbildung 8: Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen (Jungen 0 - 18 Jahre) (Pharmacia GmbH, 2012)

Die durchschnittlichen Körpergrößen in Zentraleuropa liegen bei Männern bei 178,5 cm und bei Frauen bei 166,0 cm (Weidmann, 1993). Geht man nun bei Männern von einer Standardabweichung von 5,9 cm und bei Frauen von 5,5 cm aus, lässt sich die Größenverteilung wieder als Normalverteilung darstellen.

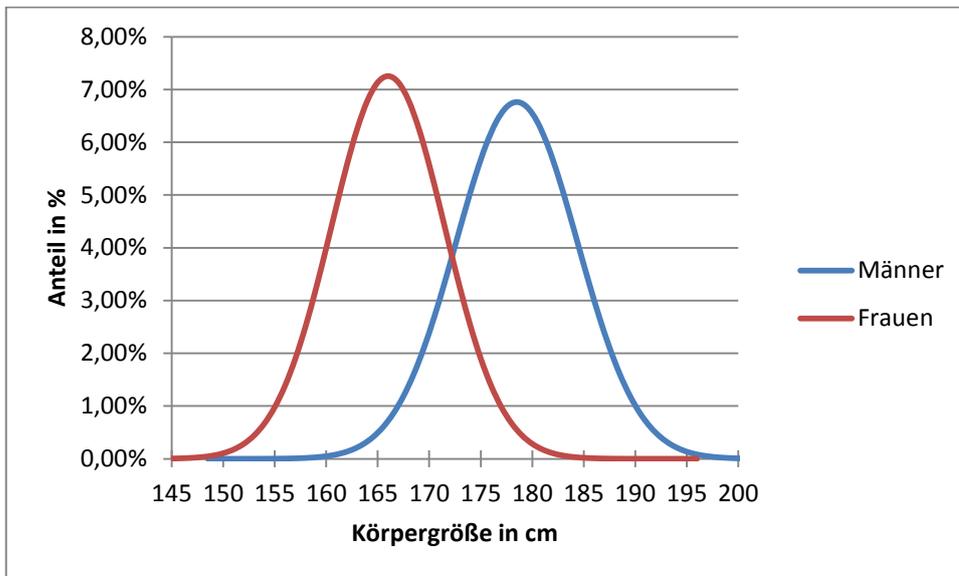


Abbildung 9: Größenverteilung bei Frauen und Männern

Um nun die tatsächliche Größe eines Agenten in der Simulation zu bestimmen, ist folgende Vorgehensweise nötig.

Der Agent bekommt bei seiner Erzeugung anhand der Normalverteilungen ein Geschlecht, ein Alter und eine Größe zugewiesen. Die initial zugewiesene Größe entspricht jedoch der Größe eines ausgewachsenen Menschen, was für den Agenten nicht unbedingt zutreffen muss. Befindet sich das Alter des Agenten im Bereich von 10-17 Jahren, muss die tatsächliche Größe anhand der in Tabelle 1 angegebenen Werte abhängig vom Geschlecht des Agenten errechnet werden.

#### Beispiel:

Es wird ein Agent mit einem Alter von 12 Jahren, einem männlichen Geschlecht und einer Größe von 175 cm generiert. Da das Alter des Agenten im Bereich für nicht ausgewachsene Menschen liegt, muss seine tatsächliche Größe berechnet werden. Im Alter von 12 Jahren besitzen Jungen etwa 85% ihrer Körpergröße, sodass sich eine tatsächliche Körpergröße von 148,75 cm ergibt.

*Gewichtsverteilung*

Als Grundlage einer Gewichtsverteilung unter den Agenten wird der Körpermassenindex (Body-Mass-Index = BMI) genutzt, da dies ein international anerkanntes Beurteilungsverfahren für das Körpergewicht ist. Der BMI kann aus der Körpergröße und dem Gewicht wie folgt berechnet werden:

$$BMI = \frac{\text{Körpergewicht [kg]}}{\text{Körpergröße}^2 [m^2]}$$

Das Statistische Bundesamt erhebt jährlich Statistiken innerhalb eines Mikrozensus über Körpergrößen und Gewicht, um daraus eine prozentuale BMI-Verteilung innerhalb der Bevölkerung zu bestimmen.

**Tabelle 2: BMI-Anteil nach Altersgruppen und Geschlecht (Statistisches Bundesamt, 2012)**

Altersstufe	Davon mit einem Body-Mass-Index von			
	unter 18,5	18,5 - 25	25 - 30	30 und mehr
	Prozent			
<b>Männlich</b>				
18 – 20	4,8	73,4	17,9	3,8
20 – 25	2,6	68,8	23,3	5,4
25 – 30	1,0	59,2	31,9	7,9
30 – 35	0,6	48,1	39,8	11,5
35 – 40	0,4	41,6	44,5	13,6
40 – 45	0,3	39,3	45,9	14,5
45 – 50	0,4	34,7	47,9	17,1
50 – 55	0,4	31,8	48,8	19,0
55 – 60	0,4	28,5	49,5	21,6
60 – 65	/	26,4	51,1	22,3
65 – 70	0,3	26,8	51,6	21,3
70 – 75	0,3	25,8	52,9	21,0
75 und mehr	0,8	34,0	49,7	15,5
<b>Weiblich</b>				
18 – 20	12,5	74,5	10,3	2,6
20 – 25	9,4	72,9	13,4	4,3
25 – 30	6,6	70,5	16,2	6,7

30 – 35	4,8	67,1	20,0	8,0
35 – 40	3,7	64,2	22,3	9,7
40 – 45	2,9	62,9	23,6	10,5
45 – 50	2,4	57,8	27,5	12,3
50 – 55	2,1	52,2	30,5	15,2
55 – 60	1,9	44,6	34,4	19,1
60 – 65	1,4	41,8	37,4	19,3
65 – 70	1,6	40,5	38,3	19,7
70 – 75	1,3	36,1	40,9	21,6
75 und mehr	2,8	42,4	38,2	16,6

Der BMI wird nach Geschlechtern getrennt in unterschiedliche Klassifikationen eingeteilt.

**Tabelle 3: BMI-Klassifikation bei Erwachsenen nach Geschlechtern (Kunsch & Kunsch, 2007)**

Klassifikation	BMI männlich	BMI weiblich
Untergewicht	< 20	< 19
Normalgewicht	20 – 25	19 – 24
Übergewicht	25 – 30	24 – 30
Fettleibigkeit	30 – 40	30 – 40
Massive Fettleibigkeit	> 40	> 40

Da das Statistische Bundesamt nur Werte für Bürger ab 18 Jahre registriert, das Alter unserer Agenten jedoch schon bei 10 Jahren beginnt, soll außerdem die folgende Tabelle gelten. Eine Erklärung zu Perzentilen befindet sich unter *3.1.6 Perzentile*

**Tabelle 4: Perzentile für den BMI von Jungen und Mädchen im Alter von 10 – 18 Jahren (Kromeyer-Hauschild, 2001)**

Alter	Perzentile						
	P3	P10	P25	P50	P75	P90	P97
<b>Männlich</b>							
10	13,80	14,60	15,57	16,89	18,58	20,60	23,35
11	14,11	14,97	16,00	17,41	19,24	21,43	24,45
12	14,50	15,41	16,50	17,99	19,93	22,25	25,44
13	14,97	15,92	17,06	18,62	20,62	23,01	26,28
14	15,50	16,48	17,65	19,26	21,30	23,72	26,97

15	16,04	17,05	18,25	19,89	21,95	24,36	27,53
16	16,57	17,60	18,83	20,48	22,55	24,92	27,99
17	17,08	18,13	19,38	21,04	23,10	25,44	28,40
<b>Weiblich</b>							
10	13,61	14,48	15,53	16,94	18,72	20,80	23,54
11	13,95	14,88	15,99	17,50	19,40	21,61	24,51
12	14,45	15,43	16,60	18,19	20,18	22,48	25,47
13	15,04	16,07	17,30	18,94	20,98	23,33	26,33
14	15,65	16,71	17,97	19,64	21,71	24,05	27,01
15	16,18	17,26	18,53	20,22	22,28	24,59	27,45
16	16,60	17,69	18,96	20,64	22,67	24,91	27,65
17	16,95	18,04	19,31	20,96	22,95	25,11	27,72

Aufgrund dieser prozentualen Verteilungen kann für Erwachsene und Kinder nun eine Wahrscheinlichkeit bestimmt werden, in welche BMI-Kategorie ein neu generierter Agent fällt.

Die Zuweisung eines Gewichts für einen Agenten läuft auf Basis der oben angegebenen Tabellen folgendermaßen ab.

Zuerst muss sichergestellt sein, dass der Agent bereits ein Geschlecht, ein Alter, sowie eine Größe zugewiesen bekommen hat. Besitzt der Agent diese Eigenschaften, wird er entsprechend seines Alters einem Altersbereich zugeteilt (Erwachsener oder Kind). Innerhalb des Altersbereichs kann dem Agenten nun eine BMI-Klassifikation zugeteilt werden, unter Berücksichtigung der prozentualen Bevölkerungsanteile. Da eine Klassifikation immer einen Wertebereich besitzt, ist der BMI ein Zufallswert aus diesem Wertebereich. Anschließend können Größe und BMI in der nach Gewicht umgestellten BMI-Formel eingesetzt werden und so das Körpergewicht errechnet werden.

$$\text{Körpergewicht [kg]} = \text{BMI} * \text{Körpergröße}^2[\text{m}^2]$$

Die 90. Perzentile kennzeichnet dabei die Grenze zum Übergewicht.

#### **Beispiel 1 (Erwachsener):**

Ein Agent bekommt ein Alter von 27 Jahren zugewiesen, sowie eine Körpergröße von 1,75 m. Anhand der oben genannten Wahrscheinlichkeit für eine BMI-Kategorie, bekommt der neue Agent nun eine dieser Kategorien zugewiesen. Der

tatsächlich für den Agenten generierte BMI, ist ein zufälliger Wert aus dem Wertebereich der BMI-Kategorie. In diesem Beispiel soll der Agent der Kategorie *Übergewicht* angehören und einen BMI von 28,5 kg/m<sup>2</sup> erhalten. Sein Gewicht lässt sich nun also berechnen:

$$\text{Körpergewicht [kg]} = 28,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * (1,75\text{m})^2$$

$$\text{Körpergewicht [kg]} \approx 87,28 \text{ kg}$$

**Beispiel 2 (Kind):**

Der Agent bekommt ein Alter von 12 Jahren zugewiesen, sowie eine Körpergröße von 1,49 m. Der Beispiel-Agent soll der BMI-Klasse *Starkes Untergewicht* angehören, innerhalb dessen er einen BMI von 14 kg/m<sup>2</sup> zugewiesen bekommt.

$$\text{Körpergewicht [kg]} = 14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * (1,49\text{m})^2$$

$$\text{Körpergewicht [kg]} \approx 31,08 \text{ kg}$$

*Durchschnittliche Gehgeschwindigkeit*

Die durchschnittliche Gehgeschwindigkeit von Menschen ist hauptsächlich vom Alter und Geschlecht abhängig. Betrachtet man den Graphen zur Darstellung der Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Alter (*Abbildung 10*), stellt man fest, dass es sich hierbei um keine gleichmäßige Entwicklung der Gehgeschwindigkeiten im Laufe des Alters handelt. Daher lässt sich nur schwerlich eine Gleichung entwickeln, die das Alter als Argument entgegennimmt und eine Gehgeschwindigkeit liefert.

Aus diesem Grund werden unterschiedliche Altersbereiche erstellt, innerhalb derer die minimale und maximale Gehgeschwindigkeit ermittelt wird. Daraus ergibt sich also für jeden Altersbereich eine Geschwindigkeitspanne (*Tabelle 5*). Ein Agent würde bei der Generierung einen zufälligen Wert innerhalb dieser Spanne zugewiesen bekommen.

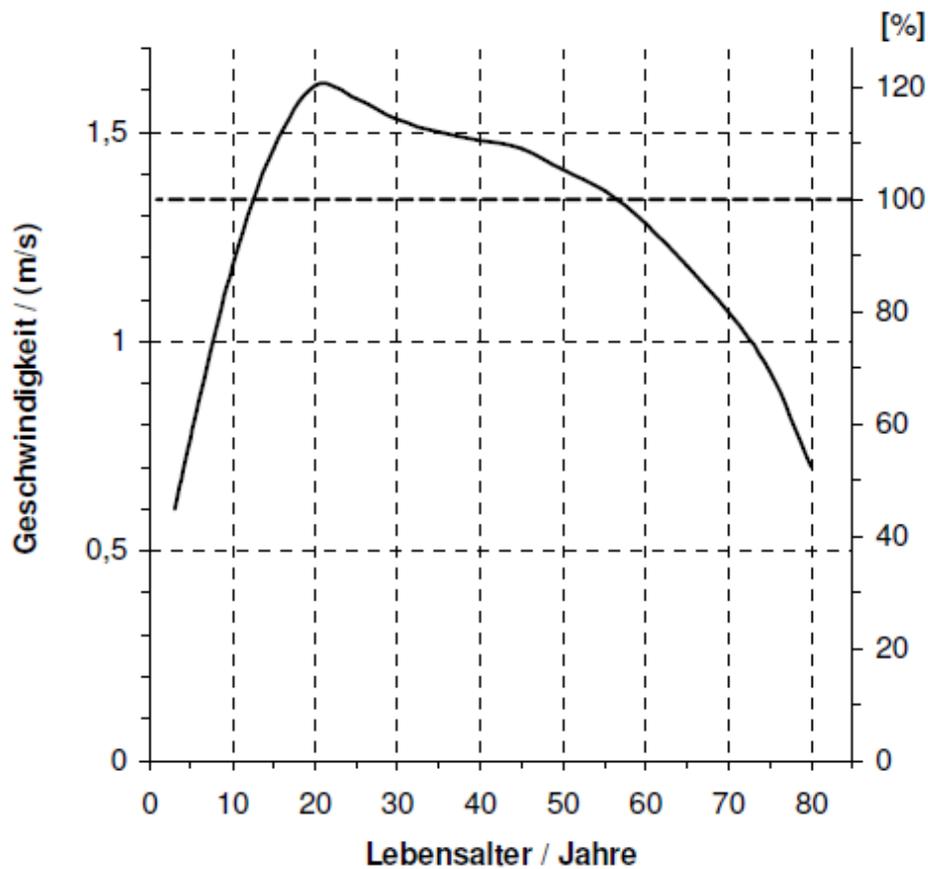


Abbildung 10: Gehgeschwindigkeit in der Ebene in Abhängigkeit vom Alter (TraffGo HT GmbH, 2012)

Tabelle 5: Gehgeschwindigkeiten innerhalb von Altersbereichen (TraffGo HT GmbH, 2012)

Altersbereich	Gehgeschwindigkeit in der Ebene (m/s)	
	Minimum	Maximum
10 bis 20 Jahre	1,18	1,61
21 bis 50 Jahre	1,41	1,61
Über 50 Jahre	0,68	1,41

Bisher wurde jedoch nur das Alter als Einflussfaktor auf die Gehgeschwindigkeit berücksichtigt. Wie bereits erwähnt, soll das Geschlecht jedoch ebenfalls eine Rolle spielen.

Laut RiMEA (TraffGo HT GmbH, 2012) haben Männer im Durchschnitt eine höhere Gehgeschwindigkeit als Frauen. Dies spiegelt sich auch in den Werten wider, die

innerhalb dieser Arbeit genutzt werden sollen. Die durchschnittliche Gehgeschwindigkeit ist bei Männern um 10,9% höher, als bei Frauen.

Die *Tabelle 5* soll die entsprechenden Werte für Männer enthalten, sodass für Frauen 10,9% der ermittelten Gehgeschwindigkeit abgezogen werden.

Für Treppen müssen jedoch andere Werte genutzt werden. Die RiMEA-Richtlinien geben auch dafür entsprechende Werte an, bei denen sogar zwischen *Treppe abwärts* und *Treppe aufwärts* unterschieden wird. Vereinfacht kann jedoch die halbe Gehgeschwindigkeit für beide Fälle genutzt werden.

Weitere Einflussfaktoren, die ebenfalls berücksichtigt werden müssen, sind:

- Verminderung der Geschwindigkeit durch Hindernisse (wie z.B. langsamere Agenten), s. *3.1.5 Fundamentaldiagramme* **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**
- Verminderter Gesundheitszustand (vor allem Behinderungen und Verlust von Gliedmaßen)

Selbstverständlich gibt es auch noch viele andere Abhängigkeiten auf die Gehgeschwindigkeit. Beispielsweise kann eine verminderte Sicht durch entstehenden Rauch die Gehgeschwindigkeit stark verringern, da der Betroffene seine Schritte vorsichtiger setzt.

Diese und andere Einflüsse sollen jedoch innerhalb dieser Arbeit nicht behandelt werden und geben so Spielraum für eine spätere Weiterentwicklung des Modells.

### *Maximale Laufgeschwindigkeit*

Da sich in der Literatur keine Angaben zu maximalen Laufgeschwindigkeiten eines Menschen in Abhängigkeit vom Alter finden lassen, soll hierfür vereinfacht die fünffache Gehgeschwindigkeit genutzt werden.

Dies ergibt z.B. bei einer durchschnittlichen Gehgeschwindigkeit von 1,61 m/s (ca. 5,8 km/h) eine maximale Laufgeschwindigkeit von 8,05 m/s (28,98 km/h). Da durch die Generierung unterschiedlicher Gehgeschwindigkeiten gleichaltriger Agenten auch unterschiedliche Laufgeschwindigkeiten resultieren, erhält man außerdem den Anschein einer Berücksichtigung der Fitness, weshalb sich dieses Vorgehen gut eignet.

Wurde letztendlich eine maximale Laufgeschwindigkeit ermittelt, muss weiterhin

das Gewicht des Agenten berücksichtigt werden. So können zwar zwei Agenten die gleiche Fitness besitzen, aufgrund ihres Gewichtes aber unterschiedlich gehemmt sein.

Dies wird realisiert, indem abhängig von der Überschreitung des Normalgewichtes (nach BMI) ein Malus von der ursprünglichen maximalen Laufgeschwindigkeit abgezogen wird. Der Abzug soll 0,2 km/h pro 1 kg Übergewicht betragen.

**Beispiel:**

Ein männlicher Agent bekommt eine Größe von 1,75 m und ein BMI von 33 kg/m<sup>2</sup> zugewiesen. Sein Gewicht liegt damit bei etwa 101,06 kg. Der Gewichtsbereich für das Normalgewicht beträgt bei dieser Größe 61,25 kg bis 76,56 kg. Damit hat der Agent ein Übergewicht von 24,5 kg. Da der Abzug von der maximalen Laufgeschwindigkeit 0,2 km/h pro Kilogramm (0,05 m/s) Übergewicht beträgt, ergibt sich für den Beispiel-Agenten ein Geschwindigkeitsmalus von

$$\frac{0,2 \frac{km}{h}}{kg} * 24,5 kg = 4,9 \frac{km}{h} = 1,36 \frac{m}{s}.$$

*Geschwindigkeitsverlauf*

Ein allgemeiner Geschwindigkeitsverlauf lässt sich kaum definieren, da dieser zumindest im sportlichen Bereich vom Trainingszustand und sogar von der Strecke abhängt. So ist die Durchschnittsgeschwindigkeit beim 200m-Lauf höher, als beim 100m-Lauf, da hier die zeitaufwändige Anfangsbeschleunigung in beiden Fällen nur einmal auftaucht. Im 1000m-Lauf hingegen ist die Durchschnittsgeschwindigkeit wiederum kleiner. Beim Sprint spielt außerdem die Muskelkraft und Muskelausdauer eine große Rolle, bei Langstrecken die allgemeine Ausdauer. Paniksituationen können sich zudem positiv auf die Leistung auswirken, da hier die Motivation, nämlich das Überleben, anders ist, als bei sportlichen Events. Allgemein kann man den Geschwindigkeitsverlauf in drei Phasen einteilen:

- Positive Beschleunigungsphase
- Phase der maximalen Geschwindigkeit
- Negative Beschleunigungsphase

Im Sportsektor gibt es zusätzlich noch die Startphase, die von der Reaktionsschnelligkeit bestimmt wird, hier allerdings vernachlässigt werden kann.

**Positive Beschleunigungsphase**

In der positiven Beschleunigungsphase nimmt die Laufgeschwindigkeit solange zu, bis die maximale Geschwindigkeit erreicht wird, was gleichzeitig das Ende dieser Phase kennzeichnet. Diese Phase gestaltet sich von Mensch zu Mensch unterschiedlich, je nach individueller Fitness und Körpergewicht. Im Allgemeinen benötigt ein Mensch etwa 3,5 bis 5 Sekunden, um seine maximale Geschwindigkeit zu erreichen. Demnach erhält ein Agent also einen Wert zwischen 3,5 und 5 Sekunden. Die Trägheit, die durch das eigene Körpergewicht bestimmt wird, kann hier vernachlässigt werden. Als allgemeine Formel der Beschleunigungsphase soll die Folgende gelten:

$$v(t) = \frac{\ln(t+1s)}{\ln(a)}$$

- t := Zeit in Sekunden [s]  
a := individuelle Beschleunigungskonstante  
v := Geschwindigkeit in Meter pro Sekunde [m/s]

Zur Ermittlung der Beschleunigungskonstante  $a$  kann in die oben angegebene Formel die maximale Laufgeschwindigkeit ( $v_{max}$ ) des Agenten, sowie seine benötigte Zeit bis zum Erreichen dieser Geschwindigkeit ( $t_{max}$ ) eingesetzt und nach  $a$  umgestellt werden.

$$a = \frac{v_{max}}{\sqrt{t_{max} + 1s}}$$

Die folgende Abbildung zeigt den Graphen der Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit.

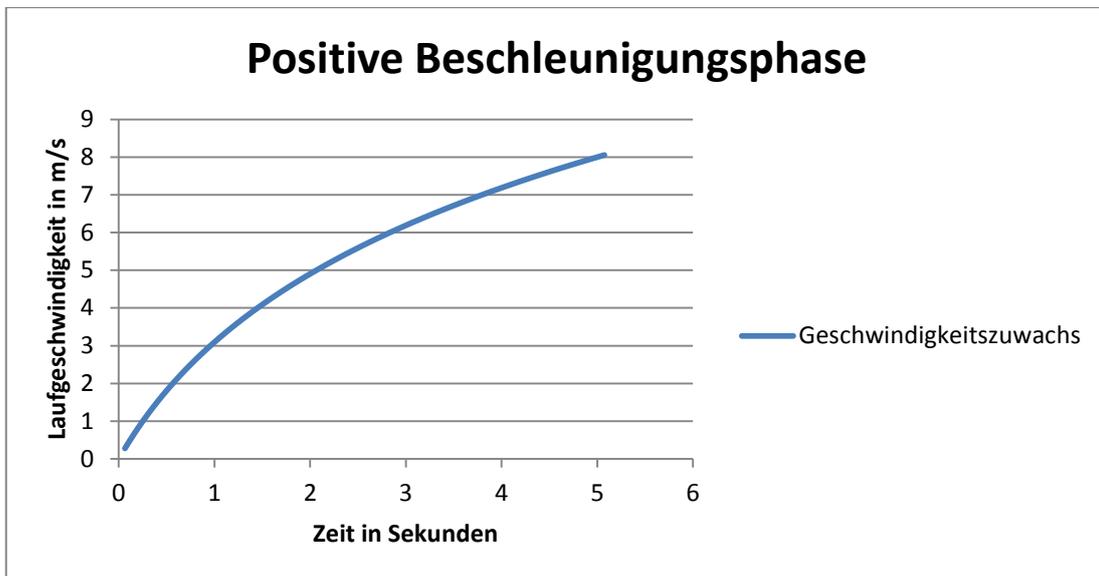


Abbildung 11: Beispielkurve einer positiven Beschleunigungsphase eines Menschen, der nach etwa 5 Sekunden seine Maximalgeschwindigkeit von etwa 8 m/s erreicht

### Phase der maximalen Geschwindigkeit

In der Phase der maximalen Geschwindigkeit bleibt die Geschwindigkeit konstant auf Höhe der maximalen Laufgeschwindigkeit. Die Dauer, für die diese Geschwindigkeit aufrechterhalten werden kann, variiert ebenfalls von Mensch zu Mensch im Bereich von 3 – 5 Sekunden.

$$v(t) = v_{max}$$

### Negative Beschleunigung

In dieser Phase nimmt die Geschwindigkeit allmählich ab. Aufgrund der vorangegangenen großen Anstrengung des Sprints, dauert diese Phase nur 1 – 5 Minuten. Danach ist die Erschöpfung des Agenten so groß, dass er sich vorerst erholen muss. Hat der Agent nur 50 % seiner maximalen Geschwindigkeit genutzt, kann die Phase der negativen Beschleunigung doppelt so lange dauern. Die genaue Dauer dieser Phase spiegelt sich in der Ausdauer des Agenten wider.

$$v(t) = v_{max} + 1s - a^t$$

Die individuelle Beschleunigungskonstante  $a$  lässt sich wieder durch Umstellen der Formel nach dieser errechnen. Einzusetzen sind hier die maximale Laufgeschwindigkeit ( $v_{max}$ ), die maximale Ausdauer in Sekunden ( $t$ ), sowie 0 m/s für  $v$ , da dies unseren Endwert markiert. Zusammenfassend will man also wissen, wo hoch die negative Beschleunigung sein muss, um nach  $t_{sta}$  Sekunden (Ausdauer in Sekunden) die Geschwindigkeit 0 m/s bei einer Startgeschwindigkeit von  $v_{max}$  zu erreichen.

$$a = \frac{v_{max}}{t_{sta}}$$

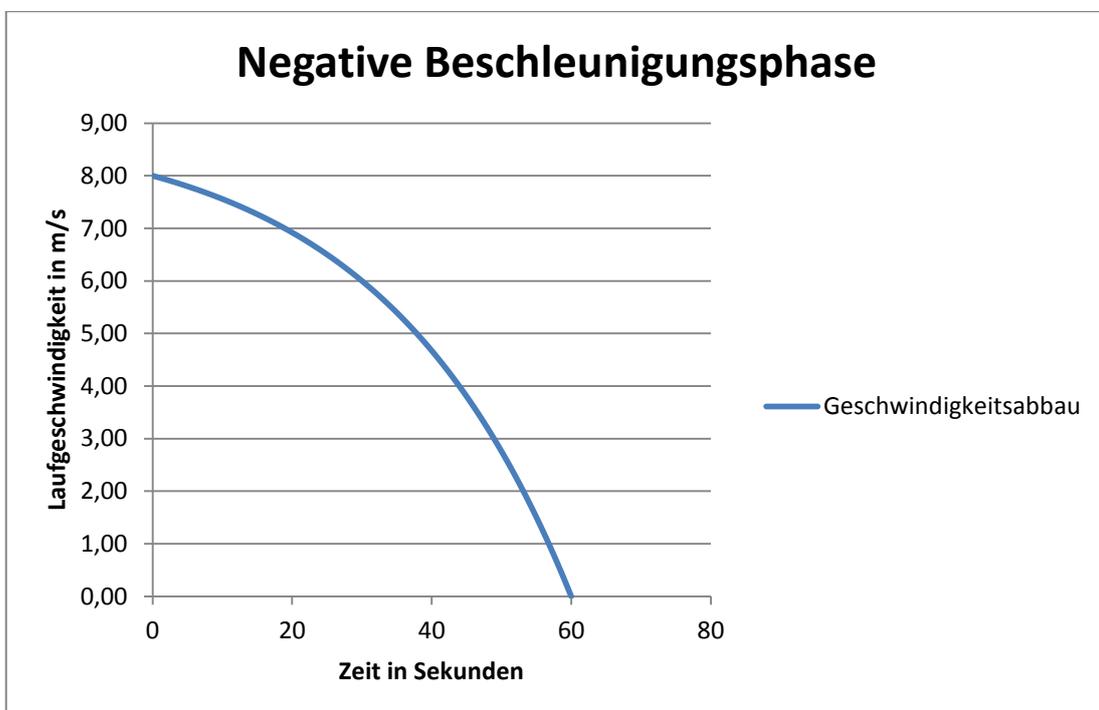


Abbildung 12: Beispielkurve einer negativen Beschleunigungsphase eines Menschen, der nach 60 Sekunden seine Restausdauer aufgebraucht hat.

### Kombinierter Geschwindigkeitsverlauf

Für den kombinierten Graphen des Geschwindigkeitsverlaufs soll folgender Beispiel-Agent gelten:

- Maximale Laufgeschwindigkeit = 8 m/s
- Maximale Ausdauer = 60 s

- Zeit bis zur maximalen Geschwindigkeit = 4 s
- Zeit für die die maximale Laufgeschwindigkeit aufrecht erhalten werden kann = 4,5 s

Der folgende Graph beschreibt den Geschwindigkeitsverlauf des beschriebenen Agenten.

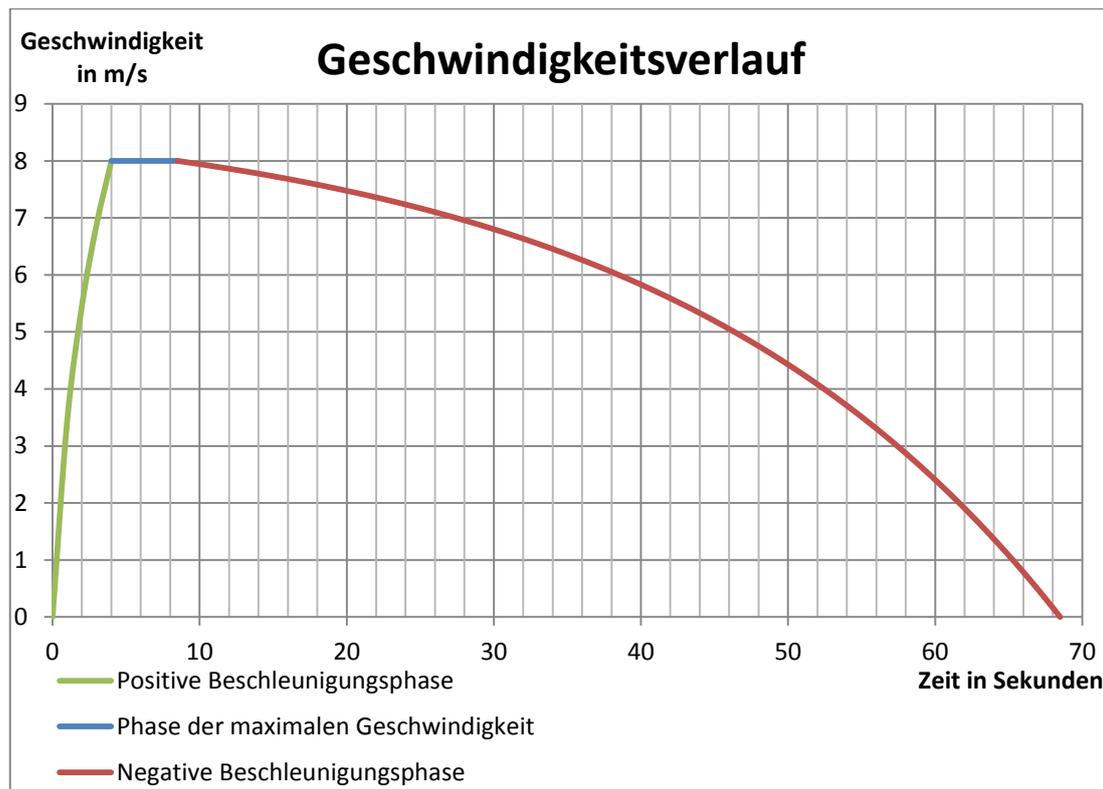


Abbildung 13: Kombiniertes Geschwindigkeitsverlauf eines Beispielagenten

Anhand des Graphen lässt sich sehr gut erkennen, dass die Phase der positiven Beschleunigung sowie der maximalen Geschwindigkeit relativ kurz sind im Vergleich zur anschließenden Phase der negativen Beschleunigung, in der die Geschwindigkeit, sowie die Restausdauer des Agenten stetig sinkt. Am Ende des Graphen hat der Agent seine gesamte Ausdauer aufgebraucht und muss sich vorerst ausruhen, um erneut mit hoher Geschwindigkeit laufen zu können.

*Toxische Wirkung von Brandgasen*

Eine häufige Todesursache in Zusammenhang mit Bränden sind Rauchvergiftungen. Rauch kann ab einem bestimmten Ausmaß narkotisierend bis hin zu erstickend wirken. Dies liegt vor allem an einer akuten Unterversorgung wichtiger Gehirnzellen mit Sauerstoff. Als am häufigsten auftretende Gase mit narkotisierender/erstickender Wirkung nennt die Literatur folgende:

- Kohlenmonoxide (CO)
- Cyanwasserstoff (HCN)
- Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

Zur Bestimmung der Dauer bis zum Eintreten von Handlungsunfähigkeit bei Einfluss dieser Gase kann die *Fractional Effective Dose (FED)* – Methode eingesetzt werden. Für diese Methode wird anhand der Konzentration der einzelnen Gase ein Wert berechnet, der bei Erreichen einer bestimmten Grenze die Handlungsunfähigkeit signalisiert.

Im Einzelnen bedeutet dies, dass ein Wert FED<sub>j</sub> für jedes Gas berechnet wird. FED<sub>j</sub> ist dabei der prozentuale Anteil der aufgenommenen Teildosis innerhalb eines bestimmten Intervalls zur Gesamtdosis bis zur Handlungsunfähigkeit eines Gases j. Dieser Wert FED<sub>j</sub> wird für eine Folge von Zeitintervallen aufsummiert. Erreicht er den Wert Eins, liegt eine Handlungsunfähigkeit vor. Die im Folgenden betrachteten Gase sind die bereits genannten Gase mit toxischer Wirkung CO, HCN und CO<sub>2</sub>. Außerdem soll der Sauerstoffmangel (O<sub>2</sub>) betrachtet werden.

$$FED_{CO} = \frac{3,317 * 10^{-5} * AMV * c_{CO}^{1,036} * \Delta t}{D}$$

$$FED_{HCN} = \frac{\Delta t}{e^{5,396 - 0,023 * c_{HCN}}}$$

$$FED_{CO_2} = \frac{\Delta t}{e^{6,1623 - 0,5189 * c_{CO_2}}}$$

$$FED_{O_2} = \frac{\Delta t}{e^{8,13 - 0,54 * (20,9 - c_{O_2})}}$$

Die Konzentrationen  $c_{CO}$  und  $c_{HCN}$  müssen in der Einheit ppm, die Konzentrationen  $c_{CO_2}$  und  $C_{O_2}$  in Volumenprozent angegeben werden. AMV ist das Atemminutenvolumen in l/min. D stellt die kritische Menge an Carboxyhämoglobin (COHb) im Blut dar und wird ebenfalls in Volumenprozent ausgedrückt. AMV und D sind abhängig von der körperlichen Beschaffenheit des Menschen (Alter, Geschlecht, Gewicht etc.), sowie seiner momentanen körperlichen Belastung. Vereinfacht sollen hier jedoch Werte angewandt werden, die nur abhängig vom momentanen Belastungszustand, sowie vom Geschlecht sind. Dabei sollen drei verschiedene Belastungsstadien gelten: *ruhend*, *leichte Arbeit* und *schwere Arbeit*. Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht über das Atemminutenvolumen bei Männern und Frauen in den unterschiedlichen Stadien.

**Tabelle 6: Atemminutenvolumen bei Männern und Frauen in unterschiedlichen Belastungsstadien (Kunsch & Kunsch, 2007)**

Belastungsstadium	Männer	Frauen
ruhend	7,4 l/min	4,6 l/min
leichte Arbeit	28,6 l/min	16,4 l/min
schwere Arbeit	43,0 l/min	22,7 l/min

Für den COHb-Anteil im Blut bis zur Bewusstlosigkeit gelten die Grenzen

- 40% in Ruhe,
- 30% bei leichter Arbeit,
- 20% bei schwerer Arbeit.

Erreicht der COHb-Anteil einen Wert von 50%, tritt der Tod des Betroffenen ein. Um die einzelnen  $FED_j$  der Gase in Zusammenhang zu bringen und einen zusammenfassenden FED zu bestimmen, muss weiterhin die sogenannte Hyperventilation berücksichtigt werden. Die Hyperventilation beschreibt eine erhöhte Atemfrequenz bei erhöhtem  $CO_2$ -Anteil in der Luft. Die verstärkte Atemfrequenz steigert wiederum die Aufnahme der toxischen Gase CO und HCN, weshalb in die endgültige Berechnungsformel der Verstärkungsfaktor  $V_{Hyp}$  für die  $FED_j$  dieser Gase einfließt.

$$V_{Hyp} = e^{0,2 * c_{CO_2}}$$

$$FED = \max((FED_{CO} + FED_{HCN}) * V_{Hyp} + FED_{O_2}, FED_{CO_2})$$

### *Thermische Wirkung von Brandgasen*

Auch die thermischen Eigenschaften von Brandgasen können sich erheblich auf die Konstitution eines Menschen auswirken. Die thermische Wirkung von Brandgasen wird in drei Kategorien eingeteilt, die in ihren Eigenschaften jeweils zur Handlungsunfähigkeit oder sogar zum Tod führen können (Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., 2005).

#### **Verbrennungen durch Heißgase (Konvektion)**

Verbrennungen durch Heißgase hängen im Wesentlichen von der Umgebungstemperatur und der Einwirkdauer ab. Die Temperaturen sind dabei jedoch nicht so hoch, dass sie zu einer direkten Verbrennung führen. Vielmehr steigern sie allmählich die Körpertemperatur des Betroffenen, wodurch eine Art künstliches Fieber erzeugt wird. Werte über 40 °C können dann zu Bewusstseinsbeeinträchtigungen und körperlichen Schäden führen. Eine Körpertemperatur von 42,5 °C kann sogar schon nach wenigen Minuten zum Tod führen. Bedrohliche Umgebungstemperaturen reichen je nach Luftfeuchtigkeit von 80 °C bis 120 °C bei trockener Luft.

#### **Strahlungswirkung auf den Menschen (Wärmestrahlung)**

Unter der Strahlungseinwirkung versteht man im eigentlichen Sinne den Wärmestrom, der die Hautoberfläche direkt erreicht. Einflussnehmende Faktoren sind hierbei die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Einwirkdauer und die Art der Bekleidung. Eine Folge einer solchen Wärmestrahlung ist durch Verbrennungen hervorgerufener Schmerz. Außerdem kann es durch Hautverbrennungen und damit einhergehendem starken Flüssigkeitsverlust zu einem Kreislaufversagen kommen, der schließlich in der Bewusstlosigkeit bzw. Tod enden kann.

#### **Direkte kurzzeitige Heißgaseinwirkung auf den Atemapparat (Inhalationshitzeschock)**

Bei Temperaturen oberhalb von 200 °C kann es zu einem plötzlichen Inhalationshitzeschock kommen, der den Atemtrakt des Betroffenen verbrennt. Hier spielt die Luftfeuchtigkeit die größte Rolle.

Die Belastungsgrenze einer Person richtet sich im Wesentlichen nach der Art und Stärke der Wärmestrahlung. Die folgende Tabelle aus (Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., 2005) soll einen Überblick über die unterschiedlichen Belastungsgrenzen geben:

Tabelle 7: Grenzen der Erträglichkeit von Wärmestrahlung (Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., 2005)

Einwirkung	Intensität Temperatur	bzw.	Erträgliche Einwirkzeit
Wärmestrahlung	10 kW/m <sup>2</sup>		Schmerz nach 4s
(Einwirkung auf die Haut)	4 kW/m <sup>2</sup>		Schmerz nach 10 - 20s
	2,5 kW/m <sup>2</sup>		Schmerz nach 30s
Konvektion	< 40 °C (bei H <sub>2</sub> O-Sättigung)		> 30 min
(Atemwege, Haut)	160 °C (10 % H <sub>2</sub> O)		2 min
	120 °C (10 % H <sub>2</sub> O)		7 min
	100 °C (10 % H <sub>2</sub> O)		12 min

Die Literatur gibt weiterhin verschiedene Berechnungsformeln für die Zeit  $\tau$  an, nach der in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur die Handlungsunfähigkeit eintritt.

Zeit bis zur Handlungsunfähigkeit durch Hitzeschock:

$$\tau_{shock}[min] = \frac{4,1 * 10^8}{T[°C]^{3,61}}$$

Zeit bis zur Handlungsunfähigkeit durch konvektive Wärmeübertragung bei mittlerer Luftfeuchtigkeit:

$$\tau_{conv}[min] = \frac{5 * 10^7}{T[°C]^{3,4}}$$

Zeit bis zur Handlungsunfähigkeit durch Wärmestrahlung mit  $q$  als Bestrahlungsstärke:

- für  $q \leq 2,5 \text{ kW/m}^2$ :  $\tau_{rad}[min] = 1,33 * q^{-1,33}$
- für  $q > 2,5 \text{ kW/m}^2$ :  $\tau_{rad}[min] = 4 * q^{-1,35}$

Um die kombinierte Wirkung von Wärmestrahlung und konvektiver Wärmeübertragung zu berechnen, kann wieder die FED-Methode angewandt werden:

$$FED_{thermisch} = \sum \frac{\Delta t}{\tau_{conv}} + \frac{\Delta t}{\tau_{rad}}$$

Hier gilt ebenfalls wieder, dass bei  $FED_{thermisch} = 1$  die Handlungsunfähigkeit einsetzt.

### *Zusammenwirken der Eigenschaften*

Nachdem die einzelnen Eigenschaften vorgestellt und deren Berechnung spezifiziert wurden, lässt sich der Zusammenhang zwischen diesen genauer erläutern.

Das Alter und Geschlecht sind Schlüsseleigenschaften, die viele andere Eigenschaften beeinflussen. So wirken Sie sich auf die Größe und das Gewicht sowie die Gehgeschwindigkeit eines Agenten aus.

Ein weiterer Faktor, der das Gewicht bestimmt, ist die Größe des Agenten.

Die Gehgeschwindigkeit bestimmt die maximale Laufgeschwindigkeit. Diese wird jedoch durch das Gewicht reduziert, wenn dieses über das Normalgewicht des Agenten hinausgeht.

Weiterhin werden die Bewegungsgeschwindigkeiten vom Vorhandensein notwendiger Extremitäten beeinflusst, nämlich den Beinen. Verliert der Agent ein Bein, ist das schnelle Laufen für ihn unmöglich. Außerdem halbiert sich seine Gehgeschwindigkeit. Hat der Agent beide Beine verloren, reduzieren sich die Geschwindigkeiten auf 0 Meter pro Sekunde. Der Agent ist also bewegungsunfähig.

Die aktuelle Geschwindigkeit des Agenten wird von vielen Faktoren beeinflusst. Die maximale Geschwindigkeit definiert den Maximalwert der aktuellen Geschwindigkeit, während die Gehgeschwindigkeit die Geschwindigkeit beim normalen Gehen definiert. Außerdem ist eine Geschwindigkeit größer als die Gehgeschwindigkeit nur dann verfügbar, wenn die aktuelle Ausdauer, die Restausdauer also, größer ist als 0. Beträgt sie 0, kann der Agent nur gehen. Allerdings regeneriert sich die Ausdauer auch wieder nach einer gewissen Zeit in Ruhe, er sich also entweder nicht bewegt oder nur geht, bis zu einem festgelegten Maximalwert. Weiterhin definieren die Zeit bis zur maximalen Geschwindigkeit und die Dauer der maximalen Geschwindigkeit sowie die aktuelle Ausdauer die Phasen des Geschwindigkeitsverlaufs.

Der Gesundheitszustand des Agenten ist unter anderem von den physischen Handicaps abhängig. Verliert ein Agent eine Extremität, verringert sich auch dessen

Gesundheitszustand drastisch. Innerhalb dieser Arbeit soll eine Verringerung des Gesundheitszustandes von 20% pro verlorene Extremität angenommen werden. Natürlich kann sich der Gesundheitszustand auch durch äußere Einflüsse, wie Explosionen, ändern.

Die Größe eines Agenten soll, wie bereits erwähnt, vorerst keine Rolle für die Physis des Agenten spielen. Dennoch soll sie als Vorbereitung auf eine spätere Modellierung der Psyche eines Agenten zunächst ebenfalls modelliert werden.

In Kapitel 3.2.2 *Statistische Werte* wurde die Generierung der einzelnen Eigenschaften unter Berücksichtigung der Abhängigkeiten ausführlich erläutert.

Die Abbildung 14 soll das Zusammenwirken verdeutlichen.

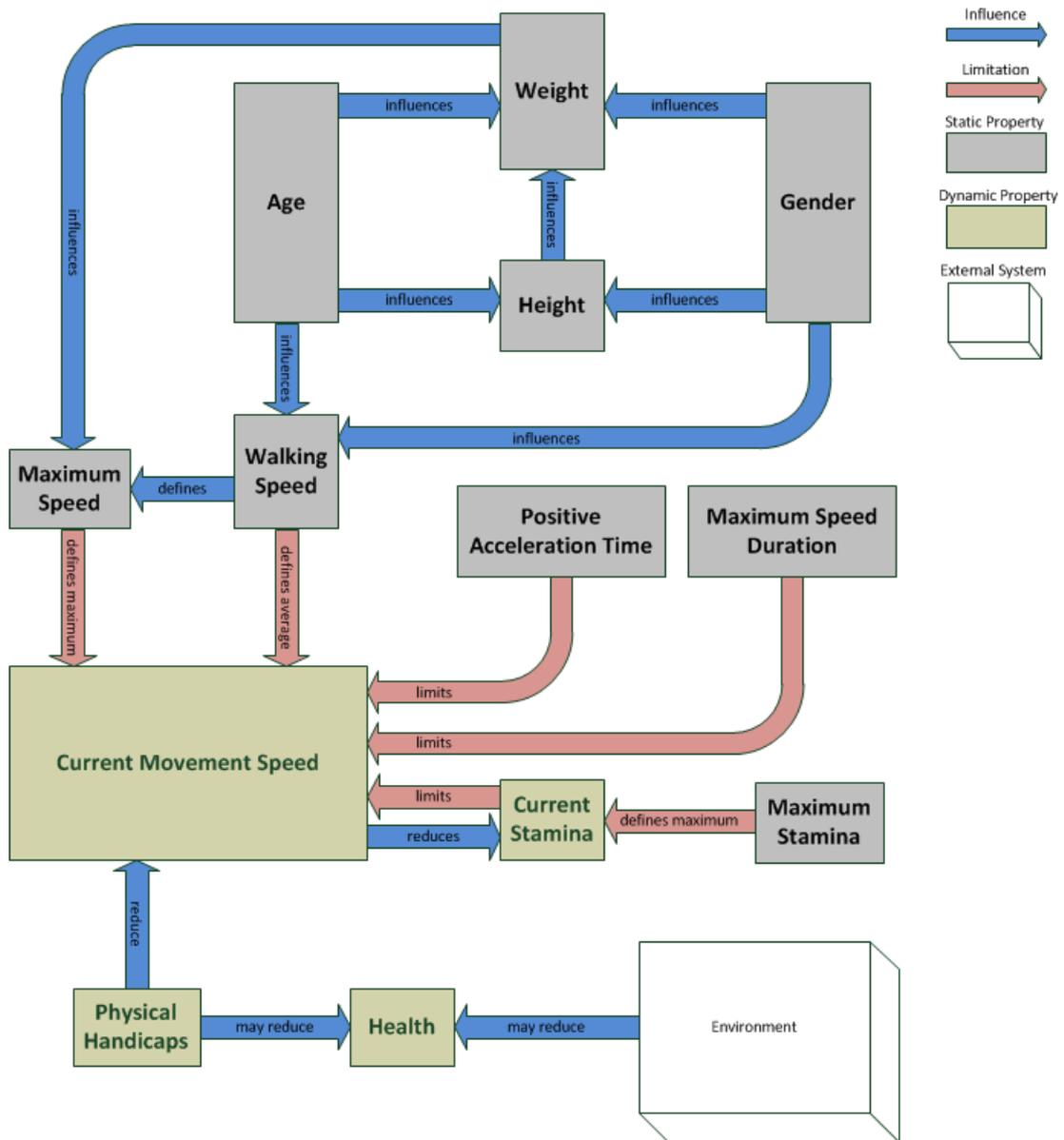


Abbildung 14: Zusammenwirken der Eigenschaften

### 3.2.3 Physische Zustände

Ein Agent kann im Laufe der Simulation unterschiedliche physische Zustände annehmen. Diese Zustände sollen im Folgenden vorgestellt werden. Weiterhin sollen auch Übergänge zwischen diesen definiert werden.

Prinzipiell kann sich ein Agent nur in einem von zwei möglichen Zuständen befinden: *Death* und *Alive*.

#### *Death*

Ist ein Agent im Zustand *Death*, kann dieser keine weiteren Aktionen ausführen. Er wird allerdings nicht aus der Simulation entfernt, da er weiterhin, als lebloses Objekt der Umwelt, ein Hindernis darstellen kann und somit wichtig für den weiteren Simulationsverlauf ist. Außerdem kann ein lebloser Agent maßgeblich den psychischen Zustand eines anderen Agenten verändern, der zwar innerhalb dieser Arbeit nicht berücksichtigt wird, jedoch der Vollständigkeit halber mit aufgeführt werden soll.

#### *Alive*

Der Zustand *Alive* markiert einen Agenten als potentiell fähig, Aktionen durchzuführen. Dies ist jedoch nur die halbe Wahrheit, da auch ein bewusstloser Agent lebendig, jedoch keineswegs in der Lage ist, Aktionen durchzuführen. Aus diesem Grunde muss der Zustand *Alive* weiter unterteilt werden: in *Conscious* und *Unconscious*.

#### **Conscious**

Dieser Zustand gilt für alle Agenten, die einen Gesundheitszustand von 30% und mehr haben. In diesem Zustand sind Agenten fähig, alle aktuell möglichen Aktionen auszuführen. Das Aktionsspektrum und die Ausführungsqualität sind abhängig von den aktuellen physischen Eigenschaften des Agenten.

#### **Unconscious**

Als bewusstlos gilt ein Agent, wenn er die oben genannte 30%-Marke des Gesundheitszustandes unterschreitet. Der Agent gilt dann zwar noch als lebendig, kann jedoch keine weiteren Aktionen durchführen. Der Zustand kann allerdings auch von Veränderungen des psychischen Zustandes, unabhängig von der Physis des Agenten, erreicht werden.

### Zustandsübergänge

Zu Beginn der Simulation befindet sich ein Agent immer im Zustand *Alive – Conscious*. Von dort aus gibt es zwei Möglichkeiten der Zustandsänderung.

1. Der Gesundheitszustand des Agenten verändert sich auf einen Wert zwischen 0% und 30%:  
Der Agent geht in den Zustand *Alive – Unconscious* über.
2. Der Gesundheitszustand des Agenten springt abrupt auf 0%:  
Der Agent geht in den Zustand *Death* über. Dies ist z.B. bei Agenten der Fall, die sich unmittelbar neben einer Explosion befinden oder von schweren herabfallenden Teilen erschlagen werden.

Befindet sich der Agent einmal im Zustand *Death*, ist die Simulation für ihn beendet, d.h. er kann keine weiteren Aktionen ausführen und gilt im Rahmen der Simulationsauswertung als Todesopfer.

Die Abbildung 15 soll die Übergänge zwischen den einzelnen Zuständen verdeutlichen.

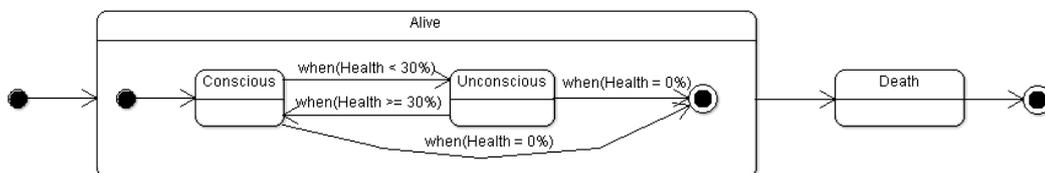


Abbildung 15: Zustandsübergänge

### 3.3 Aktionen eines Agenten in WALK

Eine Aktion ist eine sichtbare Handlung des Agenten, die einen direkten oder indirekten Einfluss auf die Umwelt oder andere Agenten bzw. Objekte hat. Dieser Abschnitt soll die Anforderungen an das Aktionspotential eines Agenten in WALK definieren. Dafür werden mögliche Aktionen erarbeitet und beschrieben.

#### 3.3.1 Das Aktionsspektrum

Im Folgenden sollen alle Aktionen aufgeführt und erläutert werden, die für eine annähernd realistische Simulation von Fußgängern in Paniksituationen innerhalb von WALK notwendig sind. Außerdem werden ihre Auswirkung auf die Umwelt, also auf Objekte oder andere Agenten, genannt und die Voraussetzungen für ein erfolgreiches Durchführen der Aktion beschrieben. Dazu sollen zunächst Begrifflichkeiten kurz erläutert werden, die im Folgenden benutzt werden:

**Auslöser** – der Agent, der die Aktion ausführt

**Ziel** – das Ziel der Aktion; ein Objekt aus der Umwelt oder ein anderer Agent

#### *MOVE*

<b>Beschreibung</b>	Dies ist die Basisaktion eines jeden Agenten und dient der allgemeinen Fortbewegung. Diese Aktion kann hinsichtlich der Laufgeschwindigkeit parametrisiert werden, sodass diese Aktion auch das langsame Gehen und schnelle Rennen mit einschließt. Sollte die maximale Laufgeschwindigkeit in Anspruch genommen werden, senkt diese den aktuellen Wert für die Ausdauer und kann daher nur begrenzt durchgeführt werden.
<b>Auswirkungen auf die Umwelt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine</li> </ul>
<b>Voraussetzungen zum Ausführen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslöser ist nicht bewusstlos oder tot</li> <li>• Physische Eigenschaften des Auslösers schließen das Laufen nicht aus (z.B. Verlust/Lähmung der Beine, Erschöpfungsgrad zu hoch)</li> <li>• Zwischen jetzigem Standpunkt des Auslösers und des Standpunktes des Zieles befinden sich keine Hindernisse</li> </ul>

*JUMP*

<b>Beschreibung</b>	Diese Aktion ermöglicht das Springen über Hindernisse
<b>Auswirkungen auf die Umwelt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine</li> </ul>
<b>Voraussetzungen zum Ausführen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslöser ist nicht bewusstlos oder tot</li> <li>• Die Höhe des Ziels ist geringer als die maximal mögliche Sprunghöhe des Auslösers (ergibt sich aus dem aktuellen physischen Zustand, sowie die allgemeinen physischen Eigenschaften des Auslöser, z.B. Größe, Kraftpotential)</li> </ul>

*FOLLOW*

<b>Beschreibung</b>	Diese Aktion ermöglicht das Folgen eines anderen Agenten.
<b>Auswirkungen auf die Umwelt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine</li> </ul>
<b>Voraussetzungen zum Ausführen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslöser ist nicht bewusstlos oder tot</li> <li>• Auslöser erfüllt die Bedingungen für die Aktion MOVE</li> <li>• Auslöser kann mit der Laufgeschwindigkeit des Zieltes mithalten und gegebenenfalls Hindernisse überwinden</li> </ul>

*OPEN*

<b>Beschreibung</b>	Diese Aktion ermöglicht das Öffnen von Türen, Toren oder Fenstern.
<b>Auswirkungen auf die Umwelt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ziel hat anschließend den Zustand „Opened“</li> </ul>
<b>Voraussetzungen zum Ausführen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslöser ist nicht bewusstlos oder tot</li> <li>• Das Ziel ist nicht im Zustand „Locked“ (s. UNLOCK)</li> </ul>

*UNLOCK*

<b>Beschreibung</b>	Diese Aktion ermöglicht das Aufschließen von verschlossenen Türen, Toren oder Fenstern und ist eine Vorbedingung für das Öffnen, falls das Objekt verschlossen ist.
<b>Auswirkungen auf die Umwelt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ziel hat anschließend den Zustand „Unlocked“</li> </ul>
<b>Voraussetzungen zum Ausführen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslöser ist nicht bewusstlos oder tot</li> <li>• Das Ziel hat den Zustand „Locked“</li> <li>• Der Auslöser ist in der Lage das Ziel in den Zustand</li> </ul>

	„Unlocked“ zu versetzen (z.B. Besitz des Schlüssels oder genügend Kraft zum Aufbrechen)
--	-----------------------------------------------------------------------------------------

*PUSH*

<b>Beschreibung</b>	Mit Hilfe dieser Aktion können Objekte oder andere Agenten verschoben werden. Sie ist notwendig um nicht tragbare aber schiebbare Hindernisse zu beseitigen, sowie andere Agenten zu schubsen.
<b>Auswirkungen auf die Umwelt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falls erfolgreich, ändert sich die Position des Zieles</li> <li>• Je nach Druckpotential wird das Ziel beschädigt bzw. verletzt</li> </ul>
<b>Voraussetzungen zum Ausführen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslöser ist nicht bewusstlos oder tot</li> <li>• Ziel ist nicht zu schwer bzw. Gegenmaßnahmen des Zieles sind erfolglos</li> </ul>

*CARRY*

<b>Beschreibung</b>	Diese Aktion ermöglicht das Tragen von Objekten oder Agenten.
<b>Auswirkungen auf die Umwelt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Ziel hat fortan die gleiche Position wie der Auslöser</li> </ul>
<b>Voraussetzungen zum Ausführen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslöser ist nicht bewusstlos oder tot</li> <li>• Auslöser erfüllt die Bedingungen für die Aktion MOVE</li> <li>• Physische Eigenschaften des Auslösers genügen, um das Ziel zu tragen (z.B. Kraftpotential)</li> </ul>

*DEPOSIT*

<b>Beschreibung</b>	Diese Aktion ermöglicht das Ablegen von Objekten oder Agenten.
<b>Auswirkungen auf die Umwelt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Auslöser und das Ziel teilen nicht mehr die gleiche Position</li> </ul>
<b>Voraussetzungen zum Ausführen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslöser trägt etwas</li> <li>• Ablegeort ist nicht blockiert (z.B. durch eine Wand oder ein anderes Objekt)</li> </ul>

## 4 Realisierung des Modells

Im Folgenden soll die Architektur des Physis-Modells beschrieben werden. Beim Leser werden dafür Kenntnisse in der Interpretation von UML-Klassendiagrammen vorausgesetzt.

Außerdem soll ein Vergleich zwischen den Ergebnissen der theoretischen Statistiken und den Ergebnissen der Implementation gezogen werden.

### 4.1 Architektur

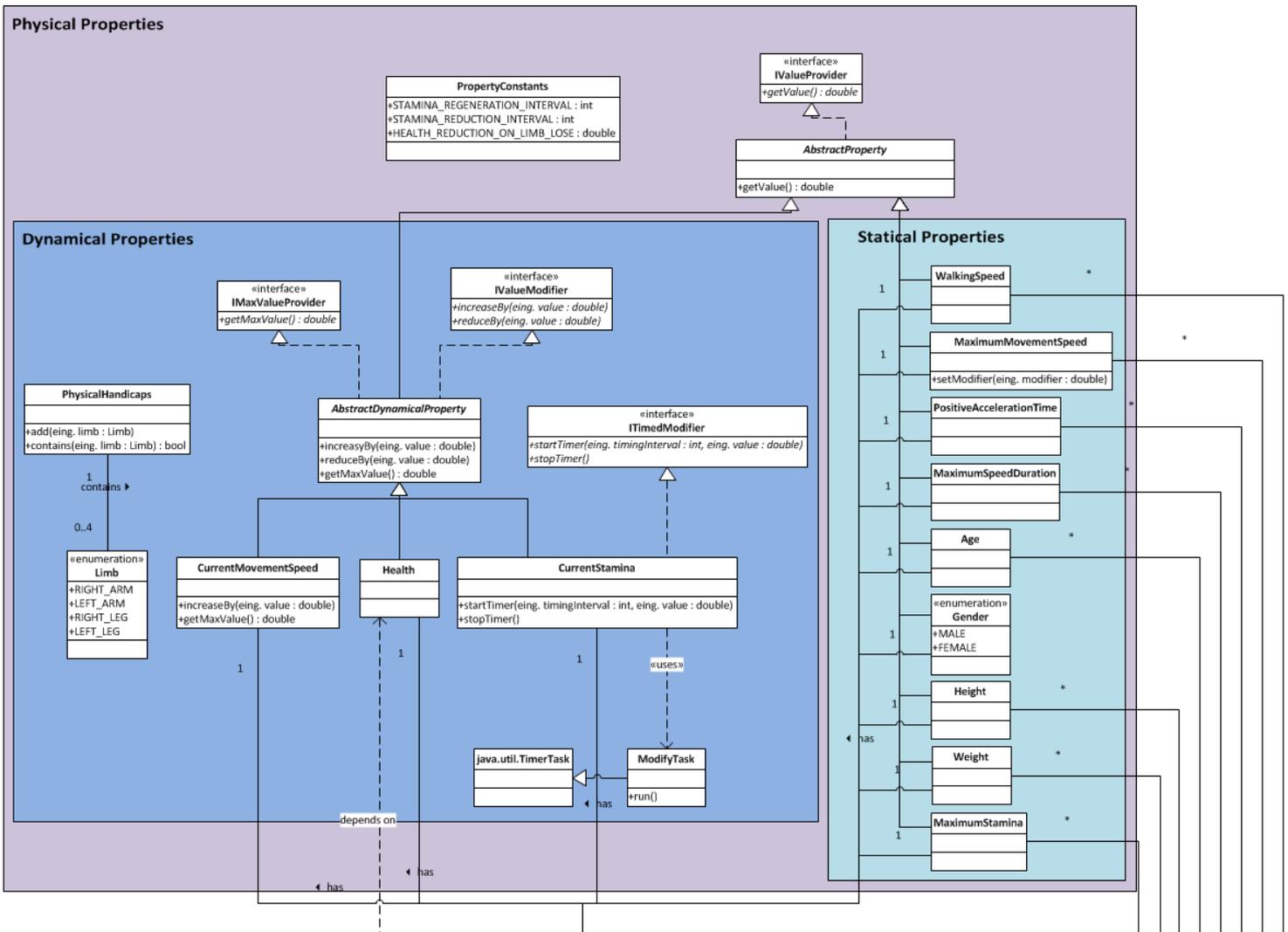
Die Architektur der Physis teilt sich zunächst in vier Bereiche auf:

- die physischen Eigenschaften in Form von Modellen
- der Zustand der Physiologie
- die Statistiken, welche die Daten enthalten, um aus Ihnen Physiologien zu generieren
- die Generatoren, welche aus den Statistiken die Modelle generieren und aus ihnen wiederum eine komplette Physiologie erstellen

Die Physiologie-Komponente soll außerdem so aufgebaut sein, dass sie keinerlei Abhängigkeiten nach außen hat und somit auch in anderen Simulations-Tools eingesetzt werden kann. Dafür ist es wichtig, eine Schnittstelle anzubieten, die dem Benutzer erlaubt, beliebig viele Physiologien zu generieren. Die Generatoren kümmern sich dann aus der gegebenen Anzahl unabhängig um die Generierung der Physiologien aus den ihnen gegebenen Statistiken. Somit ist als fünfter Bereich die Physiologie als solche und ihre Schnittstelle notwendig.

Auf Grundlage dieser Überlegungen lässt sich das folgende Klassendiagramm erstellen.

# AgentPhysiology



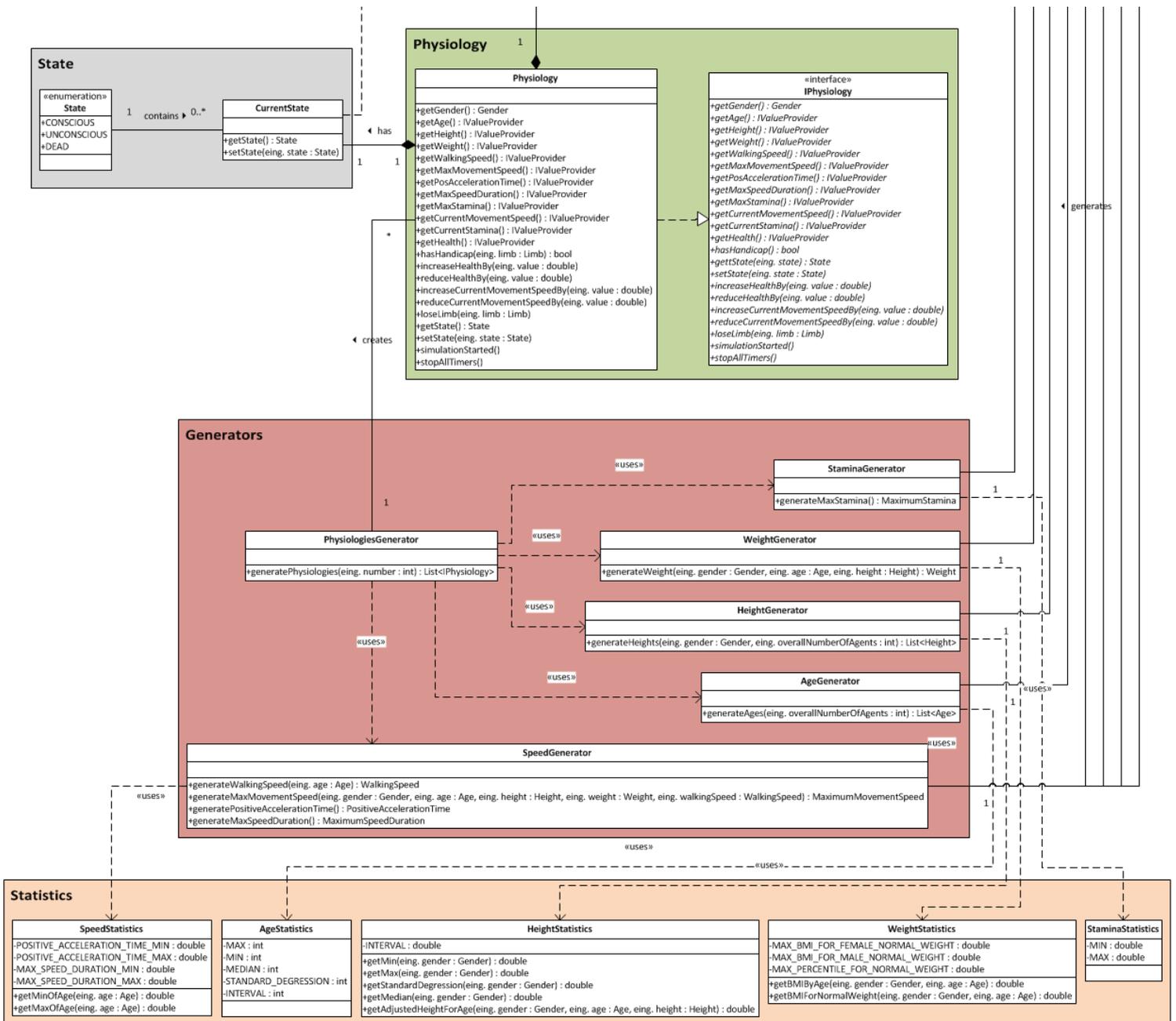


Abbildung 16: AgentPhysiology Klassendiagramm

In dem Diagramm wurden die fünf genannten Bereiche zu Containern zusammengefasst und farblich gekennzeichnet.

### *Physical Properties*

In diesem Container befinden sich alle Modelle, welche eine physische Eigenschaft repräsentieren. Diese wurden wiederum aufgeteilt in *Dynamical Properties* und *Statical Properties*.

Die *Dynamical Properties* beinhalten alle Eigenschaften, die sich dynamisch verhalten, also zur Laufzeit geändert werden können. Die Änderung findet im Allgemeinen von außen statt (z.B. Reduktion der Gesundheit durch Feuer etc.). Die *CurrentStamina* hingegen verändert sich jedoch selbst. Dies geschieht im Rahmen der Laufgeschwindigkeit in Form von Erschöpfung und Erholung. Ist die aktuelle Bewegungsgeschwindigkeit kleiner gleich der Gehgeschwindigkeit, regeneriert sich die Ausdauer, andernfalls sinkt sie.

Die *Statical Properties* hingegen beinhalten alle Eigenschaften die statisch sind, also zum Zeitpunkt der Generierung erzeugt werden und dann fix sind. Diese fungieren prinzipiell nur als Markerklassen, da sie keinerlei Implementation beinhalten (abgesehen von der toString()-Methode). Dabei gibt es jedoch zwei Ausnahmen: *Gender* und *MaximumMovementSpeed*. *Gender* ist hier eine Enumeration, welche eine von zwei Werten annehmen kann: MALE und FEMALE. Die Eigenschaft *MaximumMovementSpeed* besitzt zusätzlich einen Modifier, der den eigentlichen Wert für die maximale Bewegungsgeschwindigkeit anpassen kann. Zu Beginn ist dieser Modifier 1, was bedeutet, dass die ursprüngliche maximale Bewegungsgeschwindigkeit gleich der aktuellen maximalen Bewegungsgeschwindigkeit ist. Der Modifier ist dafür gedacht, die maximale Bewegungsgeschwindigkeit anzupassen, falls der Agent ein Bein (oder beide) verliert und sich dadurch nur eingeschränkt oder gar nicht fortbewegen kann.

### *State*

Im Container State befindet sich lediglich der aktuelle Zustand des Agenten. Dieser kann einen von drei Werten annehmen: CONSCIOUS, UNCONSCIOUS, DEAD (s. 3.2.3 Physische Zustände).

### *Generators*

Die Generatoren kümmern sich um die Generierung der einzelnen Eigenschaften. Dazu nutzen sie die Statistiken, welche die Generatoren mit Daten versorgen über Wertebereiche, Intervalle, Mittelwerte, Standardabweichungen etc.

Startpunkt der Generierung einer oder mehrerer Physiologien ist der PhysiologiesGenerator. Dieser ruft wiederum die anderen Generatoren auf, um letztendlich aus den Einzelergebnissen der Generatoren eine komplette Physiologie zu konstruieren. Außerdem stellt der PhysiologiesGenerator einige Utility-Methoden zur Verfügung, die von den anderen Generatoren genutzt werden wie z.B. die Berechnung einer Normalverteilung.

### *Statistics*

Die Statistiken liefern die Daten, die zur Generierung der Eigenschaften einer Physiologie benötigt werden. Dies geschieht in Form von Konstanten oder Methoden, die beispielsweise geschlechts- oder altersspezifische Daten liefern. Dabei wird vor allem Wert auf die Austauschbarkeit der Daten gelegt, da diese u.U. (z.B. für verschiedenen Szenarien) angepasst werden müssen.

Zum Anpassen der Daten müssen lediglich Konstanten angepasst werden. Komplexere Daten wie Tabellen (z.B. Perzentile bei Jungen und Mädchen) wurden in CSV-Dateien ausgelagert, die zum Zeitpunkt der Generierung ausgelesen werden und bei Bedarf ausgetauscht werden können, unter Einhaltung des Formats.

### *Physiology*

Dieser Container beinhaltet die eigentliche Physiologie, welche aus den oben genannten Eigenschaften besteht. Sie bietet eine Schnittstelle, um die Werte der einzelnen Eigenschaften abzufragen, sowie die dynamischen Eigenschaften zu modifizieren.

Außerdem bietet sie Methoden zum Starten und Stoppen der internen Timer, beispielsweise der Regeneration und Degeneration der Ausdauer abhängig von der Fortbewegungsgeschwindigkeit. Dies ist nötig, um zu verhindern, dass die Timer sofort bei Erstellung der Eigenschaften starten, ohne, dass die Simulation bereits gestartet hat.

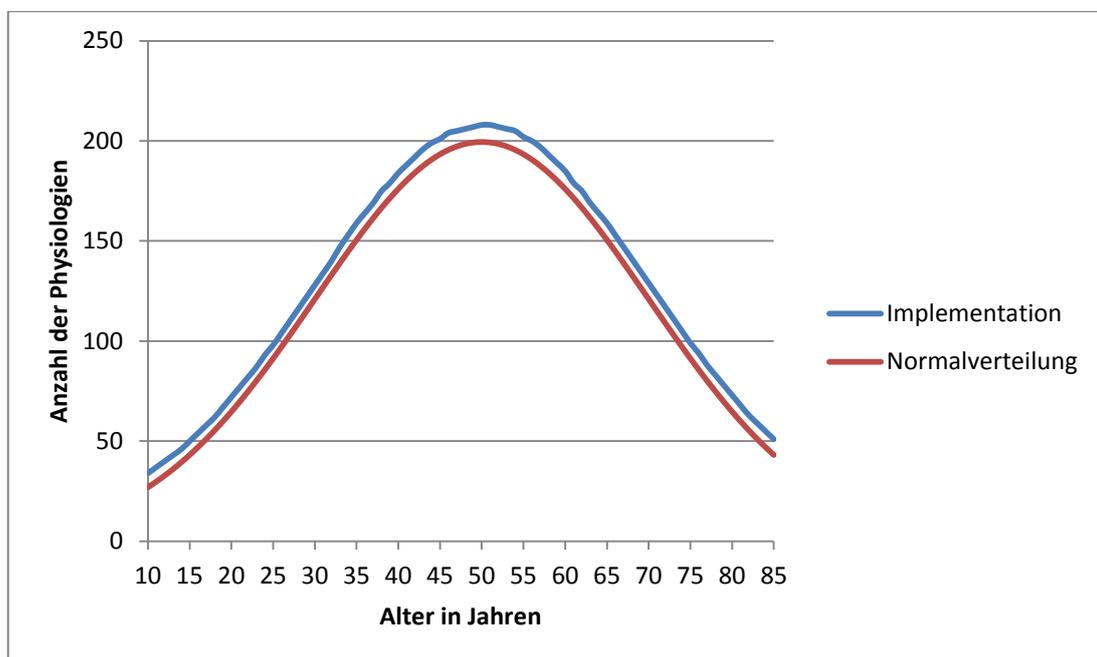
## 4.2 Berücksichtigung der Statistiken

In diesem Abschnitt soll ein Vergleich zwischen den theoretischen Ergebnissen der Statistiken aus 3.2.2 und den Ergebnissen der Implementation angestellt werden. Wie schon bereits erwähnt, lassen sich die Formeln nicht immer zuverlässig nutzen, da durch die Einschränkung von Wertebereichen und Rundungen, Werte verfälscht werden können oder Ergebnisse unvollständig sind.

### *Normalverteilung*

Bei der Altersverteilung wird eine Normalverteilung genutzt.

Angenommen man will sich mit der Formel der Normalverteilung eine Verteilung des Alters über 10000 Physiologien berechnen. Summiert man dann die Ergebnisse der Jahre 10 bis 85, erhält man lediglich eine Gesamtanzahl von gerundet 9406. Somit fehlen ganze 594 Physiologien, die auf Grund der Begrenzung des Wertebereichs sowie Rundungen passieren. Aus diesem Grunde wurde die fehlende Anzahl, um den Mittelwert gleichmäßig verteilt, was eine vertikale Verschiebung in Richtung der positiven y-Achse zur Folge hat. Das folgende Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen den theoretischen Ergebnissen der Normalverteilung und der Implementation.



Dieses Phänomen tritt bei allen Statistikberechnungen auf, die eine Normalverteilung nutzen, da ihr Wertebereich zumeist eingeschränkt ist und fehlende Werte um den Mittelwert gleichmäßig verteilt werden.

### Perzentile

Zum Vergleich der Statistiken, welche Perzentile nutzen mit der Implementation, soll als Beispiel ein Ausschnitt aus der *Tabelle 4: Perzentile für den BMI von Jungen und Mädchen im Alter von 10 – 18 Jahren* herangezogen werden:

Alter	Perzentile						
	P3	P10	P25	P50	P75	P90	P97
<b>Männlich</b>							
17	17,08	18,13	19,38	21,04	23,10	25,44	28,40

Wie betrachten uns in diesem Beispiel alle Jungen mit einem Alter von 17 Jahren. Bei einer Gesamtanzahl von 10000 Physiologien würde die Implementation 58 Physiologien mit einem Alter von 17 Jahren generieren. Da bei der internen Berechnung Zufallswerte genutzt werden, um die Perzentile zu bestimmen, sollen 100 Generationen mit jeweils 10000 Physiologien durchgeführt werden. Dies entspricht einer Gesamtanzahl von 5800 Physiologien mit einem Alter von 17 Jahren. Zur besseren Verifikation der Ergebnisse der Implementation, sollen 3 Durchgänge durchgeführt werden.

Nach der theoretischen Berechnung der Anzahlen müssten in etwa folgende Ergebnisse herauskommen

Perzentile	Anzahl Physiologien
P3	174
P10	406
P25	870
P50	1450
P75	1450
P90	870
P97	406
P100	174

Abbildung 17: Theoretische Perzentil-Verteilung

Die Implementation liefert auf Grund der Zufallsberechnungen folgende Ergebnisse:

### 1. Durchlauf

Perzentile	Anzahl generierter Physiologien	Soll
P3	228	174
P10	423	406
P25	858	870
P50	1416	1450
P75	1456	1450
P90	861	870
P97	449	406
P100	109	174

Abbildung 18: Praktische Perzentilverteilung 1. Durchlauf

### 2. Durchlauf

Perzentile	Anzahl generierter Physiologien	Soll
P3	191	174
P10	388	406
P25	897	870
P50	1432	1450
P75	1508	1450
P90	825	870
P97	457	406
P100	102	174

Abbildung 19: Praktische Perzentilverteilung 2. Durchlauf

### 3. Durchlauf

Perzentile	Anzahl generierter Physiologien	Soll
P3	192	174
P10	398	406
P25	872	870
P50	1451	1450
P75	1452	1450
P90	893	870
P97	419	406
P100	123	174

Abbildung 20: Praktische Perzentilverteilung 3. Durchlauf

An den Tabellen ist sehr gut zu erkennen, dass die tatsächlich generierten Physiologien um den Soll-Wert schwanken. Eine genaue Berechnung ist auf Grund des Zufallsfaktors ohnehin nicht möglich, daher wird das Ergebnis als ausreichend angesehen.

#### *Zufallswerte*

Eine Ergebnisauswertung der Zufallswerte, die innerhalb eines bestimmten Bereichs liegen, ohne bestimmte Kriterien einzuhalten, soll an dieser Stelle nicht erfolgen, da eine solche Auswertung nicht aussagekräftig wäre. Ein Beispiel für eine solche Berechnung ist die maximale Ausdauer eines Agenten.

## 5 Schlussbetrachtung

Dieses Kapitel dient als kurze Zusammenfassung der Erkenntnisse der Arbeit und soll ein abschließendes Fazit liefern. Außerdem sollen einige Weiterentwicklungsmöglichkeiten von Agenten genannt werden, die die hier erstellte Physiologie als Basis nutzen.

### 5.1 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde zunächst eine kleine Einführung in Multiagentensysteme gegeben. Dabei wurden insbesondere ihre Merkmale beschrieben. Ein besonders hervorstechendes Merkmal solcher Systeme sind die Agenten. Auch diese wurden hinreichend erklärt, um den Kern ihrer Bedeutung und Notwendigkeit zu erfassen. Außerdem wurde ein theoretischer Einblick in die Architektur eines Agenten gegeben.

Es wurde weiterhin gezeigt, dass die realitätsgetreue Modellierung eines Menschen keine leichte Aufgabe ist, da den Menschen viele Faktoren ausmachen. Es wurde aber auch gezeigt, dass man sich zumindest an ein solches Modell mit Hilfe von Statistiken annähern kann. Die Schwächen dieses Vorgehens sind jedoch die Statistiken selbst, da man sie nur spärlich in der Literatur findet und sie zudem selten einheitlich sind.

Mit Hilfe der Statistiken wurde ein Modul entwickelt, welche eine annähernd realistische Physiologie erzeugen kann, die für viele Aktionen während der Simulation genutzt werden kann. Das Modul hat keinerlei äußere Abhängigkeit, was auch der Wiederverwendbarkeit in anderen Systemen zugutekommt. Des Weiteren wurde eine gute Austauschbarkeit der Daten realisiert, die sich lediglich in Konstanten und CSV-Dateien manifestieren, ohne in die Interna der Implementation schauen zu müssen.

Als Vorbereitung auf eine spätere Implementierung der Aktionen eines Agenten in WALK, wurden mögliche Aktionen aufgelistet und spezifiziert hinsichtlich ihrer Voraussetzung und Auswirkung auf die Umwelt oder andere Agenten.

Abschließend wurde die Architektur der entstandenen Implementation gezeigt und erläutert und ein Vergleich zwischen den theoretischen und praktischen Berechnungsergebnissen gezogen.

## 5.2 Ausblick

Zwar liefert diese Arbeit eine Zusammenfassung einiger Statistiken, dennoch wurden an einigen Stellen Statistiken improvisiert, da sich dafür keine offiziellen Statistiken finden ließen. Ein Beispiel dafür ist die maximale Laufgeschwindigkeit eines Agenten, welche zurzeit als fünffache Gehgeschwindigkeit realisiert wurde. Hier wäre beispielsweise Verbesserungsbedarf vorhanden, vorausgesetzt es existieren Daten zu dieser Eigenschaft.

Ansonsten liefert das Physis-Modell die Basis für eine Implementierung von Aktionen, die abhängig von den Eigenschaften qualitativ und quantitativ beeinflusst werden können.

Außerdem könnten Druck- und Drängelmechanismen implementiert werden, die die maximale Gehgeschwindigkeit weiter einschränken. Ein in diesem Zusammenhang auftretender Begriff sind die bereits erklärten *Fundamentaldiagramme*.

Auch eine schlechte Sicht durch Rauch kann die Gehgeschwindigkeit weiter einschränken, da Schritte vorsichtiger gesetzt werden.

Die Arbeit bietet außerdem eine kleine Vorbereitung für die Auswirkungen von Rauch und Feuer auf den Gesundheitszustand des Agenten.

Die Realisierung des kompletten Geschwindigkeitsverlaufs kann ebenfalls nur von außerhalb erfolgen, da innerhalb der Physiologie die Intention des Agenten, also der Wunsch zur Ausführung einer Aktion, nicht bekannt ist. Demnach müsste eine Move-Aktion auf Grund der Berechnungen eines Geschwindigkeitsverlaufs und der tatsächlich gewünschten Zielgeschwindigkeit die aktuelle Bewegungsgeschwindigkeit in der Physiologie-Komponente anpassen.

## 6 Literaturverzeichnis

- Coners, H., Himmelmann, G., Hebebrand, J., Hesecker, H., Remschmidt, H., & Schäfer, H. (1996). Perzentilenkurven für den Body-Mass-Index zur Gewichtsbeurteilung bei Kindern und Jugendlichen ab einem Alter von zehn Jahren. In *Der Kinderarzt, Band 27* (S. 1002-1007).
- Kromeyer-Hauschild, K. (2001). Perzentile für den Body-mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, S. 807-818.
- Kunsch, K., & Kunsch, S. (2007). *Der Mensch in Zahlen*. München: Elsevier GmbH.
- März, B. (2. Juni 2008). *Biomechanik in der Leichtathletik*. Von <http://homepages.uni-regensburg.de/~lea22257/biomechanik/Leichtathletik.pdf> abgerufen
- Pharmacia GmbH. (23. 05 2012). *Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen (Jungen 0 - 18 Jahre)*. Von [http://www.uk-essen.de/fileadmin/Kinderklinik/Downloads/Perzentilenkurve\\_Jungen.pdf](http://www.uk-essen.de/fileadmin/Kinderklinik/Downloads/Perzentilenkurve_Jungen.pdf) abgerufen
- Pharmacia GmbH. (23. 05 2012). *Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen (Mädchen 0 - 18 Jahre)*. Von [http://www.uk-essen.de/fileadmin/Kinderklinik/Downloads/Perzentilenkurve\\_Maedchen.pdf](http://www.uk-essen.de/fileadmin/Kinderklinik/Downloads/Perzentilenkurve_Maedchen.pdf) abgerufen
- Russel, S., & Norvig, P. (2003). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (2. Auflage). London et al.: Pearson Education International.
- Schneider, B. (2011). *Die Simulation menschlichen Panikverhaltens: Ein Agenten-basierter Ansatz*. München: Vieweg+Teubner Verlag.

- Statistisches Bundesamt. (11. Mai 2012). *Körpermaße nach Altersgruppen (2009)* - Statistisches Bundesamt. Von <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/GesundheitszustandRelevantesVerhalten/Tabellen/Koerpermasse.html?nn=50798> abgerufen
- TraffGo HT GmbH. (14. April 2012). *RiMEA Richtlinien Version 2.2.1*. Von <http://www.rimea.de/downloads/richtlinien/r2.2.1.pdf> abgerufen
- TraffGo HT GmbH. (17. März 2012). *RiMEA-Projekt Satzung*. Von <http://www.rimea.de/verein/satzung.pdf> abgerufen
- Uhrmacher, A. M., & Weyns, D. (2009). *Multi-Agent Systems: Simulation and Applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (2005). *Ingenieurmethoden des Brandschutzes*.
- Wastl, P. (2. Juni 2012). *Methodik Leichtathletik - Thema: schnell Laufen*. Von Leichtathletik Skripte - Sprint: [http://www.sportwissenschaft.uni-wuppertal.de/personal/wastl/Materialien/p\\_pics/H04-Methodik-Sprint.pdf](http://www.sportwissenschaft.uni-wuppertal.de/personal/wastl/Materialien/p_pics/H04-Methodik-Sprint.pdf) abgerufen
- Weidmann, U. (1993). *Transporttechnik der Fussgänger*. Zürich: Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau Zürich.
- Wooldridge, M. (2006). *An Introduction to MultiAgent Systems*. Chichester: John Wiley & Sons.