

UNIVERSITÄT BIELEFELD  
Fakultät für Gesundheitswissenschaften

**Können kleinräumige,  
gesundheitliche Ungleichheiten durch  
nachbarschaftlich medierte, soziale  
Mechanismen reduziert werden?**

-

**Eine Modellierungsstudie**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grads  
Dr. PH

vorgelegt von  
*Kim Alexandra Zolitschka*

Bielefeld, 28. April 2020

Erstgutachterin: PD Dr. Odile Sauzet  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Oliver Razum

# Danksagung

Diese Dissertation wurde in der Arbeitsgruppe „Epidemiologie & International Public Health“ unter Leitung von Prof. Dr. Oliver Razum erstellt und finanziell durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Projektes „From urban neighbourhood heterogeneities to health inequalities: social mechanisms, environmental exposures and their interaction“ (NeHIS) unterstützt. Das Erstgutachten hat PD Dr. Odile Sauzet und das Zweitgutachten Prof. Dr. Oliver Razum übernommen.

Odile, dir danke ich für die hervorragende Betreuung als Erstgutachterin, dafür, dass du mir viele Freiräume für eigene Ideen ermöglicht hast und die vielen anregenden Diskussionen.

Oliver, dir gilt mein Dank sowohl für die stetige Unterstützung und Förderung, schon während des Masterstudiums, als auch für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Für die gute Zusammenarbeit und die ausgesprochen angenehme Arbeitsatmosphäre gilt mein weiterer Dank allen aktiven und ehemaligen Mitgliedern der Arbeitsgruppe „Epidemiologie & International Public Health“. Insbesondere möchte ich allen MitarbeiterInnen und den ehemaligen und aktiven wissenschaftlichen Hilfskräften im Projekt NeHIS danken. Ihr habt durch zahllose Diskussionen wichtige inhaltliche Beiträge zu meiner Promotion geleistet.

Weiterhin möchte ich meiner gesamten Familie danken. Insbesondere meinen Eltern, für die bedingungslose Unterstützung, das Korrekturlesen dieser Arbeit und für die Überzeugung, dass ich (fast) alles im Leben erreichen kann, wenn ich nur möchte! Weiterhin danke ich sowohl meinen Vater als auch meinem Bruder für den spannenden, außerfachlichen wissenschaftlichen Austausch.

Ein weiterer Dank gilt allen, die mich auf dem Weg der Promotion begleitet haben. Vor allem möchte ich mich bei meiner besten Freundin Leonie bedanken. Danke, dass du mir immer zugehört hast, wenn ich über die Promotion geredet habe, für meine Ausgeglichenheit gesorgt und mich dazu angespornt hast, eine bessere Version meiner selbst zu werden.

Ein ganz besonders herzlicher Dank geht an Tizian: Danke, dass du mit mir gemeinsam diesen Weg gegangen bist.

Ein herzliches Dankeschön euch allen, die ihr mich unterstützt und an mich geglaubt habt!

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	viii
Zusammenfassung	viii
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	2
1.2 Problemstellung . . . . .	3
1.3 Zielsetzung . . . . .	5
1.4 Inhaltlicher Aufbau . . . . .	7
<b>2 Hintergrund</b>	<b>8</b>
2.1 Gesundheitswissenschaften - Gesundheitliche Ungleichheiten . . . . .	8
2.1.1 Definitionen von Gesundheit . . . . .	8
2.1.2 Public-Health-Relevanz von gesundheitlichen Ungleichheiten . . . . .	9
2.1.3 Herausforderungen bei der Reduzierung gesundheitlicher Ungleichheiten . . . . .	11
2.2 Soziologie - Soziale Mechanismen . . . . .	15
2.2.1 Mechanismen . . . . .	15
2.2.2 Mechanismen in der Soziologie . . . . .	17
2.2.3 Typologie von kleinräumig auf gesundheitliche Ungleichheiten wirkenden Mechanismen . . . . .	22
2.3 Informatik - Agentenbasierte Sozialsimulationen . . . . .	26
2.3.1 Computergestützte Simulationen . . . . .	27
2.3.2 Agentenbasierte Simulationen . . . . .	34
2.3.3 Sozialwissenschaften . . . . .	41
2.3.4 Zusammenführung der drei Teilbereiche . . . . .	42
2.4 Theoretische Modelle . . . . .	44
<b>3 Methodisches Vorgehen</b>	<b>48</b>
3.1 Literaturrecherche . . . . .	48
3.2 Semivariogramme . . . . .	49
3.3 Agentenbasierte Modellierung . . . . .	54
<b>4 Ergebnisse</b>	<b>72</b>
4.1 Ergebnisse der Literaturrecherche . . . . .	72
4.2 Durchgeführte, agentenbasierte Simulationen . . . . .	79
4.2.1 Initialisierung der agentenbasierten Simulationen mit SOEP-Daten . . . . .	79
4.2.2 Korrelationsstrukturen der Ausgangssituation . . . . .	80
4.2.3 Korrelationsstrukturen der Simulationsszenarien . . . . .	86
4.2.4 Vergleich der Simulationsparameter . . . . .	102
4.3 Erklärungsmodelle zur Reduzierung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten . . . . .	113

<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>117</b>
5.1	Soziale Mechanismen in epidemiologischen Publikationen . . . . .	118
5.2	Soziale Mechanismen in den agentenbasierten Simulationen . . . . .	122
5.2.1	Methodendiskussion - agentenbasierte Simulationen . . . . .	123
5.2.2	Modellierung der sozialen Mechanismen . . . . .	133
5.2.3	Limitationen . . . . .	141
5.2.4	Public-Health-Relevanz . . . . .	143
5.2.5	Ausblick . . . . .	146
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>147</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>ix</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>xxiii</b>
A.1	Definitionen von sozialen Mechanismen . . . . .	xxiii
A.1.1	Gruppe I: Mehrebenenmechanismen . . . . .	xxiii
A.1.2	Gruppe II: Einebenenmechanismen . . . . .	xxv
A.2	Übersichtstabellen der eingeschlossenen Studien . . . . .	xxv
A.3	Ergebnisse der agentenbasierten Simulationen . . . . .	xxviii
<b>B</b>	<b>Erklärung</b>	<b>xxxv</b>

# Abbildungsverzeichnis

1	Mögliche Einflüsse auf den Gesundheitszustand von Menschen (Dahlgren & Whitehead 1991). . . . .	2
2	Zusammenführung der drei Forschungsbereiche Gesundheitswissenschaften, Soziologie und Informatik. <sup>1</sup> . . . . .	6
3	Visualisierung des Prinzips von agentenbasierten Simulationen durch eine Black Box. . . . .	7
4	Der „Public Health Action Cycle“ für gesundheitliche Ungleichheiten (Hurrelmann & Richter 2009). . . . .	14
5	Visuelle Darstellung eines modernen Mechanismus (angelehnt an Craver & Tabery 2019). . . . .	17
6	Visualisierung des Makro-Mikro-Makro-Modells (angelehnt an Coleman 1986). . . . .	19
7	Visualisierung des Konzeptes des Einebenenmechanismus. . . . .	20
8	Visualisierung des Konzeptes des Mehrebenenmechanismus im Kontext von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten (angelehnt an Coleman 1986). . . . .	21
9	Visualisierung des Konzeptes des Einebenenmechanismus im Kontext von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten. . . . .	21
10	Forschungsbereiche der agentenbasierten Sozialsimulation (angelehnt an Davidsson 2002). . . . .	27
11	Darstellung der Abstraktion von der Realität auf ein Modell bei computer-gestützten Simulationen (angelehnt an Borshchev & Filippov 2004). . . . .	30
12	Schematische Darstellung eines Simulationszyklus (angelehnt an Railsback & Grimm 2019). . . . .	31
13	Aufbau eines Agenten mit Schnittstellen zur Umgebung (angelehnt an Russell & Norvig 2012). . . . .	36
14	Aufbau von agentenbasierten Simulationen (Pawlaszczyk 2010). . . . .	36
15	Schnittmengen der drei Forschungsbereiche Sozialwissenschaften, agenten-basierte Simulationen und computergestützte Simulationen (angelehnt an Davidsson 2002). . . . .	43
16	Visualisierung der Annahmen für den Mechanismus <i>soziale Ansteckung</i> . . . . .	46
17	Visualisierung der Annahmen für den Mechanismus <i>sozialer Zusammenhalt</i> . . . . .	47
18	Darstellung eines exponentiellen Semivariogramms für das gesundheitliche Outcome Geburtsgewicht (Sauzet, Zolitschka et al. noch unveröffentlicht). . . . .	52
19	Darstellung eines beispielhaften Semivariogramms und seiner Komponenten. . . . .	53
20	Beispielhafte Darstellung der räumlichen Dimension der agentenbasierten Simulationen (3x3). . . . .	56
21	Darstellung von Moores Nachbarschaft für einen Agenten $I$ und seine be-nachbarten Agenten $N_i$ (eigene Darstellung, angelehnt an Moore 1964). . . . .	57
22	Terminierung der Abläufe in den agentenbasierten Simulationen. . . . .	58
23	Darstellung der Modellierung für den Mechanismus <i>soziale Ansteckung</i> . . . . .	70
24	Darstellung der Modellierung für den Mechanismus <i>sozialer Zusammenhalt</i> . . . . .	71
25	Visualisierung des Auswahlprozesses der Literaturrecherche (eigene Dar-stellung, angelehnt an Moher, Shamseer et al. 2015). . . . .	73

26	Gleichbleibende Korrelationsstruktur des Stressors in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen. . . . .	81
27	Korrelationsstrukturen für Gesundheit in den Ausgangssituationen. . . . .	82
28	Gleichbleibende Korrelationsstrukturen eines niedrigen und eines hohes Zusammengehörigkeitsgefühls in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen. . . . .	84
29	Korrelationsstruktur des Verhaltens in den Ausgangssituationen. . . . .	85
30	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei der Positivkontrolle nach 10 Iterationen. . . . .	87
31	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei der Positivkontrolle nach 10 Iterationen. . . . .	88
32	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei $\alpha = 0,1$ nach 10 Iterationen. . . . .	89
33	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei $\alpha = 0,1$ nach 10 Iterationen. . . . .	90
34	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei $\alpha = 0,2$ nach 10 Iterationen. . . . .	91
35	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei $\alpha = 0,2$ nach 10 Iterationen. . . . .	92
36	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei $\alpha = 0,6$ nach 10 Iterationen. . . . .	93
37	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei $\alpha = 0,8$ nach 10 Iterationen. . . . .	94
38	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei $\alpha = 1$ nach 10 Iterationen. . . . .	95
39	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl nach 10 Iterationen. . . . .	96
40	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl nach 10 Iterationen. . . . .	97
41	Visuelle Darstellung des Nuggets der Gesundheit in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation. . . . .	103
42	Visuelle Darstellung des Partial Sill der Gesundheit in in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation. . . . .	104
43	Visuelle Darstellung der RSV für Gesundheit in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation. . . . .	105
44	Visuelle Darstellung des Practical Range der Gesundheit in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation. . . . .	106
45	Visuelle Darstellung des Mittelwertes des Verhalten in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation. . . . .	107
46	Visuelle Darstellung der Varianz des Verhaltens in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation. . . . .	108
47	Visuelle Darstellung des Nuggets für Verhalten in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation. . . . .	109
48	Visuelle Darstellung des Partial Sills für Verhalten in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation. . . . .	110
49	Visuelle Darstellung der RSV für Verhalten in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation. . . . .	111

50	Visuelle Darstellung des Practical Range für Verhalten in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation. . . .	112
51	Erklärungsmodell zur Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten für den Mechanismus <i>soziale Ansteckung</i> . . . . .	115
52	Erklärungsmodell zur Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten für den Mechanismus <i>sozialer Zusammenhalt</i> . . . . .	116
53	Modellierung des Mechanismus <i>sozialen Ansteckung</i> . . . . .	134
54	Modellierung des Mechanismus <i>sozialer Zusammenhalt</i> . . . . .	135
55	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei $\alpha = 0,4$ nach 10 Iterationen. . . . .	xxviii
56	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei $\alpha = 0,4$ nach 10 Iterationen. . . . .	xxix
57	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei $\alpha = 0,6$ nach 10 Iterationen. . . . .	xxx
58	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei $\alpha = 0,8$ nach 10 Iterationen. . . . .	xxxi
59	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei $\alpha = 1$ nach 10 Iterationen. . . . .	xxxii
60	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl nach 10 Iterationen. . . . .	xxxiii
61	Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl nach 10 Iterationen. . . . .	xxxiv

# Tabellenverzeichnis

1	Erklärungsansätze für die Beziehung zwischen sozialer Ungleichheit und Gesundheit (Hurrelmann & Richter 2009; Richter & Hurrelmann 2009). . .	15
2	Übersicht über die Ergebnisparameter der agentenbasierten Simulationen nach 10 Iterationen. . . . .	69
3	Überblick über soziale Mechanismen und ihre Formen der Operationalisierungen in den eingeschlossenen Publikationen. . . . .	77
4	Übersicht über Formen der Operationalisierungen und ihre Erhebung in den eingeschlossenen Publikationen. . . . .	78
5	Übersicht über SOEP-Parameter für die Initialisierung von Gesundheit und Alter der agentenbasierten Simulationen. . . . .	80
6	Werte der Korrelationsstrukturen, Mittelwerte und Varianzen für Gesundheit <sup>a</sup> , Verhalten und ein niedriges bzw. hohes Zusammengehörigkeitsgefühl in den Ausgangssituationen. . . . .	85
7	Mittelwerte über 100 jeweilige Simulationsszenarien für Gesundheit nach 10 Iterationen und die Werte der Ausgangssituation. . . . .	98
8	Standardabweichungen der Mittelwerte über 100 jeweilige Simulationsszenarien für Gesundheit nach 10 Iterationen. . . . .	99
9	Mittelwerte über 100 jeweilige Simulationsszenarien für Verhalten nach 10 Iterationen und die Werte der Ausgangssituation. . . . .	100
10	Standardabweichungen der Mittelwerte über 100 jeweilige Simulationsszenarien für Verhalten nach 10 Iterationen. . . . .	101
11	Überblick über in die Literaturrecherche eingeschlossene Studien I . . . . .	xxvi
12	Überblick über in die Literaturrecherche eingeschlossene Studien II. . . . .	xxvii



## Zusammenfassung

Gesundheitliche Ungleichheiten in der Bevölkerung können durch verschiedene Faktoren und Prozesse entstehen. Faktoren sind potentielle Einflussgrößen, die auf ein Outcome, auch Ergebnisvariable genannt, wirken können. Über Assoziationsanalysen kann quantifiziert werden, ob ein Zusammenhang besteht und wie groß dieser sein kann. Prozesse hingegen beschreiben den Ablauf, wie mehrere Faktoren in Interaktion miteinander zu einem Outcome führen können. Als soziale Mechanismen werden Prozesse bezeichnet, die die soziale Umgebung miteinbeziehen und u.a. einem zeitlichen Ablauf unterliegen. In Nachbarschaften agierende, soziale Mechanismen wurden bisher unzureichend erforscht. In dieser Arbeit wird zuerst thematisiert, welche sozialen Mechanismen (nach Galsters Typologie von sozialen Mechanismen) in epidemiologischen Publikationen bezüglich kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten untersucht wurden und, ob dies über Faktoren oder Prozesse geschah. Dabei bestätigt sich, dass soziale Mechanismen meist nicht über Prozesse, sondern als Faktoren operationalisiert wurden. Durch diese Reduktion der sozialen Mechanismen auf Faktoren können keine Informationen über die konkreten Prozesse der Entstehung oder der Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten gewonnen werden. Für solche Informationen müssen Methoden verwendet werden, die eine Modellierung von sozialen Mechanismen als Prozesse erlaubt.

Agentenbasierte, computergestützte Simulationen von sozialen Phänomenen (agentenbasierte Sozialsimulationen) können Prozesse abbilden. Dabei resultiert das Phänomen auf der kleinräumigen, kollektiven Ebene aus dem Verhalten und Interaktionen von Agenten (Individuen) auf der individuellen Ebene. Mittels agentenbasierter Sozialsimulationen wird analysiert, ob soziale Mechanismen, durch Umwelt induzierte, kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren können. Dafür wird der Mechanismus *soziale Ansteckung* als grundlegender Prozess mit verschieden starken Einflüssen modelliert. Der soziale Mechanismus wird über das egozentrierte, nachbarschaftliche, soziale Netzwerk mediiert. Bei geringem Einfluss der *sozialen Ansteckung* werden kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduziert. Bei mittlerem Einfluss werden sie vollständig aufgehoben und bei hohem Einfluss bildeten sich erneut verstärkte kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten basierend auf den Umweltbedingungen aus. Die Erweiterung des niedrigen Einflusses um den sozialen Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* verstärkt die Reduzierung kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten. Insgesamt kann die Vermutung, dass soziale Mechanismen in der Lage sind, kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten zu reduzieren oder aufzuheben für bestimmte Einflussstärken bestätigt werden. Aus den durchgeführten, agentenbasierten Sozialsimulationen ergeben sich Interventionsmöglichkeiten zur Reduzierung solcher Ungleichheiten.

# 1 Einleitung

„Inequalities in health arise because of inequalities in society – in the conditions in which people are born, grow, live, work and age.“ (Marmot, Allen et al. 2010)

Gesundheitliche Ungleichheiten sind Unterschiede im Gesundheitszustand, dem Gesundheitsverhalten und der Gesundheitsversorgung und können durch soziale Ungleichheiten in der Bevölkerung entstehen. Das obenstehende Zitat von Marmot zeigt die verschiedenen Lebensaspekte auf, in denen sich diese Ungleichheiten entwickeln können. Dabei werden Lebenslaufereignisse wie Geburts- und Arbeitsbedingungen genannt, aber auch die aktuellen Lebensverhältnisse, zu denen auch der kleinräumige Kontext gehört (Marmot, Allen et al. 2010). Der kleinräumige Kontext bezieht dabei alle Einflüsse ein, die in der Nachbarschaft eines Individuums wirken können.

Die Gesundheit eines Menschen ist nicht nur von einem Faktor, sondern vielmehr von einer Anzahl verschiedener Faktoren abhängig, die sich gegenseitig bedingen oder miteinander in Wechselwirkung stehen können. Abbildung 1 stellt dar, welche Faktoren einen Einfluss auf die Gesundheit haben können. Die verschiedenen Einflüsse sind dabei in unterschiedliche Ebenen gegliedert, auf denen die zugehörigen Faktoren auf die Gesundheit eines Individuums einwirken können. Die verschiedenen Ebenen beeinflussen sich gegenseitig und stehen in Wechselwirkung miteinander. Auf der ersten Ebene sind individuelle Verhaltens- und Lebensweisen abgebildet. Dazu gehören beispielsweise Faktoren wie sportliche Aktivitäten, Ernährungsverhalten oder Konsum von Genussmitteln. Durch Faktoren auf der zweiten Ebene kann eine Unterstützung und Beeinflussung durch das soziale Umfeld erfolgen und die Faktoren auf der ersten Ebene können dadurch beeinflusst werden. Die dritte Ebene bezieht die weiteren Lebens- und Arbeitsbedingungen mit ein und auf der vierten Ebene wirken die politischen, wirtschaftlichen, kulturellen und physikalischen Umweltbedingungen, wie beispielsweise Luftverschmutzung (Dahlgren & Whitehead 1991). Zusätzlich spielen individuelle, unveränderliche biologische Faktoren, wie Alter, Geschlecht und genetische Veranlagung eine Rolle für die Gesundheit eines Menschen (Dahlgren & Whitehead 1991). Die Einflüsse auf die Gesundheit können auch anders als in Abbildung 1 eingeteilt werden: In (1) individuelle, (2) kleinräumige und (3) globale Einflüsse. Zu den individuellen Einflüssen zählen alle Einflüsse, die jedem Menschen individuell zugeordnet sind. Dazu gehören beispielsweise sozioökonomische Faktoren wie Bildung oder Einkommen und biologische Faktoren wie Alter oder Geschlecht.

Zu den kleinräumigen Einflüssen zählen beispielsweise Umweltbedingungen oder soziale Faktoren im direkten Wohnumfeld. Die globalen Einflüsse beziehen sich auf wirtschaftliche und politische Einflüsse sowie weitere Einflüsse, die auf einer Ebene als dem direkten Wohnumfeld wirken. In die Analysen dieser Arbeit werden individuellen und kleinräumigen Einflüsse auf gesundheitliche Ungleichheiten aufgenommen.

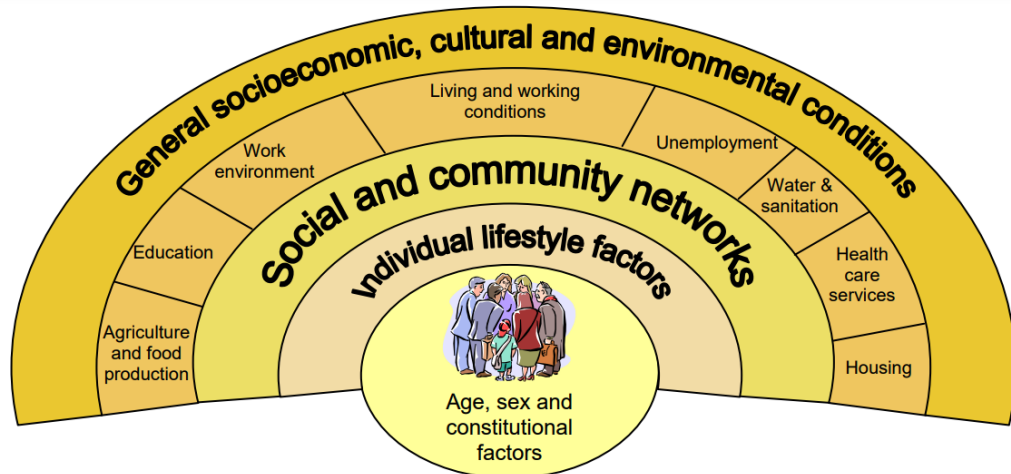


Abbildung 1: Mögliche Einflüsse auf den Gesundheitszustand von Menschen (Dahlgren & Whitehead 1991).

## 1.1 Motivation

Gesundheitliche Ungleichheiten zeigen die gesellschaftlichen Ungerechtigkeiten auf, die laut der Definition eines Sozialstaates<sup>1</sup> nicht vorhanden sein dürften (Wilkinson & Marmot 2003). Im Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland ist die Gleichheit der Menschen verankert. In Artikel 3 steht:

- „Alle Menschen sind vor dem Gesetz gleich.“ (Artikel 3 Satz 1 GG) und
- „Niemand darf wegen seines Geschlechtes, seiner Abstammung, seiner Rasse, seiner Sprache, seiner Heimat und Herkunft, seines Glaubens, seiner religiösen oder politischen Anschauungen benachteiligt oder bevorzugt werden. Niemand darf wegen seiner Behinderung benachteiligt werden.“ (Artikel 3 Satz 3 GG).

<sup>1</sup>Als Sozialstaat wird ein demokratischer Rechtsstaat bezeichnet, der laut seiner Verfassung bestrebt ist, die wirtschaftliche Sicherheit seiner BürgerInnen zu gewährleisten und soziale Unterschiede auszugleichen (Butterwegge 2018).

Mit diesen Aspekten des Grundgesetzes wird die soziale Gerechtigkeit ausgedrückt, die das zentrale Zusammenleben innerhalb der deutschen Gesellschaft ermöglichen soll. Entsprechend diesen zentralen Grundsätzen sollte es auch keine gesundheitlichen Ungleichheiten aufgrund sozialer Aspekte geben. Auf der internationalen Ebene wurde unter dem UNO Menschenrechtsabkommen (Pakt I, Sozialrechte) folgender Satz formuliert:

„Die Vertragsstaaten erkennen das Recht eines jeden auf das für ihn erreichbare Höchstmaß an körperlicher und geistiger Gesundheit an.“ (UNO Menschenrechte, Pakt 1, Artikel 12)

Dadurch wird deutlich, dass Gesundheit als Menschenrecht für alle angesehen wird und vermeidbare gesundheitliche Benachteiligungen von Menschen nicht erwünscht sind. Gesundheitliche Ungleichheiten, hervorgerufen durch Alter oder andere biologische Faktoren, sind unvermeidbar. Gesundheitliche Ungleichheiten aufgrund von diversen Aspekten, die mit dem sozioökonomischen Status einhergehen sind prinzipiell vermeidbar. Zu diesen Aspekten gehören auch Wohnort, Arbeit und Lebensstil. Laut Marmot können vermeidbare gesundheitliche Ungleichheiten als Versagen der modernen Gesellschaft gesehen werden und sollten beseitigt werden (Marmot & Wilkinson 2005).

## 1.2 Problemstellung

Die Entstehung und Reduzierung von gesundheitlichen Ungleichheiten ist erst ansatzweise erklärt (Mielck & Helmert 2016). Auf der individuellen Ebene ist vor allem der sozioökonomische Status oder die mit einem niedrigen sozioökonomischen Status verbundenen Verhaltensweisen oder Risikofaktoren (z.B. Rauchen oder Übergewicht) für die Entstehung von gesundheitlichen Ungleichheiten verantwortlich. Der sozioökonomische Status beschreibt die Stellung eines Individuums innerhalb einer Gesellschaft und setzt sich aus Bildung, Einkommen und beruflicher Stellung zusammen (Mielck & Helmert 2016). Diese Faktoren sind quantifizierbar und ihre Einflüsse auf die Gesundheit und damit einhergehend gesundheitliche Ungleichheiten sind erforscht (Mielck & Helmert 2016; Richter & Hurrelmann 2009; Hurrelmann & Richter 2009). Auf der kleinräumigen Ebene wird angenommen, dass Faktoren in der sozialen und physikalischen Umgebung interagieren. Faktoren in der physikalischen Umgebung sind ebenfalls quantifizierbar und folglich nachweisbar. Beispielsweise ist nachgewiesen, dass starke Luftverschmutzung am Wohnort negative Auswirkungen auf die individuelle Gesundheit haben kann (Day 2007).

Faktoren sind potentielle Einflussgrößen, die ein bestimmtes Outcome beeinflussen können. Durch die Analyse von Faktoren kann festgestellt werden, ob ein Zusammenhang zwischen den Faktoren und dem zu erklärenden Phänomen besteht. Weiterhin können ggf. Aussagen über die Stärke des Einflusses der Faktoren auf das Phänomen getroffen werden. Allerdings kann eine solche Analyse nicht erklären, wie die Faktoren zu dem Phänomen führen. Dafür ist es notwendig Prozesse zu analysieren, bei denen mehrere Faktoren in einem kausalen Wirkpfad miteinander interagieren, sich verändern und entwickeln. Dadurch kann nachvollzogen werden, durch welchen Ablauf das Phänomen entsteht. Ein Mechanismus ist ein solcher Prozess, der bestimmte Vorraussetzungen, wie beispielsweise einzeln messbare Bestandteile oder eine zeitliche Abfolge, erfüllen sollte (Craver & Tabery 2019). In Kapitel 2.2 werden Mechanismen detailliert erläutert.

Für die sozioökonomischen Faktoren und die physikalische Umgebung können die Mechanismen überwiegend nachvollzogen werden. Die kausale und zeitliche Abfolge verschiedener Faktoren, die zu dem Phänomen führen, ist gegeben. Der Einfluss der sozialen Umgebung auf die Gesundheit und kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten ist bisher noch unzureichend erforscht. Das gilt insbesondere für durch nachbarschaftliche Verbindungen ausgehenden Einflüsse (Mayntz 2004; Diewald & Faist 2011). Für eine erfolgreiche Reduzierung von gesundheitlichen Ungleichheiten, sollten auch die nachbarschaftlichen, sozialen Einflüsse miteinbezogen werden. Dafür müssen diese Prozesse verstanden werden. In Assoziationsanalysen konnte gezeigt werden, dass es einen Zusammenhang zwischen sozialen Faktoren und Gesundheit gibt (Ard, Colen et al. 2016; Baum, Ziersch et al. 2009; Bjornstrom 2011). Der genaue Ablauf von Prozessen, wie soziale Faktoren zu einer Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten führen können, kann jedoch nicht akkurat mittels Assoziationsanalysen analysiert werden. Eine interdisziplinäre Forschervereinigung, hat das „Netzwerk von Komplexität, Ungleichheit und Gesundheit“ gegründet und vorgeschlagen komplexe Systemmodellierungen zu verwenden, um ein besseres Verständnis der Entstehung und Reduzierung von gesundheitlichen Ungleichheiten auf der individuellen und kleinräumigen Ebene zu gewinnen (Kaplan, Diez Roux et al. 2017). Sie haben Eigenschaften identifiziert, die für die Analyse von gesundheitlichen Ungleichheiten notwendig sind und folglich auch für die Fokussierung auf kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten verwendet werden sollten. Komplexe Systemmodellierung sollte laut Kaplan, Diez Roux et al. folgende Aspekte beinhalten: a) Erfassung von Outcomes, die von vielen miteinander interagierenden Variablen erzeugt werden; b) Analyse eines Outcomes von einer Bevölkerung unter Berücksichtigung heterogener Individuen;

c) Dynamiken analysieren, die von Individuen und deren Interaktionen in verschiedenen sozialen Untergruppen und sozialen Netzwerken erzeugt wird; d) Erfassung von dynamisch interagierenden, kausalen Einflüssen einschließlich positiver und negativer Rückkopplungen; und e) Stochastizität berücksichtigen.

Kaplan, Diez Roux et al. haben agentenbasierte Modellierung oder dynamische Modelle als Möglichkeiten vorgeschlagen, um die Entstehung oder Reduzierung von gesundheitlichen Ungleichheiten zu analysieren (Kaplan, Diez Roux et al. 2017). El-Sayed, Scarborough et al. argumentieren, dass agentenbasierte Simulationen, basierend auf einer Modellierung von sozialen Netzwerken, verstärkt in der Sozialepidemiologie angewendet werden sollten, um Phänomene auf der Ebene der Bevölkerung zu verstehen (El-Sayed, Scarborough et al. 2012). Die Vorschläge von Kaplan, Diez Roux et al. und El-Sayed, Scarborough et al. werden in dieser Arbeit aufgegriffen. In agentenbasierten Sozialsimulationen wird analysiert, wie und ob nachbarschaftliche, soziale Mechanismen kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren können.

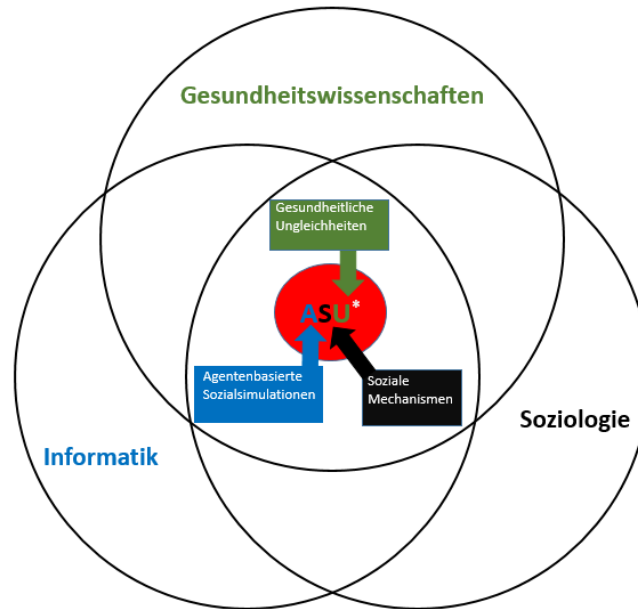
### 1.3 Zielsetzung

In dieser Arbeit soll analysiert werden, durch welche expliziten Prozesse nachbarschaftliche, soziale Mechanismen zur Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten in urbanen Regionen beitragen können. Weiterhin soll ein mögliches Erklärungsmodell für die Reduzierung kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten, welches den nachbarschaftlichen, sozialen Kontext miteinbezieht, entwickelt werden. Dafür werden die Bereiche Gesundheitswissenschaften (gesundheitliche Ungleichheiten), Soziologie (soziale Mechanismen) und Informatik (agentenbasierte, computergestützte Sozialsimulation) herangezogen und zusammengeführt (vgl. Abbildung 2).

Mittels einer Literaturrecherche wird zunächst analysiert, welche Konzepte von sozialen Mechanismen in epidemiologischen Publikationen, hinsichtlich der Analyse des kleinräumigen Einflusses auf die individuelle Gesundheit und dadurch die Entstehung von gesundheitlichen Ungleichheiten, angewendet wurden (Zolitschka, Razum et al. 2019). Die dazugehörige erste Forschungsfrage dieser Arbeit lautet:

Forschungsfrage 1: Welche sozialen Mechanismen (nach Galsters Typologie für soziale Mechanismen) wurden in epidemiologischen Publikationen bezüglich kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten untersucht, wurden diese als Faktoren oder Prozesse analysiert und wie wurden sie operationalisiert?

Die dazugehörige Vermutung ist, dass in epidemiologischen Publikationen soziale Mechanismen überwiegend mittels Assoziationsanalysen untersucht werden, und nicht als Prozesse.



\* **Agentenbasierte Sozialsimulation** zur Analyse von sozialen Mechanismen von bei der Entstehung von gesundheitlichen Ungleichheiten (ASU)

Abbildung 2: Zusammenführung der drei Forschungsbereiche Gesundheitswissenschaften, Soziologie und Informatik.<sup>2</sup>

Anschließend werden agentenbasierte Sozialsimulationen entwickelt. Durch diese Methodik können Prozesse auf Basis von Annahmen analysiert und dadurch verifiziert oder falsifiziert werden. Das Prinzip kann durch eine Black Box (Boudon 1998) visualisiert werden (vgl. Abbildung 3). Die Eingabe (Nachbarschaftscharakteristiken) und die Ausgabe (reduzierte, gesundheitliche Ungleichheiten) der Black Box sind bekannt. Weiterhin sind soziale, individuelle und physikalische Einflüsse auf die Black Box bekannt. Wie genau die verschiedenen Einflüsse, mit welchen Faktoren in einem kausalen Zusammenhang stehen und sich innerhalb der Black Box gegenseitig beeinflussen ist unbekannt. Die Faktoren der unterschiedlichen Einflüsse wirken in der Black Box miteinander im Prozess (einer Kausalkette) und beeinflussen das Verhalten.

<sup>2</sup>Alle Abbildungen und Tabellen in dieser Arbeit ohne Quellenangabe sind von der Autorin selbstständig, ohne Zuhilfenahme anderen Quellen, erstellt worden.

Dieses wiederum bedingt die Gesundheit und kann in einer Reduzierung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten resultieren.

Ziel dieser Arbeit ist, Annahmen über den sozialen Mechanismus in der Black Box zu modellieren, zu analysieren und dadurch einen Einblick in die Elemente innerhalb der Black Box zu erhalten. Die dazugehörige zweite Forschungsfrage dieser Arbeit lautet:

Forschungsfrage 2: Können nachbarschaftliche soziale Mechanismen in agentenbasierten Sozialsimulationen durch Umwelteinflüsse induzierte kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren?

Die dazugehörige Vermutung lautet, dass soziale Mechanismen in der Lage sind, solche Ungleichheiten zu reduzieren oder aufzuheben.

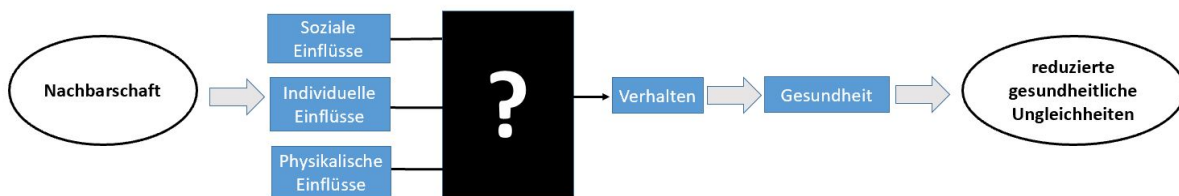


Abbildung 3: Visualisierung des Prinzips von agentenbasierten Simulationen durch eine Black Box.

## 1.4 Inhaltlicher Aufbau

Diese Arbeit gliedert sich in die Darstellung der notwendigen Grundlagen (inklusive Auswahl der sozialen Mechanismen für die Modellierung und Entwurf eines theoretischen Modells) und der verwendeten Methodik (inklusive einer Beschreibung der Programmierung), Ergebnisse und deren Diskussion. Im Anschluss an diese Einleitung werden in Kapitel 2 die drei Forschungsbereiche, mit den für diese Arbeit relevanten, begrifflichen Grundlagen eingeführt. In Kapitel 3 wird zuerst die methodische Durchführung der Literaturrecherche dargestellt. Anschließend wird das Konzept „Correlation Neighbourhood“ erläutert, welches in dieser Arbeit verwendet wird, um kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten als Korrelationsstrukturen zu messen. Weiterhin wird der Aufbau und die Programmierung der agentenbasierten Sozialsimulationen dokumentiert. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse der Literaturrecherche und der durchgeführten Sozialsimulationen beschrieben und in Kapitel 5 diskutiert (inklusive Public-Health-Relevanz, Ausblick und Limitationen). Abschließend wird in Kapitel 6 ein Fazit gezogen.



## 2 Hintergrund

In diesem Kapitel werden die, für diese Arbeit benötigten Grundlagen aus den drei, für diese Arbeit relevanten Forschungsbereichen erläutert. Zuerst werden in Kapitel 2.1 gesundheitliche Ungleichheiten aus dem Forschungsbereich Gesundheitswissenschaften erklärt. Dabei werden sowohl Definitionen von Gesundheit vorgestellt als auch die Public-Health-Relevanz, Ursachen und Erklärungsmodelle für gesundheitliche Ungleichheiten betrachtet. Im Anschluss werden soziale Mechanismen aus dem Forschungsbereich der Soziologie in Kapitel 2.2 erläutert. Es werden soziale Mechanismen definiert und das Makro-Mikro-Makro-Modell von Coleman sowohl erklärt, als auch auf den kleinräumigen Kontext für gesundheitlichen Ungleichheiten angepasst. Für den dritten Forschungsbereich, die Informatik, werden zunächst computergestützte Simulationen im Allgemeinen eingeführt (Kapitel 2.3). Anschließend werden explizit agentenbasierte Simulationen erklärt und ein standardisiertes Protokoll für diese vorgestellt. Dieses Protokoll wird für die in dieser Arbeit entwickelten, agentenbasierten Sozialsimulationen angewendet. Weiterhin werden die Sozialwissenschaften und agentenbasierte Sozialsimulationen erläutert. Im Anschluss werden die entwickelten, theoretischen Modelle für diese Arbeit in Kapitel 2.4 vorgestellt.

### 2.1 Gesundheitswissenschaften - Gesundheitliche Ungleichheiten

Dieses Kapitel widmet sich dem Forschungsbereich der Gesundheitswissenschaften. Für ein grundlegendes Verständnis von gesundheitlichen Ungleichheiten werden zunächst Definitionen von Gesundheit vorgestellt. Anschließend wird die Public-Health-Relevanz von gesundheitlichen Ungleichheiten aufgezeigt und die Herausforderungen mit Bezug zu deren Bewältigung erläutert.

#### 2.1.1 Definitionen von Gesundheit

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat im Jahr 1948 Gesundheit wie folgt definiert:

„Gesundheit ist der Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens und nicht nur des Freiseins von Krankheit und Gebrechen.“ (WHO 1948)

In dieser Definition werden Menschen als gesund angesehen, wenn sie ein vollständiges Wohlergehen (körperlich, geistig und sozial) von sich selbst haben. Damit wird ein idealer Zustand beschrieben, der in der Realität nahezu utopisch ist. Eine zeitgenössischere Definition beschreibt Menschen als gesund, wenn sie sich „mit ihren körperlichen, psychischen und sozialen Eigenschaften in Einklang mit der eigenen Entwicklung, den eigenen Möglichkeiten und Zielvorstellungen befinden“ (Bäcker, Bispinck et al. 2008). Bei diesem Ansatz wird nur dann von einer Krankheit gesprochen, wenn das Individuum bestimmte Handlungen nicht durchführen oder bestimmten Anforderungen nicht mehr gerecht werden kann. Mit diesem Verständnis des Gesundheitsbegriffes wird im nächsten Abschnitt die Public-Health-Relevanz von gesundheitlichen Ungleichheiten dargestellt.

### **2.1.2 Public-Health-Relevanz von gesundheitlichen Ungleichheiten**

In Deutschland gibt es einen hohen Lebensstandard und ein soziales Sicherungssystem. Die Lebenserwartung ist hoch und die Gesundheitsversorgung ist überwiegend sowohl gut entwickelt, als auch angemessen ausgebaut. Trotzdem konnte in den letzten 20 bis 30 Jahren aufgezeigt werden, dass ein Auseinanderstreben der Lebensverhältnisse und damit einhergehend auch der Gesundheit in Deutschland stattgefunden hat. Diese Entwicklung ist auch in anderen Sozialstaaten<sup>3</sup> unabhängig vom Versorgungssystem zu beobachten (Lampert & Mielck 2008; Lampert & Kroll 2014). Diese Auseinanderentwicklung der Lebensverhältnisse nahm in Deutschland in den 1990er Jahren stark zu und wird als soziale Ungleichheit bezeichnet. Soziale Ungleichheit bedeutet, dass eine strukturelle Ungleichheit von sowohl materiellen als auch immaterieller Ressourcen unter den Mitgliedern einer Gesellschaft besteht. Daraus resultiert eine Chancenungleichheit bei der Realisierung individueller Lebensziele (Hradil 2013). Zwischen sozialer Lage und Gesundheit besteht ein Zusammenhang. Ein niedriger sozioökonomischer Status wird mit verstärktem Auftreten von Beschwerden, Krankheiten und Risikofaktoren in Verbindung gebracht. Auch schwerwiegende Gesundheitsprobleme, die mit einer Funktionseinschränkung im Alltag und negativen Auswirkungen auf die Lebensqualität verbunden sind, treten oftmals vermehrt mit einem niedrigen sozioökonomischen Status auf (Hurrelmann & Richter 2009). Dieser führt nicht nur zu erhöhtem Krankheitsrisiko sondern oft auch zu niedrigerer Lebenserwartung. Der Zusammenhang zwischen sozialer Ungleichheit und Gesundheit wird als gesundheitliche Ungleichheit bezeichnet (Mielck 2002).

---

<sup>3</sup>In weniger weit entwickelten Ländern gibt es auch gesundheitliche Ungleichheiten, die neben anderen Ursachen auch aus der geringen Entwicklung des Landes resultieren können.

In der Vergangenheit resultierten die gesundheitlichen Ungleichheiten in Deutschland aus unterschiedlichen Lebensbedingungen zwischen Land und Stadt oder Ost- und Westdeutschland. In Ost- und Westdeutschland haben die unterschiedlichen Bedingungen unmittelbar nach der Wiedereinigung im Jahr 1990 zu Unterschieden in Mortalität<sup>4</sup> und Morbidität<sup>5</sup> geführt. In der Gegenwart haben sich die gesundheitlichen Ungleichheiten zwischen Ost und West angeglichen (Razum, Altenhöner et al. 2008; Atzpodien, Bergmann et al. 2009). Der Unterschied der Lebenserwartung<sup>6</sup> zwischen Ost- und Westdeutschland betrug 1988 2,9 Jahre bei den Frauen (Ost: 76,0 Jahre und West: 78,9 Jahre) und 3,4 Jahre bei den Männern (Ost: 69,2 Jahre und West: 72,6 Jahre). 16 Jahre später gab es keine Unterschiede mehr in der Lebenserwartung bei den Frauen (Ost und West: 82 Jahre) und die Unterschiede bei den Männern haben sich auf 1,2 Jahre reduziert (Ost: 75,3 und West: 76,5) (Kibele & Scholz 2009). Für die Angleichung der Lebenserwartung war maßgeblich der Rückgang der Sterblichkeit an Herz-Kreislauf-Erkrankungen verantwortlich. Der Osten glich sich dem Westen unabhängig von sozioökonomischen Unterschieden an. Allerdings können für Deutschland kleinräumige Unterschiede in der Gesundheit festgestellt werden, die unabhängig vom Ost-West Gefälle sind (Neu 2006; Razum, Altenhöner et al. 2008). Ein Vergleich der Lebenserwartungen in Deutschland hat gezeigt, dass niedrige Lebenserwartungen in Bremerhaven, dem Ruhrgebiet, dem Saarland und dem Nordosten von Bayern auftreten. Hohe Lebenserwartungen sind in weiten Teilen Baden-Württembergs, dem Südwesten Bayerns, Hessen, einigen Kreisen in Nordrhein-Westfalen und südlichen Kreisen in Ostdeutschland zu finden (Voigtländer, Berger et al. 2010b). Auch innerhalb von Städten konnten unterschiedliche Lebenserwartungen ermittelt werden. In Berliner Stadtbezirken ergab sich für das Jahr 2008 eine Spannweite von 2,8 Jahren für Frauen (80,7 Jahre in Friedrichshain-Kreuzberg bis 83,5 Jahre in Treptow-Köpenick) und 4,1 Jahren für Männer (74,4 Jahre in Friedrichshain-Kreuzberg bis 78,5 Jahre in Charlottenburg-Wilmersdorf) (Meinlschmidt 2009; Voigtländer, Berger et al. 2010b). Weitere Untersuchungen verdeutlichen, dass kleinräumige Effekte einen Einfluss auf die Gesundheit haben können. Für Nordrhein-Westfalen, das bevölkerungsreichste Bundesland Deutschlands, konnte eine signifikant höhere Sterblichkeitsrate in sozial benachteiligten Regionen nachgewiesen werden (Strohmeier, Schultz et al. 2007).

---

<sup>4</sup>Sterberate: Anzahl der Todesfälle innerhalb eines Zeitraums im Verhältnis zur mittleren Bevölkerung unter Risiko (Razum, Breckenkamp et al. 2016).

<sup>5</sup>Prävalenz: Anzahl der Erkrankungen zu einem Zeitpunkt im Verhältnis zur Bevölkerung (Razum, Breckenkamp et al. 2016).

<sup>6</sup>Die Lebenserwartung kann als ein valider und aussagekräftiger Indikator für die gesundheitliche Lage einer Bevölkerung und ihrer Subgruppen angesehen werden (Mackenbach 2006).

Zusammenhänge zwischen nachbarschaftlicher Deprivation und körperlicher Gesundheit konnten teilweise durch spezifische Merkmale der nachbarschaftlichen Umgebung erklärt werden (Voigtländer, Berger et al. 2010b). Neben der Lebenserwartung wurden die kleinräumigen Unterschiede der Gesundheit auch für weitere Gesundheitsindikatoren wie beispielsweise Neuerkrankungsraten an bösartigen Neubildungen, koronarer Herzkrankheit oder Gesundheitsverhalten festgestellt (Breckenkamp, Mielck et al. 2007; Voigtländer, Berger et al. 2010a). Der nächste Abschnitt erläutert die Herausforderungen, die bezüglich der Bewältigung von gesundheitlichen Ungleichheiten vorhanden sind.

### **2.1.3 Herausforderungen bei der Reduzierung gesundheitlicher Ungleichheiten**

Wie die dargelegten Zahlen zeigen, sind gesundheitliche Ungleichheiten ein gesellschaftliches Problem und sollten reduziert werden. Für deren erfolgreiche Reduzierung sind laut Richter und Hurrelmann drei Herausforderungen zu bewältigen, die in einem „Public Health Action Cycle“ dargestellt werden können (vgl. Abbildung 4) (Richter & Hurrelmann 2009; Hurrelmann & Richter 2009):

1. Beschreibung
2. Erklärung
3. Reduzierung

Zuerst müssen die gesundheitlichen Ungleichheiten erkannt (beschrieben) werden, anschließend müssen Erklärungsmodelle entworfen werden und auf diesen basierend Interventionen zur Reduzierung entwickelt werden. Im folgenden werden die drei Herausforderungen mit den zugehörigen Forschungsständen einzeln dargestellt und herausgearbeitet, warum es noch kein Erklärungsmodell gibt, welches den kleinräumigen, sozialen Kontext ausreichend integriert.

#### **1. Beschreibung**

Bei der Beschreibung werden Unterschiede in der Gesundheit und der Lebenserwartung hinsichtlich sozioökonomischer oder räumlicher Unterschiede dargestellt. Eine der ersten Beschreibungen zu gesundheitlichen Ungleichheiten wurde von John Graunt durchgeführt. Er analysierte die Todesursachenstatistik von London und der ländlichen Stadt Romsey in den Jahren 1604 bis 1661.

Dabei stellte er fest, dass die Mortalitätsraten von London (Stadt) deutlich über der von Romsey (Land) lag (Glass 1964). Dafür verantwortlich war u.a. die hohe städtische Bevölkerungsdichte, die eine schnelle Ausbreitung von Infektionskrankheiten begünstigte (Vögele, Koppitz et al. 2016).

Zusammenfassend lassen sich die Zusammenhänge von sozialer Ungleichheit und Gesundheit wie folgt darstellen (Hurrelmann & Richter 2009; Richter & Hurrelmann 2009):

- Gesundheitliche Ungleichheiten stellen ein allgegenwärtiges, universelles Phänomen dar. In allen Ländern, aus denen Daten vorliegen, sind die Sterblichkeit und die Lebenserwartung sozial ungleich verteilt. Dieser Effekt zeigt sich unabhängig davon, welche Indikatoren sozialer Ungleichheit verwendet werden (Bildung, berufliche Stellung oder Einkommen).
- Gravierende gesundheitliche Ungleichheiten finden sich ebenso für nahezu alle Erkrankungen und Behinderungen. Eine Ausnahme zu diesem Trend sind Allergien und Brustkrebs.
- Die Zusammenhänge sind in der Regel umgekehrt proportional: Je ungünstiger der sozioökonomische Status, desto höher die Sterblichkeit und desto niedriger die Lebenserwartung. Der gleiche Zusammenhang besteht zwischen sozioökonomischem Status und Erkrankungen.
- Die Erhöhung gesundheitlicher Ungleichheiten in den letzten Jahrzehnten, vor allem in der Mortalität, weist auf die Konsistenz und Dringlichkeit dieses gesellschaftlichen Problems hin.
- Im Gegensatz zur Mortalität sind gesundheitliche Ungleichheiten in der Morbidität über die letzten Jahrzehnte relativ stabil geblieben.

Diese Problematik von gesundheitlichen Ungleichheiten verdeutlicht, dass sie in nahezu allen Bereichen der Gesundheit auftreten und bisher noch keine Lösung des Problems stattgefunden hat.

## 2. Erklärung

Bei der Erklärung werden Einflussfaktoren ermittelt und Theorien über Wirkungsmechanismen aufgestellt. Die bisherige Forschung in Deutschland konzentriert sich überwiegend auf die Beschreibung der sozioökonomischen Unterschiede. Es wurden jedoch auch einige Erklärungsansätze entwickelt, welche die Entstehung von sozialen Ungleichheiten zu veranschaulichen versuchen. Ca. 40–70% der Unterschiede in der Gesundheit sind durch ungünstige materielle Lebensbedingungen, gesundheitsrelevantes Verhalten und psychosoziale Faktoren bedingt (Hurrelmann & Richter 2009). Es gibt verschiedene Erklärungsansätze, welche die Beziehungen zwischen sozialer Ungleichheit und Gesundheit widerspiegeln. Fünf verbreitete Ansätze, sind in Tabelle 1 dargestellt. Den dargestellten Erklärungsmodellen fehlt<sup>7</sup> eine Kombination von zeitlichen und räumlichen Komponenten, sowie den komplexen Wechselwirkungen mit kleinräumigen Effekten. Kleinräumige Effekte bezeichnen den Einfluss von Merkmalen des kleinräumigen Kontextes (z.B. Luftverschmutzung, Unterversorgung mit Gesundheitsdiensten oder soziale Einflüsse der NachbarInnen auf die Gesundheit) unabhängig von den individuellen Merkmalen der Individuen (Voigtländer, Mielck et al. 2012). Die Ansätze beruhen überwiegend auf kompositionalen Effekten und dem Vorhandensein von Merkmalen individueller gesundheitlicher Belastung (z.B. demografische oder sozioökonomische Merkmale). Die kompositionalen und die kontextuellen Effekte sind nicht eindeutig voneinander abgrenzbar, sondern stehen in Wechselwirkung miteinander (Macintyre, Ellaway et al. 2002). Es gibt deutliche Unterschiede innerhalb der verschiedenen kleinräumigen Regionen, die nicht nur auf individuelle Faktoren, wie den sozioökonomischen Status, zurückzuführen sind, sondern vielmehr aus kleinräumigen Einflüssen resultieren (Breckenkamp, Mielck et al. 2007; Voigtländer, Berger et al. 2010a). Ein Erklärungsmodell, welches die kleinräumige soziale Umgebung akkurat einbezieht, sollte zum einen Wechselwirkungen zwischen der kleinräumigen sozialen Umgebung und der Gesundheit (mediert über das Gesundheitsverhalten) und zum anderen zeitliche und räumliche Komponenten beinhalten.

## 3. Reduzierung

Bei der Reduzierung werden auf Basis der ermittelten Einflussfaktoren und Mechanismen Interventionen entwickelt, welche die gesundheitlichen Ungleichheiten verringern sollen. Es fehlen jedoch Erklärungsmodelle, die insbesondere kleinräumige soziale Effekte einbeziehen.

---

<sup>7</sup>Ebenso wie weiteren Erklärungsmodellen in der Literatur.

Bei den Interventionen zur Reduzierung von gesundheitlichen Ungleichheiten mangelt es dementsprechend an der Berücksichtigung von sozialen Einflüssen. Um gesundheitliche Ungleichheiten dauerhaft zu reduzieren, müssen alle Aspekte (inklusive der sozialen Einflüsse) berücksichtigt werden. Das setzt ein Verständnis der Wirkung aller Aspekte voraus. Die drei Herausforderungen stehen in engem Zusammenhang und können als „Public Health Action Cycle“ (vgl. Abbildung 4) aufgefasst werden. Ausgehend von der Beschreibung der Situation erfolgt im nächsten Schritt die Analyse der Ursachen und Rahmenbedingungen gesundheitlicher Ungleichheiten. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse erfolgt die Entwicklung und Implementation von Maßnahmen. Anschließend werden die erfolgten Interventionen evaluiert und auf Basis der neu gewonnenen Erkenntnisse wird eine neue Situationsbeschreibung gestartet (Hurrelmann & Richter 2009; Richter & Hurrelmann 2009).

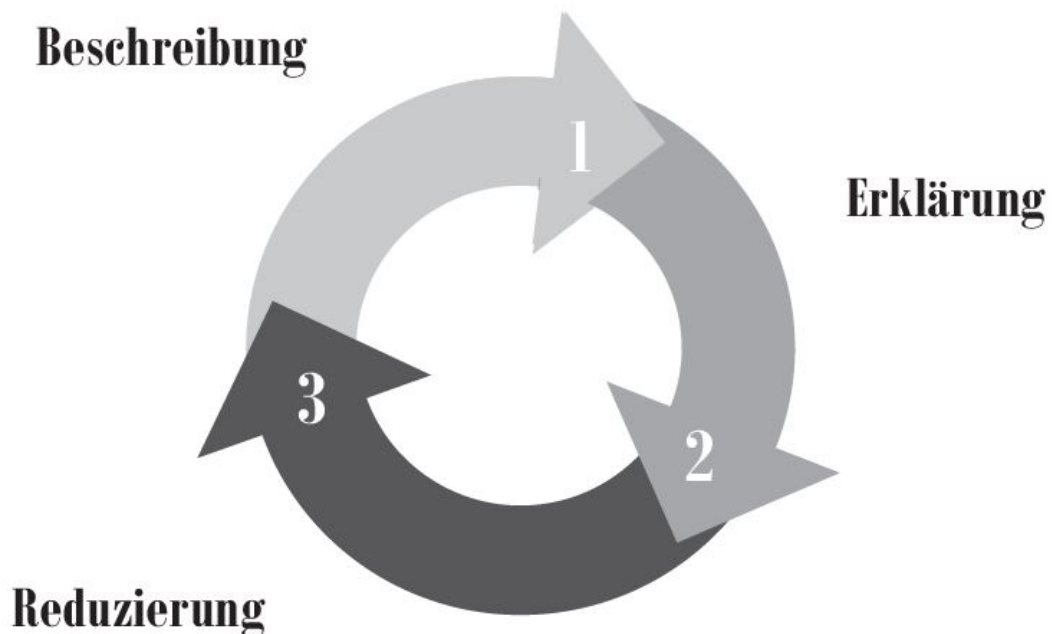


Abbildung 4: Der „Public Health Action Cycle“ für gesundheitliche Ungleichheiten (Hurrelmann & Richter 2009).

Tabelle 1: Erklärungsansätze für die Beziehung zwischen sozialer Ungleichheit und Gesundheit (Hurrelmann & Richter 2009; Richter & Hurrelmann 2009).

Erklärungsansatz	Beschreibung
Materiell	Individuelles Einkommen bestimmt die Exposition gegenüber gesundheitsschädlichen Einflüssen aus der Umwelt
Kulturell	Unterschiede in Überzeugungen, Normen und Werten erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass Individuen aus unteren sozioökonomischen Statusgruppen häufiger gesundheitsschädigendes Verhalten aufweisen
Psychosozial	Status, Kontrolle und soziale Unterstützung sowohl in der Arbeitswelt als auch im Privaten und auch die Balance zwischen beruflichem Aufwand und Belohnung beeinflussen die Gesundheit direkt über ihre Wirkung auf die Körperfunktionen oder indirekt über die Ausübung gesundheitsgefährdenden Verhaltens
Lebenslauf	Ereignisse und Prozesse, die vor der Geburt beginnen und sich in der Kindheit fortsetzen, beeinflussen die Gesundheit und die Fähigkeit Gesundheit zu erhalten. Gesundheit und soziale Lage beeinflussen sich dabei gegenseitig über die Zeit
Neo-materiell	Sowohl politische Prozesse als auch die Verteilung von Macht und Einfluss auf gesellschaftlicher Ebene beeinflussen die Beschaffung gesundheitsrelevanter Angebote, die Qualität der physikalischen Umwelt und die Qualität sozialer Beziehungen

## 2.2 Soziologie - Soziale Mechanismen

In diesem Kapitel werden, die für diese Arbeit relevanten Aspekte aus dem Forschungsbereich der Soziologie dargestellt. Für ein einheitliches Verständnis wird zuerst die Herkunft des Begriffes „Mechanismus“ erläutert und eine Definition von Mechanismen unabhängig vom wissenschaftlichen Forschungsbereich dargelegt. Anschließend werden soziale Mechanismen definiert und das Makro-Mikro-Makro-Modell von Coleman erläutert und auf kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten angepasst. Weiterhin wird eine Kategorisierung von kleinräumig auf gesundheitliche Ungleichheiten wirkenden Mechanismen vorgestellt. Basierend auf einer dieser Kategorien werden soziale Mechanismen zur Modellierung in dieser Arbeit ausgewählt.

### 2.2.1 Mechanismen

Mechanismen sind interdisziplinär und werden in fast allen Forschungsbereichen angewandt. Dabei gibt es zwischen den verschiedenen Bereichen unterschiedliche Definitionen.



Alle Definitionen haben den gleichen Ursprung. Der Begriff Mechanismus entwickelte sich im 17. Jahrhundert aus dem griechischen und lateinischen Wort für „Maschine“ (Dijksterhuis 1969). Damals hat René Descartes den Begriff erstmals zur Erklärung diverser natürlicher Phänomene, wie beispielsweise der Bewegung der Planeten, verwendet. Dabei hat er Mechanismen als erklärende Basis der physikalischen Welt verstanden (Dijksterhuis 1969). Diese historische Definition von Mechanismen wurde seitdem adaptiert und an die spezifischen Anforderungen einzelner wissenschaftlicher Fachrichtungen angepasst. Unabhängig davon besteht der moderne Mechanismus-Begriff aus vier wesentlichen Merkmalen (Craver & Tabery 2019):

1. Das **Phänomen** beschreibt das Ergebnis eines Mechanismus. Das gesamte Verhalten eines Mechanismus resultiert in dessen Phänomen.
2. Die **Bestandteile** eines Mechanismus führen durch Interaktionen zu dessen Phänomen. Dabei sollten die verschiedenen Bestandteile einzeln messbar sein und unabhängig vom Mechanismus bestehen.
3. Die **Kausalität** beschreibt, dass die einzelnen Bestandteile eines Mechanismus in logischen Interaktionen zueinander stehen und dementsprechend auch zu einem kausalen Ergebnis führen sollten.
4. Die **Organisation** besagt, dass Mechanismen einer räumlichen oder zeitlichen Abfolge unterliegen sollten.

Abbildung 5 ist eine visuelle Darstellung des modernen Mechanismus-Begriffs mit seinen vier wesentlichen Merkmalen. Dabei wird ein System (S) mit einem Verhalten ( $\Psi$ ) dargestellt. Auf der Projektionsebene agieren die einzelnen, kausalen Bestandteile des Mechanismus ( $X_s$ ) und ihre Ausprägungen bzw. Aktivitäten ( $\phi_s$ ). Sie bilden das Fundament des Mechanismus und resultieren in der mittleren Ebene, dem Verhalten des Systems ( $S\Psi$ ). Durch das Systemverhalten wird das Phänomen des Mechanismus auf der höchsten Ebene dargestellt. Die zeitliche Abfolge wird in der Abbildung durch die horizontalen Pfeile visualisiert.

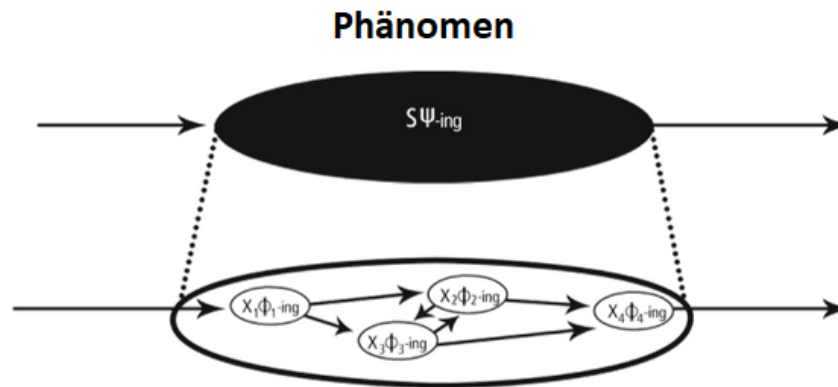


Abbildung 5: Visuelle Darstellung eines modernen Mechanismus (angelehnt an Craver & Tabery 2019).

### 2.2.2 Mechanismen in der Soziologie

Nachdem der Begriff „Mechanismus“ im Allgemeinen erklärt wurde, wird im folgenden in die grundlegenden Eigenschaften von sozialen Mechanismen und das Makro-Mikro-Makro-Modell von Coleman eingeführt.

„All theories are explanations of observable phenomena. Good explanations consist of two different kinds of elements: statements about causal relations, and statements about causal mechanisms.“ (Hechter & Horne 2003)

Dieses Zitat verdeutlicht, dass eine kausale Beziehung (Ergebnis  $X$  ist abhängig von Faktor  $Y$  und wenn  $Y$  geändert wird, hat dies Auswirkungen auf  $X$ ) nicht ausreichend zur Erklärung von sozialen Theorien ist. Durch Assoziationsanalysen kann nicht vollständig geklärt werden, warum und wie genau Faktor  $Y$  das Ergebnis  $X$  verändert. Mechanismen (Prozesse, wie Faktor  $Y$  zu Ergebnis  $X$  führen kann) können dazu beitragen, diese Fragen zu klären (Hechter & Horne 2003). Hedström und Swedberg haben vier Kernprinzipien für die Anwendung von Mechanismen in der Soziologie herausgearbeitet (Hedström & Swedberg 1998):

1. Aktion
2. Präzision
3. Abstraktion
4. Reduktion

Aktion bedeutet, dass bei einem sozialen Mechanismus<sup>8</sup> keine Faktoren, sondern Individuen im Fokus stehen. Ursachen und Konsequenzen von individuellen Aktionen sind am Verhalten von anderen Individuen orientiert. Präzision besteht, wenn die Erklärung durch den Mechanismus an ein bestimmtes Phänomen angepasst ist. Abstraktion besagt, dass irrelevante Faktoren eliminiert werden müssen, um den Mechanismus akkurat abbilden zu können. Reduktion führt dazu, dass durch den Mechanismus die Erklärungslücke zwischen Ursache und Ergebnis verringert werden kann.

Das Makro-Mikro-Makro-Modell von Coleman kann zur Erklärung sozialer Phänomene herangezogen werden. Das Modell liefert keine direkte Erklärung, sondern bietet ein Erklärungsschema an. Es kann, durch auf das zu untersuchende Problem bezogene Hypothesen, Annahmen und Theorien, auf beliebige soziale Phänomene angepasst werden (Prosch 2008). Im folgenden wird das Modell inklusive der drei im Modell enthaltenen unterschiedlichen Arten von Mechanismen erklärt. Das Makro-Mikro-Makro-Modell folgt vom Aufbau grundsätzlich den vier wesentlichen Merkmalen des erläuterten, modernen Mechanismusbegriffes und basiert auf der Annahme, dass sich individuelles Verhalten und Handeln aus einem sozialen Kontext ergibt, welcher in ein soziales Netzwerk eingebettet ist. In diesem Modell gibt es drei verschiedene Arten von sozialen Mechanismen, die in Abbildung 6 durch die drei nummerierten Pfeile dargestellt werden. Der erste Mechanismus (vgl. 1 in Abbildung 6) untersucht den Einfluss eines ausgewählten, sozialen Kontextes auf der Makroebene auf die Einstellung der Individuen auf der Mikroebene (situativer Mechanismus). Der zweite Mechanismus (aktionsformender Mechanismus, vgl. 2 in Abbildung 6) analysiert, wie bestimmte Einstellungen der Individuen zu bestimmtem Verhalten oder Handlungen führen können. Dieser Mechanismus agiert vollständig auf der Mikroebene (Bornmann 2010; Coleman 1986). Der transformierende Mechanismus (vgl. 3 in Abbildung 6) untersucht, wie die im Modell integrierten Individuen durch ihr Verhalten, ihre Handlungen und vorhandene Interaktionen auf der Mikroebene zu dem sozialen Phänomen des Modells auf der Makroebene führen können (Coleman 1986). In den ersten beiden Mechanismen ist ein einzelnes Individuum der/die Handelnde während im dritten Mechanismus mehrere Individuen einbezogen werden. Durch den Fokus der ersten beiden Mechanismen auf die einzelnen Individuen können diese Mechanismen empirisch gut analysiert werden, indem die Einstellung und das Verhalten der Individuen mittels Assoziationsanalysen (beispielsweise multipler Regressionen) analysiert wird.

---

<sup>8</sup>Ein sozialer Mechanismus beeinflusst meistens das individuelle Verhalten und kann aus dem kollektiven Verhalten mehrerer Individuen ein übergeordnetes, soziales Phänomen erzeugen.

Der dritte Mechanismus kann nicht durch Assoziationsanalysen untersucht werden. Der Übergang von der Mikro- zur Makroebene kann dynamische und eingekoppelte Elemente beinhalten und wird als komplexer Prozess aufgefasst, der durch Assoziationsanalysen nicht abgebildet werden kann (Hedström 2006).

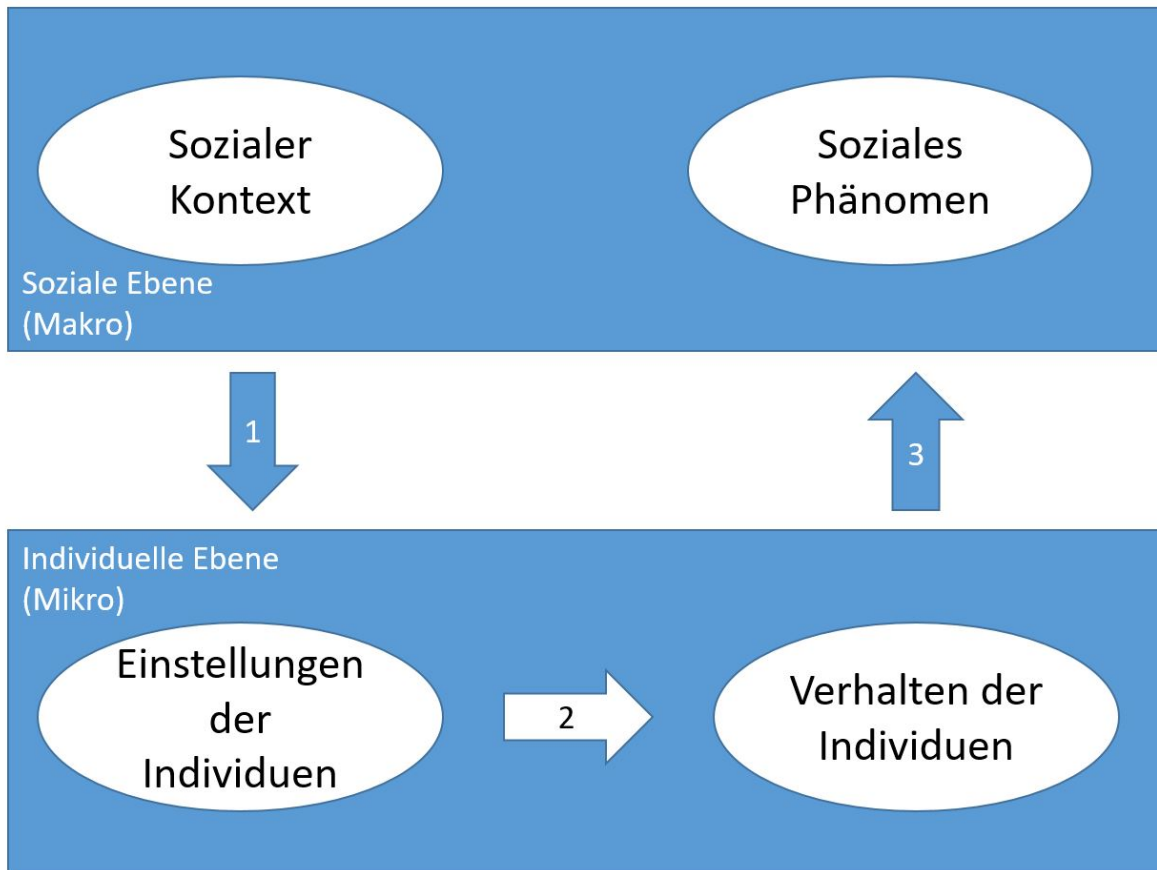


Abbildung 6: Visualisierung des Makro-Mikro-Makro-Modells (angelehnt an Coleman 1986).

Nachdem theoretisch in soziale Mechanismen eingeführt wurde, werden zwei, für diese Arbeit erarbeitete, mögliche Konzepte für soziale Mechanismen vorgestellt. Dafür werden in der Literatur Definitionen für soziale Mechanismen recherchiert. Die identifizierten Definitionen werden im Anhang A.1 dargestellt und basieren auf den vier Kernprinzipien für soziale Mechanismen. Die gefundenen Definitionen können als zwei verschiedene Konzepte von Mechanismen aufgefasst werden:

- Mehrebenenmechanismen
- Einebenenmechanismen

Beim Konzept der Mehrebenenmechanismen agieren die Mechanismen auf der individuellen (Mikro) Ebene und beeinflussen das Phänomen auf der sozialen (Makro) Ebene. Mehrebenenmechanismen folgen dem Prinzip des Makro-Mikro-Makro-Modells von Coleman (vgl. Abbildung 6). Beim Konzept der Einebenenmechanismen (vgl. Abbildung 7) agieren die Mechanismen ausschließlich auf der Mikroebene und sind durch ihre medierende Rolle gekennzeichnet. Dieses Konzept reflektiert die statistische Methode der sogenannten Pathway-Analyse. Dabei erklärt eine Annahme über einen kausalen Wirkungspfad zwischen den Faktoren wie unabhängige Faktoren das Ergebnis beeinflussen können. Durch die verschiedenen Ergebniszustände der Individuen kann schließlich auf das soziale Phänomen geschlussfolgert werden. Das soziale Phänomen entsteht dabei durch die Konkatenation von kausal verknüpften Faktoren (Gambetta 1998).

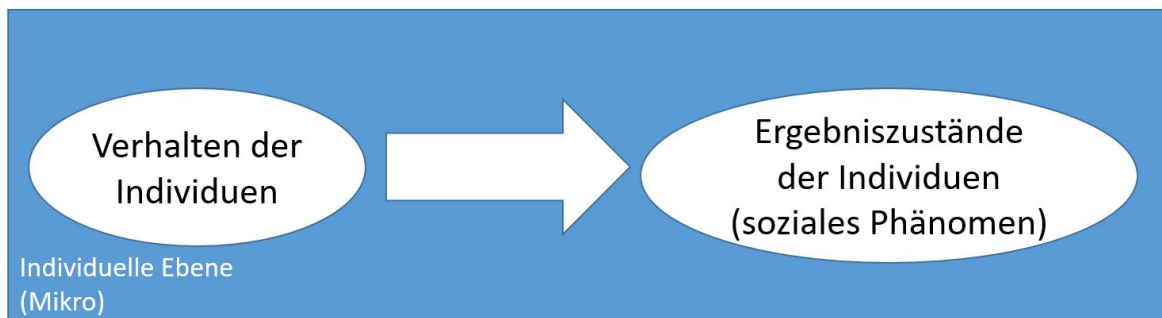


Abbildung 7: Visualisierung des Konzeptes des Einebenenmechanismus.

Diese beiden Konzepte für soziale Mechanismen werden, für diese Arbeit, an den Kontext der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten angepasst. Im Mehrebenenmodell (vgl. Abbildung 8) kann eine sozioökonomische Stratifizierung auf der kleinräumigen Ebene (K1) zu einem Wohnsitz in einer benachteiligten Wohngegend (I1) auf der individuellen Ebene führen. Die sozialen Mechanismen agieren auf der individuellen Ebene und können über eine benachteiligende Wohngegend (I1) zu einer schlechten Gesundheit führen (I2). Schlechte Gesundheit führt zu gesundheitlichen Ungleichheiten auf der kleinräumigen Ebene (K2), verglichen mit einem Wohnsitz in einer weniger benachteiligten Wohngegend. Die Entstehung der gesundheitlichen Ungleichheiten ist dabei einem Zeitverlauf unterworfen, was durch die Kennzeichnung der Zeitpunkte t1 und t2 in Abbildung 8 visualisiert wird. Andere für die Entstehung von gesundheitlichen Ungleichheiten relevante Mechanismen wirken direkt von der kleinräumigen Ebene auf die Gesundheit.

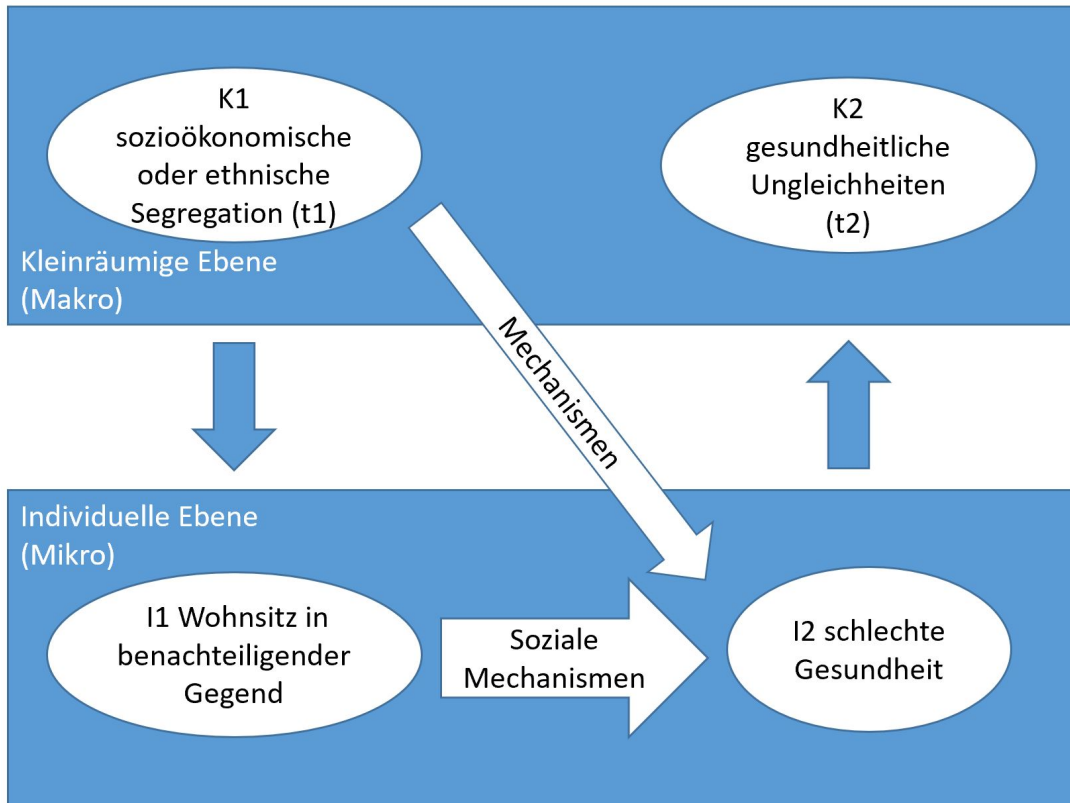


Abbildung 8: Visualisierung des Konzeptes des Mehrebenenmechanismus im Kontext von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten (angelehnt an Coleman 1986).

Beim Einebenenmechanismus führt ein Wohnsitz in einer benachteiligenden Gegend über den sozialen Mechanismus zu einer schlechten Gesundheit, was, verglichen mit der Gesundheit in anderen Wohngebieten, in gesundheitlichen Ungleichheiten resultieren kann (vgl. Abbildung 9).

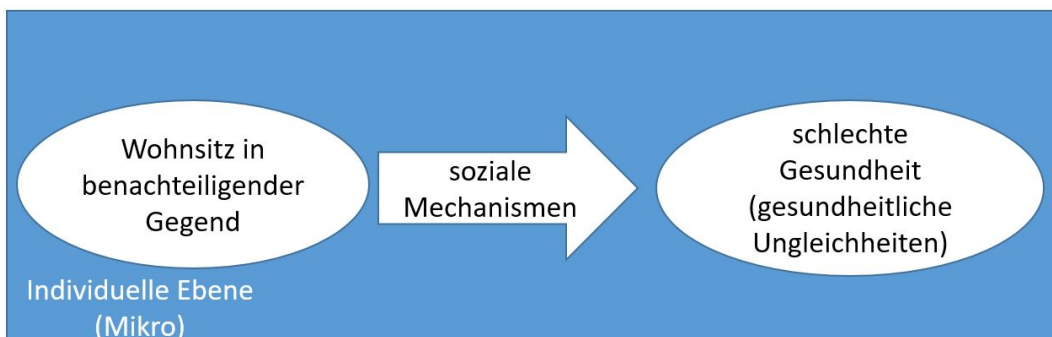


Abbildung 9: Visualisierung des Konzeptes des Einebenenmechanismus im Kontext von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten.

### 2.2.3 Typologie von kleinräumig auf gesundheitliche Ungleichheiten wirkenden Mechanismen

Nachdem Mechanismen definiert und die Konzepte von sozialen Mechanismen auf kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten angepasst wurden, wird im nächsten Abschnitt die Kategorisierung von Galster vorgestellt. Diese beschreibt den kleinräumigen Einfluss von möglichen Mechanismen auf die Gesundheit. Die Mechanismen können dabei in vier Kategorien aufgeteilt werden: Sozial-interaktive Mechanismen, umweltbedingte Mechanismen, geographische Mechanismen und institutionalisierte Mechanismen. Für die Entwicklung eines eigenen Modells zur Analyse von sozialen Mechanismen und deren Einfluss auf die Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten, werden Mechanismen aus der Kategorie „sozial-interaktive Mechanismen“ herangezogen. Im Anschluss an die Vorstellung der Kategorien wird die Auswahl der sozialen Mechanismen für diese Arbeit begründet. Für ein ganzheitliches Verständnis darüber, welche kleinräumigen Mechanismen aus den vier Kategorien gesundheitliche Ungleichheiten beeinflussen können, wird im folgenden ein Überblick über die vier Kategorien und die dazugehörigen Mechanismen gegeben (Galster 2012):

#### 1. Sozial-interaktive Mechanismen:

Diese Mechanismen betreffen sozialen Prozesse, die innerhalb einer Nachbarschaft ablaufen können. Galster hat verschiedene Mechanismen aus der Literatur herausgearbeitet, die auf der kleinräumigen Ebene agieren und einen Einfluss auf eine Verhaltensänderung haben können, wodurch sie die Gesundheit beeinflussen können.

- **Soziale Ansteckung:** Soziale Ansteckung ist die Verbreitung von Ideen, Einstellungen oder Verhaltensmustern in einer bestimmten Gruppe (z.B. NachbarInnen) durch Imitation und Anpassung (Coleman 1986).
- **Kollektive Sozialisierung:** Individuen können das Verhalten oder die Einstellungen von FreundInnen oder auch NachbarInnen adaptieren. Diese Anpassung geschieht überwiegend durch Rollenbilder in der Nachbarschaft oder durch sozialen Druck.
- **Soziale Netzwerke:** Interpersonale Kommunikationen von Informationen oder Ressourcen können Individuen beeinflussen. Dieses Informations- und Ressourcennetzwerk kann aus starken Bindungen (z.B. FreundInnen, Familie), schwachen Bindungen (z.B. NachbarInnen) oder aus beidem bestehen.

- **Sozialer Zusammenhalt:** Die Stärke oder Abwesenheit von sozialem Zusammenhalt innerhalb einer Nachbarschaft kann das individuelle Verhalten beeinflussen.
- **Wettbewerb:** Gruppen innerhalb der Nachbarschaft konkurrieren untereinander um bestimmte, limitierte, lokale Ressourcen. Der Zugang zu diesen Ressourcen kann vom Erfolg der eigenen Gruppe abhängen.
- **Relative Deprivation:** NachbarInnen mit sozioökonomischem Erfolg können für ihre benachteiligten NachbarInnen eine nützliche Ressource sein.
- **Elterliche Mediation:** Die Gesundheit der Eltern, deren Verhalten und Ressourcen können das Verhalten und die Einstellungen der Kinder nachhaltig prägen.

## 2. Umweltbedingte Mechanismen:

Die umweltbedingten Mechanismen beziehen sich sowohl auf natürliche als auch durch den Menschen geschaffene, kleinräumig auftretende Attribute der Umwelt, die nicht nur das Verhalten, sondern auch die Gesundheit direkt beeinflussen können.

- **Gewalteinwirkung:** Fühlt ein Individuum sich direkt (persönlich) oder indirekt (eigene Besitztümer) bedroht, kann das sowohl psychische als auch physische Konsequenzen auf die individuelle Gesundheit haben. Wenn ein Individuum in der Vergangenheit solche Erfahrungen erlebt hat, werden die negativen gesundheitlichen Auswirkungen von Gewalt verstärkt.
- **Physikalische Umgebung:** Die physikalische Umgebung kann psychologische und physische Effekte auf die Individuen haben. Zur physikalischen Umgebung zählt sowohl die bebaute Umgebung, wie beispielsweise öffentliche Infrastruktur, Abfall oder Graffiti, als auch Lärmbelastung.
- **Toxische Einflüsse:** Die Qualität von Luft, Erde und Wasser in der Nachbarschaft kann die Gesundheit der Individuen durch verschiedene toxische Belastungsgrade beeinflussen.

## 3. Geographische Mechanismen:

Geographische Mechanismen beschreiben, wie die geographische Lage einer Nachbarschaft auf den Lebensverlauf und damit einhergehend die Gesundheit von Individuen einwirken kann.



- **Räumliche Diskrepanz:** Eingeschränkter Zugang zu Arbeitsplätzen aufgrund von hoher räumlicher Distanz oder nicht ausreichend ausgebautem Verkehrsnetz kann dazu führen, dass keine den Fähigkeiten angemessene, berufliche Tätigkeit ausgeübt werden kann. Eventuelle Unzufriedenheiten und Unterqualifizierungen im Berufsalltag können Auswirkungen auf die Gesundheit der betroffenen Individuen haben.
- **Öffentliche Dienstleistungen:** Nachbarschaften, in denen mangelhafte öffentliche Dienstleistungen und Einrichtungen vorhanden sind, können einen Einfluss auf die persönliche Entwicklung und Bildung von Individuen haben und dadurch die Gesundheit beeinflussen.

#### 4. Institutionalisierte Mechanismen:

Institutionalisierte Mechanismen werden maßgeblich von wichtigen institutionalisierten Ressourcen außerhalb der Nachbarschaft gesteuert und können sowohl die Gesundheit als auch das Verhalten von Individuen beeinflussen.

- **Stigmatisierung:** Nachbarschaften und deren EinwohnerInnen können durch Stereotype stigmatisiert werden. Diese Stigmatisierung von EinwohnerInnen bestimmter Nachbarschaften kann durch Institutionen oder Privatpersonen geschehen. Dabei kann die Stigmatisierung unabhängig von den EinwohnerInnen sein und vielmehr auf der Geschichte der Nachbarschaft, den physikalischen Umweltbedingungen, der bebauten Umwelt oder den geographischen Begebenheiten basieren. Eine stigmatisierte Nachbarschaft kann dazu führen, dass Individuen eingeschränkte Möglichkeiten hinsichtlich ihres Berufes und ihres Selbstwertgefühles haben können.
- **Lokale institutionelle Ressourcen:** Einige Nachbarschaften können Zugang zu bestimmten Institutionen und Organisationen haben, was sich positiv auf die persönlichen Entwicklungen und die Gesundheit der Individuen auswirken kann. Ein Mangel an diesen Einrichtung kann den gegensätzlichen Effekt haben.
- **Lokale Märkte:** In einer Nachbarschaft können verschiedene lokale Märkte, wie beispielsweise Fast Food Restaurants, Bars etc. das Verhalten der Individuen und damit einhergehend die Gesundheit beeinflussen.

Die Auswahl der zu analysierenden, sozialen Mechanismen basiert auf der von Galster (Galster 2012) vorgeschlagenen Typologie für soziale Mechanismen<sup>9</sup>. Sie ergibt sich sowohl aus der Fokussierung auf kleinräumige Effekte (unmittelbare NachbarInnen), als auch der Annahme, dass soziale Mechanismen Prozesse sind. Von Galsters sozialen Mechanismen (*soziale Ansteckung, kollektive Sozialisierung, soziale Netzwerke, sozialer Zusammenhalt, Wettbewerb, relative Deprivation* und *elterliche Mediation*) können vier Mechanismen (*soziale Ansteckung, sozialer Zusammenhalt, soziale Netzwerke* und *kollektive Sozialisierung*) in Bezug auf Nachbarschaften analysiert werden. Die anderen drei Mechanismen beziehen sich entweder nicht explizit auf Nachbarschaften (*elterliche Mediation*) oder beinhalten nicht nur die unmittelbaren NachbarInnen, sondern vielmehr einen weiter gefassten Radius (*Wettbewerb, relative Deprivation*). Der Mechanismus *kollektive Sozialisierung* ähnelt vom Prinzip dem Mechanismus der *sozialen Ansteckung*. Für *kollektive Sozialisierung* wird mehr als nur die unmittelbare, kleinräumige Nachbarschaft herangezogen. *Soziale Ansteckung* dagegen wirkt kleinräumiger. *Soziale Ansteckung* stammt von dem lateinischen Wort „contagio“ ab, welches frei übersetzt „durch Berührung“ bedeutet (Marsden 1998). Die Verhaltensübernahme bei *sozialer Ansteckung* operiert in einer unmittelbaren, kleinräumigen Umgebung durch persönliche Kontakte. *Kollektive Sozialisierung* hingegen beschreibt das gleichförmige Verhalten von großen Gruppen, bei der auch eine Anonymität zur Verhaltensübernahme ausreichend sein kann. Das zeigt sich am Beispiel einer Menschengruppe an einer roten Ampel. Wenn eine genügend große Anzahl von Menschen über eine rote Ampel geht, folgen immer mehr Menschen diesem kollektiven Verhalten (Faria, Krause et al. 2010). Bei *sozialer Ansteckung* ist der Fokus auf die unmittelbare, kleinräumige Nachbarschaft gegeben und daher wird dieser Mechanismus in dieser Arbeit untersucht.

Soziale Netzwerke werden von Galster als Prozesse beschrieben (Galster 2012). Durch soziale Netzwerke bildet sich die individuelle soziale Struktur von Individuen aus. Durch diese sozialen Verbindungen mediiert, können soziale Mechanismen wirken. In dieser Arbeit werden soziale Netzwerke nicht in ihrer Rolle als Mechanismus sondern als Mediator für soziale Mechanismen aufgefasst. Das soziale Netzwerk kann dabei in starke und schwache Verbindungen eingeteilt werden. Starke Verbindungen beinhalten beispielsweise familiäre und freundschaftliche Verbindungen. Zu den schwachen Verbindungen zählen u.a. Verbindungen zu den NachbarInnen (Granovetter 1977).

---

<sup>9</sup>Hinsichtlich gesundheitlicher Ungleichheiten kann in der Literatur keine andere Typologie bzw. sinngemäß andere soziale Mechanismen identifiziert werden.

In dieser Arbeit wird das soziale Netzwerk ausschließlich über schwachen Verbindungen definiert, um die Komplexität der agentenbasierten Sozialsimulation gering zu halten und trotzdem die Forschungsfrage beantworten zu können. Diese schwachen Verbindungen können sich auf unterschiedliche Weise auf Individuen auswirken. Bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl wird ein Verhalten mit einer höheren Wahrscheinlichkeit übernommen als bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl (Baumeister & Leary 1995). Das Zusammengehörigkeitsgefühl kann über den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* ausgedrückt werden und wird in dieser Arbeit, zusätzlich zur *sozialen Ansteckung*, analysiert. In einer Mediationsanalyse konnte verifiziert werden, dass der *soziale Zusammenhalt* teilweise einen Effekt auf Gesundheit hat (Kress, Razum et al. noch unveröffentlicht). Die beiden sozialen Mechanismen *soziale Ansteckung* und *sozialer Zusammenhalt* werden in ihrer Rolle als soziale Prozesse in der Kausalkette zwischen Nachbarschaft, mediiert über das nachbarschaftliche soziale Netzwerk, und kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten untersucht.

## **2.3 Informatik - Agentenbasierte Sozialsimulationen**

In diesem Kapitel werden die notwendigen Grundlagen aus dem Forschungsbereich der Informatik dargestellt. Das Gebiet der agentenbasierten Sozialsimulationen ist ein relativ junger Forschungsbereich mit viel Potential, in dem die vorliegende Arbeit angesiedelt ist. Eine Möglichkeit der Veranschaulichung dieses Bereichs bezieht sich auf die drei wissenschaftlichen Themen, aus denen agentenbasierte Sozialsimulationen bestehen: Computergestützte Simulationen, agentenbasierte Simulationen und Sozialwissenschaften (vgl. Abbildung 10) (Davidsson 2002). Diese drei wissenschaftlichen Forschungsbereiche werden in diesem Kapitel nacheinander erläutert und anschließend die vier Schnittstellen der Forschungsbereiche erklärt. Zuerst wird ein grundlegendes Verständnis von Systemen, Modellbildung und allgemeinem Simulationsablauf auf dem Fachgebiet computergestützter Simulationen geschaffen. Weiterhin werden relevante Klassifikationen und Eigenschaften von computergestützten Simulationen erläutert (Kapitel 2.3.1). Anschließend werden agentenbasierte Simulationen, die computergestützte Simulationen, die für diese Arbeit verwendet werden, erklärt. Weiterhin wird ein Protokoll vorgestellt, das eine Standardisierung für agentenbasierte Simulationen darstellt und auch in dieser Arbeit Anwendung findet (Kapitel 2.3.2). Anschließend werden die Sozialwissenschaften und die Schnittstellen der Forschungsbereiche in Kapitel 2.3.4 dargestellt.

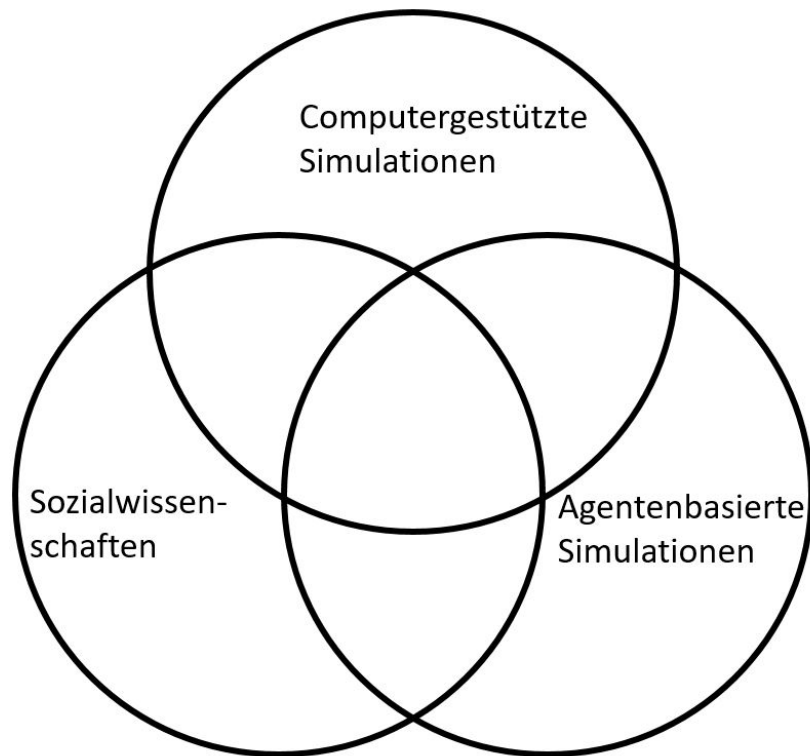


Abbildung 10: Forschungsbereiche der agentenbasierten Sozialsimulation (angelehnt an Davidsson 2002).

### 2.3.1 Computergestützte Simulationen

Der Begriff „computer simulation“ bezeichnet ein in Wissenschaft und Praxis etabliertes Vorgehen, um reale Systeme in einem Modell abzubilden und anschließend Experimente an diesem durchzuführen, um das Verhalten des Systems zu analysieren oder verschiedene Vorgehensweisen zu testen. Die Ergebnisse einer computergestützten Simulation lassen Rückschlüsse auf die Realität zu (Shannon 1998; Heermann 1990).

Ein System (altgriechisch: aus mehreren Einzelteilen zusammengesetztes Ganzes) ist eine Menge von geordneten Elementen, die durch Interaktionen miteinander verbunden sind. Dabei ist ein Element ein kleinstmöglicher Bestandteil eines Systems (Hügli & Lübcke 1991). Durch ein System können die Verknüpfungen von verschiedenen Elementen und Relationen sowohl zwischen diesen Elementen, als auch der Umgebung beschrieben werden. Weiterhin gehören auch die Verhaltensweisen der Elemente zu einem System.

Computergestützte Simulationen wurden in der Wissenschaft erstmals in der zweiten Hälfte der 1950er Jahre erwähnt (Harbordt 1974). Seitdem steigt ihre Popularität und Verbreitung.

Das liegt hauptsächlich an der großen Anzahl an Verwendungsmöglichkeiten in fast allen Anwendungsgebieten. Computergestützte Simulationen können u.a. folgende Zwecke erfüllen (Harbordt 1974):

- Beschreibung eines Systems,
- Einblicke in die Struktur und das Verhalten eines Systems,
- Explikationen von Theorien,
- Synthese von empirischen und/oder theoretischen Teilkenntnissen,
- Erklärung von Prozessen,
- Untersuchung der Konsequenzen von Entscheidungsalternativen,
- Optimierung von Prozessen,
- Umgestaltung bestehender oder Entwurf neuer Systeme und Wissensvermittlung und
- Trainings- oder Ausbildungszwecke.

Ein weiterer Grund für die Zunahme von computergestützten Simulationen lässt sich im Fortschritt der Informationstechnologie begründen. Zum einen wird die Rechenleistung immer günstiger und zum anderen gibt es eine große Menge von Daten, die analysiert oder verwendet werden können (Bossel 2013).

Die Basis jeder computergestützten Simulation ist ein Modell, das die Eigenschaften des zu simulierenden Systems abbildet (Krüger 1975). Ein Modell ist eine zielgerichtete Darstellung eines realen Systems (Starfield, Smith et al. 1990). Vier Merkmale von Modellen sind essentiell für computergestützte Simulationen (Harbordt 1974):

1. Die grundlegende Funktion eines Modells ist die Abbildung eines wirklichen oder gedachten Objekts.
2. Das Objekt wird vereinfacht dargestellt. Dabei werden nur die Elemente berücksichtigt, die für die gewünschte Erkenntnisgewinnung erforderlich sind.
3. Die Bildung eines Modells geht immer mit einer Reduktion an Komplexität einher.
4. Ein Modell kann als System betrachtet werden.

Ein Modell gibt das reale System durch eine Menge von Variablen und Parametern wieder, welche durch Daten zur näheren Bestimmung und durch Relationen zwischen den Variablen gekennzeichnet sind. Wenn die erforderlichen theoretischen Annahmen oder die empirischen Daten nicht zur Verfügung stehen, können die Annahmen durch Hypothesen und die empirischen Daten durch fiktive oder geschätzte Daten ersetzt werden. Das Modell wird nach der Formulierung in eine mathematische Sprache übertragen, um anschließend in einer Programmiersprache ausgeführt zu werden (Harbordt 1974; Pawlaszczyk 2010). Modelle haben die Aufgabe Probleme zu lösen oder Fragen über ein System zu beantworten. Insbesondere die Wissenschaft hat den Anspruch, zu verstehen, wie genau beobachtete Phänomene entstehen können und welche einzelnen Elemente in welcher Kombination oder Interaktion zusammenwirken (Railsback & Grimm 2019). Für computergestützte Simulationen wird ein vereinfachtes Modell der Realität erstellt. Hierbei wird ein Abstraktionsgrad von der Realität gewählt, der ausreichend ist, um die Absicht des Modellierenden zu erfüllen (Krüger 1975). Eine Abstraktion von der Realität ist notwendig, weil es nicht in allen Fällen möglich ist, Abläufe in der Realität zu analysieren. Gründe dafür sind, dass das System zu komplex ist oder sich zu langsam entwickelt, die Abläufe nicht vollständig bekannt sind oder die Durchführung in der Realität zu gefährlich für Mensch, Material oder Umwelt sind. Ein Beispiel für fiktive Systeme sind computergestützte Simulationen zum Testen der Statik von noch nicht gebauten Hochhäusern. Ein experimenteller Bau von unausgereiften Gebäuden würde ein untragbares Risiko für die auf der Baustelle arbeitenden Menschen, ggf. hohe Kosten und Zeitverlust für die Baufirma bedeuten. Weiterhin gibt es Systeme, bei denen die Abläufe nicht beobachtbar sind, weil sie zu schnell (z.B. Teilchen mit Lichtgeschwindigkeit), zu langsam (z.B. Faltung eines Gebirges), zu groß (z.B. Bewegungen von Sonnensystemen) oder zu klein (z.B. Mechanismen auf der molekularen Ebene) sind. Computergestützte Simulationen können in diesen Fällen mittels vorhandener Informationen über die Systeme durchgeführt werden und ermöglichen die Beobachtung der simulierten Ergebnisse (Sauerbier 1999). Das Ziel einer computergestützten Simulation ist, das Verständnis über komplexe Systeme zu verbessern und Erkenntnisse über das Verhalten eines Systems zu erhalten (Heermann 1990). Die Komplexität eines Systems wird durch den Grad der Verflechtung zwischen den vorhandenen Elementen definiert und beschreibt die konkrete Anzahl an Relationen. Die Kompliziertheit einer computergestützten Simulation gibt die Anzahl an unterschiedlichen Relationen und Eigenschaften eines Elementes wieder (Krüger 1975).

In Abbildung 11 ist eine Übersicht über die Abstraktion der realen Welt auf ein Modell, welches für computergestützte Simulationen notwendig ist, dargestellt. Dabei wird verdeutlicht, wie die Abstraktion von und die Übertragung auf die Realität abläuft.

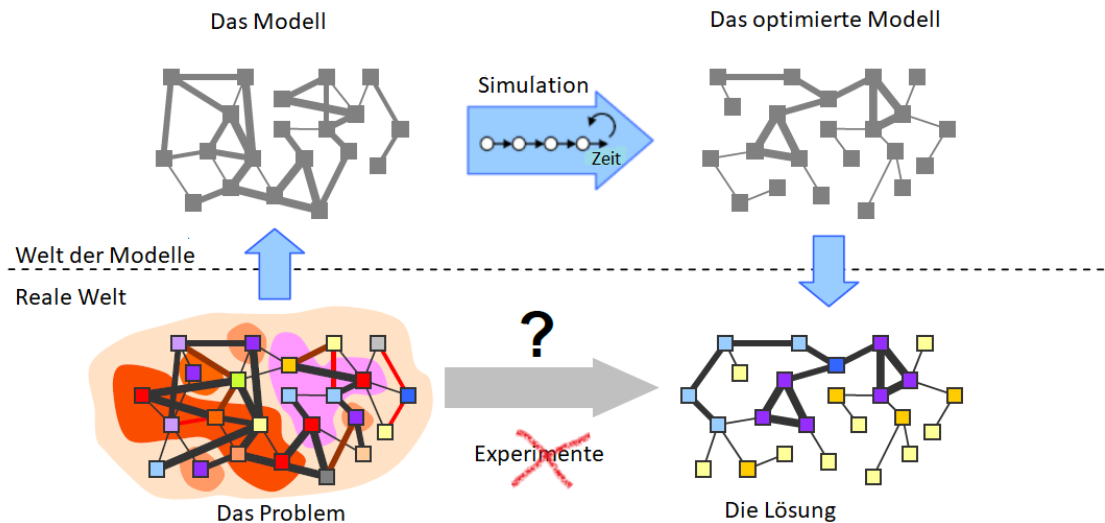


Abbildung 11: Darstellung der Abstraktion von der Realität auf ein Modell bei computergestützten Simulationen (angelehnt an Borshchev & Filippov 2004).

Der Ablauf von computergestützten Simulationen kann als sogenannter „modeling cycle“ dargestellt werden (vgl. Abbildung 12). Dieser Zyklus ist iterativ und wird im Laufe der Entwicklung einer computergestützten Simulation solange durchlaufen, bis das Modell fertiggestellt ist. Der erste Schritt eines Simulationsprozesses besteht aus der Analyse des zu simulierenden Systems und der Zielformulierung der geplanten Simulation (vgl. 1 in Abbildung 12). Wie erklärt, muss bei einer Simulation eine vereinfachte Abstraktion der Realität gewählt werden, weil eine Modellierung des gesamten Systems zu aufwendig und nicht zielführend wäre. Aus diesem Grund wird bei der Zielformulierung das Modell auf die für den zu untersuchenden Aspekt relevanten Elemente eingeschränkt. Im zweiten Schritt (vgl. 2 in Abbildung 12) werden die Hypothesen für die essentiellen Strukturen und Prozesse zusammengestellt bzw. angepasst.

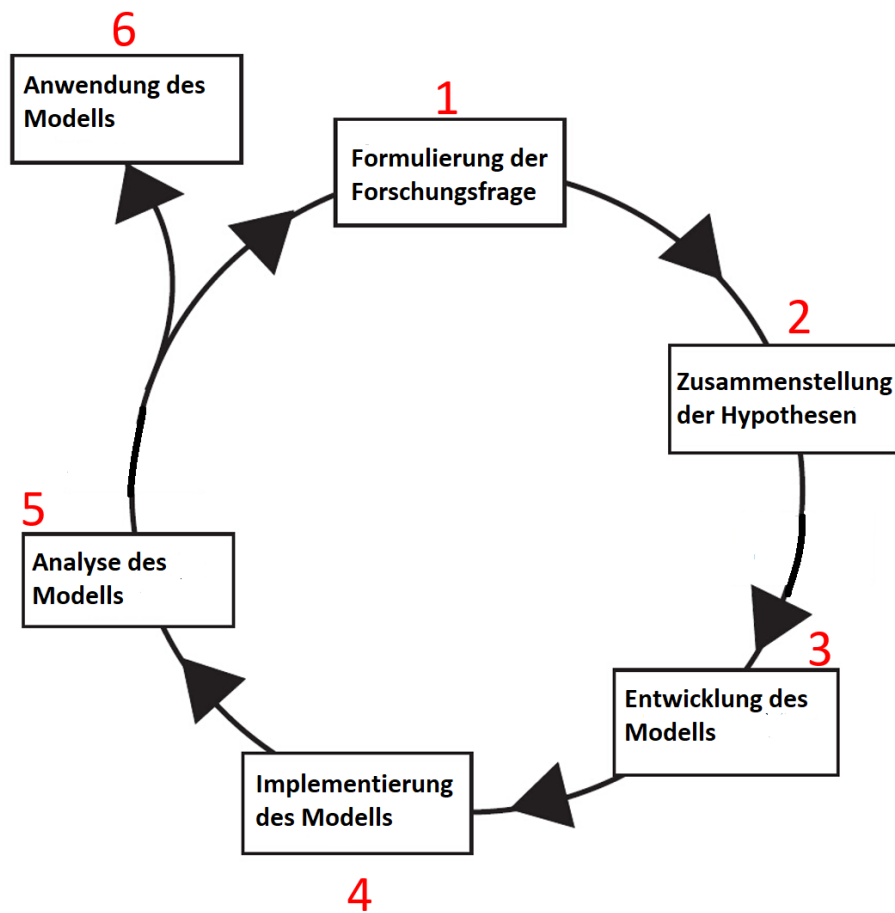


Abbildung 12: Schematische Darstellung eines Simulationszyklus (angelehnt an Railsback & Grimm 2019).

Im dritten Schritt (vgl. 3 in Abbildung 12) wird das Modell auf Basis des Systems, der vorausgegangenen Formulierung des Modellierungsziels und der Simulationsabsicht entwickelt. Dabei findet eine Auswahl und Definition der Eingabevariablen (Stellgrößen) statt, durch die das Modell spezifiziert werden kann. Dafür ist es notwendig, dass alle Elemente, Relationen und Verhaltensweisen in Abhängigkeit zu den Stellgrößen abgebildet werden. Zusätzlich zu den Stellgrößen ist auch eine Definition der Ausgabedaten (Messgrößen) erforderlich, die durch die Verarbeitung der Stellgrößen im Modell erzeugt werden. Im vierten Schritt (vgl. 4 in Abbildung 12) wird das Modell zuerst in eine mathematische und anschließend in eine Programmiersprache übersetzt. Dafür müssen zunächst die notwendigen, meist empirischen, Daten beschafft oder generiert und so aufbereitet werden, dass sie in das Modell integriert werden können. Weiterhin müssen Stellgrößen, die ein theoretisches Konstrukt darstellen durch eine Operationalisierung quantifiziert werden.



Neben der Eingabe für die Stellgrößen können die Daten konkrete Ausprägungen der Elemente, Relationen und Verhaltensweisen beinhalten, die erforderlich sind, um im nächsten Schritt Experimente auf Basis des Modells durchzuführen. Mit Beginn des fünften Schritts (vgl. 5 in Abbildung 12) ist die Phase des Simulationsprozesses erreicht, in der das Modell zur im Voraus definierten Absicht eingesetzt werden kann. Ab dieser Stelle beginnt der Zyklus von vorne mit der Formulierung der Forschungsfrage, basierend auf den neuen Erkenntnissen. Bei jedem Zyklus wird ein Experiment durchgeführt und im nächsten Schritt, auf Basis der durch die Durchführung ermittelten Messgrößen, analysiert. Entsprechen die Ergebnisse der Absicht der modellierenden Person, wird der Zyklus durchbrochen und die gewonnenen Erkenntnisse können u.a. verwendet werden, um sie in der Praxis an einem realen System zu testen (vgl. 6 in Abbildung 12). Im entgegengesetzten Fall, wenn die Ergebnisse nicht der Absicht der durchführenden Person entsprechen, müssen die Stellgrößen des Experiments verändert und ein neues Experiment gestartet werden. Bei Experimenten mit computergestützten Simulationen sind ausschließlich die Stellgrößen innerhalb des Experiments ausschlaggebend. Äußere Faktoren, abgesehen vom der modellierenden Person, können das Experiment nicht beeinflussen (Harbordt 1974; Railsback & Grimm 2019; Bossel 2013). Bei computergestützten Simulationen gibt es verschiedene Möglichkeiten zu experimentieren. Generell besteht ein Modellexperiment darin, Veränderungen am Modell oder dessen Stellgrößen vorzunehmen und den Einfluss auf die Messgröße zu analysieren. Dabei können vier verschiedene Bereiche verändert werden (Harbordt 1974; Bossel 2013):

1. Anfangszustand des Systems
2. Werte der Einflüsse der Umgebung des abgebildeten Systems
3. Parameterwerte
4. Zusammensetzung und Form der Relationen

Experimente im Zusammenhang mit computergestützten Simulationen können anhand der konkreten Absichten (der Zweckmäßigkeit) in drei unterschiedliche Kategorien eingeteilt werden (Harbordt 1974):

1. **Erkundungsexperimente:** Bei einem Erkundungsexperiment werden bestimmte Stellgrößen verändert, ohne Kenntnisse darüber, wie das Endergebnis aussehen könnte. Diese Art von Experiment besitzt ausschließlich einen explorativen Charakter und wird beispielsweise durchgeführt, wenn der Zusammenhang zwischen Stell- und Messgröße vollkommen unbekannt ist.

2. **Optimierungsexperimente:** Bei einem Optimierungsexperiment wird ein Ergebnis angestrebt, bei dem eine Messgröße einen minimalen oder maximalen Wert annimmt. Das Ziel ist dabei, eine Variation der Stellgrößen, bis eine Kombination der Stellgrößen gefunden wurde, bei denen das gewünschte Optimum erreicht werden konnte.
3. **Zielzustandsexperimente:** Bei einem Zielzustandsexperiment ist, wie beim Optimierungsexperiment, das Ergebnis vorgegeben und es wird eine dementsprechende Stellgrößenkombination gesucht. Im Unterschied zu den Optimierungsexperimenten werden jedoch keine minimalen oder maximalen Werte angestrebt, sondern eine korrekte Ausprägung der Messgrößen.

Neben der Einteilung in die Zweckmäßigkeit von computergestützten Simulationen, können diese auch in ihren Aufbau unterteilt werden. Anhand dieser Aspekte kann abgeschätzt werden, welche computergestützte Simulation angewandt werden sollte. Die wichtigsten vier Unterscheidungen sind nachfolgend dargestellt (Harbordt 1974; Bossel 2013; Law & Kelton 2000; Borshchev & Filippov 2004; Winsberg 2019):

1. **Dynamik:** Statische Modelle beziehen sich auf einen Zeitpunkt oder eine Zeitperiode. Abhängigkeiten von der Zeit bleiben unberücksichtigt. Auch in den Relationen der Variablen beziehen sich alle Variablen auf die gleiche Zeitebene.  
Dynamische Modelle sind auf mehrere Zeitpunkte oder Zeitperioden bezogen. Variablen nutzen verschiedene Zeiten und analysieren Abläufe (Prozesse). Beispielsweise kann eine abhängige Variable von einer unabhängigen Variable mit einer zeitlichen Verzögerung bestimmt werden. Enthält ein Modell mindestens eine verzögerte Variable, ist es dynamisch.
2. **Determiniertheit:** Deterministische Modelle führen, bei identischen Eingabewerten, immer zu den gleichen Endergebnissen. Die Beziehungen zwischen den Variablen sind eindeutig festgelegt und folglich ist jeder Zustand aus dem vorherigen ableitbar. Indeterministische oder stochastische Modelle können bei identischen Eingabewerten zu unterschiedlichen Endergebnissen führen.
3. **Linearität:** Kontinuierliche Modelle bilden stetige Prozesse ab. Die Werte der Zustandsvariablen ändern sich kontinuierlich. Ihre eventuellen Abhängigkeiten untereinander und zur Simulationszeit lassen sich durch Differentialgleichungen beschreiben.

Kontinuierliche Simulationen kommen oftmals bei Experimenten zu physikalischen oder chemischen Prozessen zum Einsatz.

Diskrete Modelle ändern die Werte der Zustandsvariablen entweder durch das Eintreten eines Ereignisses (ereignisdiskret) oder in konstanten Zeitintervallen (zeitdiskret). Diese Art der computergestützten Simulationen wird u.a. bei Produktions- und Logistikprozessen eingesetzt.

4. **Modellebenen:** Es wird zwischen Makro-, Mikro- und Mehrebenenmodellen unterschieden. Dafür ist relevant, wie die Objekte im Modell abgebildet werden. Wenn alle Objekte der Simulation zu einem Objekt zusammengefasst werden, ist es ein Makromodell (alle relevanten Eigenschaften sind in einem Element vorhanden). Mikromodelle bestehen aus mehreren Objekten. Die Elemente sind mit ihren Relationen voneinander getrennt modelliert. Mikromodelle werden in den Sozialwissenschaften auch individuenbasierte Modelle (Klügl 2001) genannt und damit klar von den Makromodellen auf der Populationsebene abgrenzt (Troitzsch 2013). Mehrebenenmodelle sind eine Mischform aus Mikro- und Makromodellen.

Die in dieser Arbeit verwendeten computergestützten Simulationen sind dynamisch, stochastisch, diskret und Mehrebenenmodelle. Im nächsten Kapitel wird auf Besonderheiten und Eigenschaften von agentenbasierten Simulationen eingegangen.

### 2.3.2 Agentenbasierte Simulationen

Agentenbasierte Simulationen, auch individuenbasierte Simulationen genannt, stammen ursprünglich aus dem Gebiet der künstlichen Intelligenz und haben seit den 1990er Jahren aufgrund des erhöhten Bedarfs an autonomen Computerprogrammen stark an Bedeutung gewonnen (Jennings 2000). Der agentenbasierte Ansatz wird überwiegend in Situationen eingesetzt, bei denen die Umwelt konstanten Veränderungen ausgesetzt ist oder bei denen menschliche Interaktionen simuliert werden sollen (Wooldridge 1998; Klügl 2001). Agentenbasierte Simulationen können individuelle Elemente und deren Verhalten in einem System darstellen. Im Gegensatz zu anderen computergestützten Simulationen wird ein System nicht nur durch Variablen beschrieben, sondern durch Agenten<sup>10</sup> (Railsback & Grimm 2019). Agentenbasierte Simulationen bestehen aus einer definierten Umgebung und Softwareagenten.

---

<sup>10</sup>In agentenbasierten Simulationen müssen Agenten nicht unbedingt Individuen repräsentieren. Das Geschlecht von Agenten muss ebenso nicht zwangsläufig berücksichtigt werden. Daher wird der Begriff „Agent“ in dieser Arbeit geschlechtslos aufgefasst und ausschließlich in der männlichen Form verwendet.

Diese Agenten sind aktive Elemente des Modells, befinden sich in der Umgebung und können mit der Umgebung und anderen Agenten interagieren (Wooldridge 2009). Agenten können dabei beliebige Elemente eines Systems sein, wie beispielsweise Institutionen, Menschen oder Organismen (Railsback & Grimm 2019). Kerneigenschaften von Agenten sind (Wooldridge 1998; Wooldridge 1997; Railsback & Grimm 2019):

- **Selbstständigkeit:** Jeder Agent handelt selbständig und benötigt kein Eingreifen des Menschen. Dazu besitzt ein Agent ein sogenanntes Agentenprogramm, das herangezogen wird, um die nächste Aktion auszuführen.
- **Reaktionsfähigkeit:** Durch Sensoren können Agenten ihre physikalische oder virtuelle Umwelt wahrnehmen. In Abhängigkeit von der wahrgenommenen Umwelt, kann der Agent durch seine Aktuatoren reagieren und mögliche Aktionen ausführen. Wenn ein Teil der Umwelt verändert wird, kann dies zu einer neuen Wahrnehmung und/oder einer Verhaltensänderung führen.
- **Einzigartigkeit:** Agenten unterscheiden sich voneinander und können in bestimmten Charakteristika, wie beispielsweise Lokalisation, Größe oder Ressourcen, variieren.

Ein Agent besteht aus Sensoren, mit denen er die Umwelt wahrnehmen kann, einem inneren Kern, mit dem der Agent auf Basis der Wahrnehmung Entscheidungen über die nächste Aktion treffen kann und aus Aktuatoren, mit denen er die Umwelt beeinflussen kann (vgl. Abbildung 13). Der innere Kern (in Abbildung 13 mit roter Schraffur) beschreibt das Agentenprogramm (Russell & Norvig 2012). Agenten weisen in den meisten Fällen ein adaptives Verhalten auf. Das bedeutet, dass sie ihr Verhalten gemäß ihres Agentenprogramms ändern können. Das Programm kann beispielsweise beinhalten, dass eine Verhaltensadjustierung aufgrund ihres eigenen Zustandes, des Zustandes ihrer NachbarInnen oder der Umwelt stattfindet (Railsback & Grimm 2019). Der Agent bildet inklusive seines Programms, seinen Sensoren und Aktuatoren die Mikroebene von agentenbasierten Simulationen. Die Makroebene bezeichnet das Zusammenspiel eines Agenten mit anderen Agenten durch eine Kommunikationsstruktur. Durch diese Interaktionen können Kooperationen, soziales Verhalten oder andere Phänomene auf der Makroebene erzeugt werden (Wooldridge 1998).

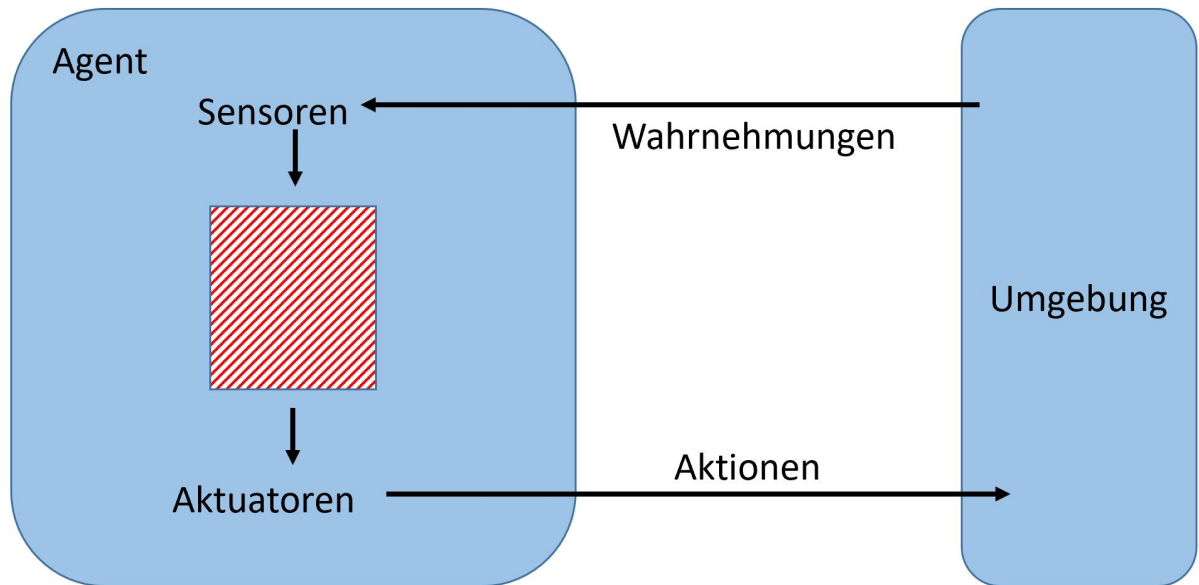


Abbildung 13: Aufbau eines Agenten mit Schnittstellen zur Umgebung (angelehnt an Russell & Norvig 2012).

Hierdurch können komplexe Phänomene und dynamische Wechselwirkungen abgebildet und analysiert werden. Mittels agentenbasierter Simulationen werden oft Prozesse untersucht, deren Relevanz bekannt ist, die aber zu komplex für andere Analysemethoden sind. Wird mehr als ein Agent in einer Simulation eingesetzt, handelt es sich bei dem entwickelten System um ein Multi-Agenten-System (Jennings 2000).

In Abbildung 14 ist das Prinzip von agentenbasierten Simulationen dargestellt. Wie bei allgemeinen computergestützten Simulationen wird von der realen Welt abstrahiert und die Rückschlüsse werden wieder auf die Realität übertragen.

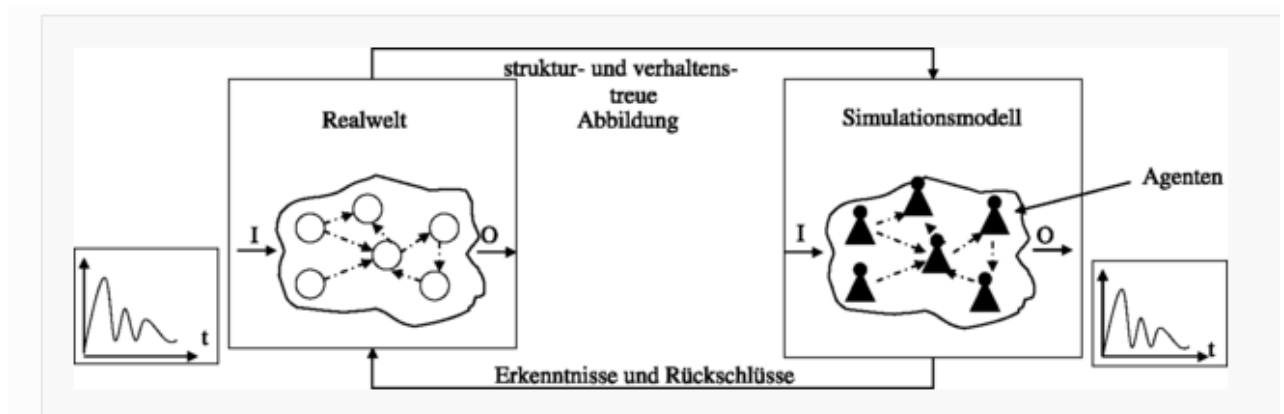


Abbildung 14: Aufbau von agentenbasierten Simulationen (Pawlaszczyk 2010).

Bei agentenbasierten Simulationen werden die Elemente im Modell durch Agenten realisiert, die in einer Interaktion zueinander stehen und unabhängig voneinander interagieren. Dahingegen nutzen nicht agentenbasierte Simulationen Variablen, um das System darzustellen. Diese sind die in der Regel nicht unabhängig voneinander.

Die Popularität von agentenbasierten Simulationen hat zu einer Vielzahl von Software- und Programmbibliotheken für unterschiedlichste Anwendungszwecke geführt. Beispiele für kommerzielle Software sind Siemens Plant Simulation (Oppelt, Drumm et al. 2013), Incontrol Enterprise Dynamics (Middelkoop & Bouwman 2001) und AnyLogic (Karpov 2004). Sie bieten Möglichkeiten zur grafischen Modellierung, Ausführung und Auswertung agentenbasierter Simulationsexperimente. Weiterhin gibt es auch viele freie Projekte, z.B. NetLogo (Tisue & Wilensky 2004), JADE (Bellifemine, Poggi et al. 1999), MASON (Lutke, Cioffi-Revilla et al. 2005), Repast (Collier 2003), SimPy (Matloff 2008) oder Tortuga (Pawlewski, Golinska et al. 2012). Es handelt sich bei diesen oftmals nicht um komplette Programme, sondern um Programmbibliotheken, die nach einem Baukastensystem in eigene Simulationsprojekte eingebunden werden können. Die Modellierung muss anschließend in der jeweiligen Programmiersprache erfolgen (überwiegend Java, C, C++). Generell können auch unabhängig von den vorhandenen Programmen, Frameworks und Programmbibliotheken agentenbasierte Simulationen in beliebigen Programmiersprachen entwickelt werden.

Nachdem die Grundlagen agentenbasierter Simulationen vorgestellt wurden, wird im folgenden eine Möglichkeit der Dokumentation von diesen dargestellt. *Overview, Design concepts, and Details* (ODD) ist ein Standardprotokoll zur Beschreibung von agentenbasierten Simulationen und wurde im Jahr 2006 von Grimm, Berger, Bastiansen et al. veröffentlicht (Grimm, Berger, Bastiansen et al. 2006). Bei der Erstellung agentenbasierter Simulationen gibt es viele verschiedene Elemente, Relationen und weitere Charakteristika. Um einen Überblick über die komplexen Zusammenhänge und deren Durchführung zu bekommen bzw. zu behalten ist eine übersichtliche Dokumentation über den gesamten Simulationsprozess notwendig. Eine solche Übersicht sollte alle notwendigen Informationen über die agentenbasierte Simulation enthalten und ein schnelles und einfaches Verständnis fördern (Grimm, Polhill et al. 2017; Railsback & Grimm 2019). Das ODD-Protokoll ist in die drei Hauptkategorien Überblick, Designkonzepte und Details mit Unterpunkten eingeteilt. Zunächst wird eine Übersicht über die einzelnen Bestandteile des Protokolls dargestellt und im Anschluss werden diese separat erläutert (Grimm, Berger, DeAngelis et al. 2010; Grimm, Polhill et al. 2017):

- Übersicht
  1. Zweckmäßigkeit
  2. Elemente, Zustandsvariablen und Dimension
  3. Prozessübersicht und Terminierung der Prozesse

- Designkonzepte

4. Designkonzepte
  - Grundlegende Prinzipien
  - Emergenz
  - Adaption
  - Ziel
  - Lernen
  - Vorhersage
  - Wahrnehmung
  - Interaktion
  - Stochastik
  - Kollektiv
  - Beobachtung

- Details

5. Initialisierung
6. Inputdaten
7. Submodelle

1. **Zweckmäßigkeit:**

Im ersten Element des ODD-Protokolls geht es um eine klare und präzise formulierte Zielsetzung der geplanten, agentenbasierten Simulation. Dazu zählen neben dem Simulationsziel auch das System, welches als Modell abstrahiert werden soll (Grimm, Berger, Bastiansen et al. 2006; Grimm, Berger, DeAngelis et al. 2010).

## 2. Elemente, Zustandsvariablen und Dimension:

Hier wird ein erster Überblick über das Modell gegeben. Dabei wird festgelegt, welche Elemente aus dem realen System, im Modell dargestellt werden und welche Variablen genutzt werden sollen, um diese zu beschreiben. In den meisten agentenbasierten Simulationen gibt es als Elemente mindestens eine Art von Agenten, die Umgebung in der die Agenten existieren und interagieren (lokale Einheiten oder Rasterposition) und die globale Umgebung, die alle Agenten betrifft. Jedes Element wird durch Zustandsvariablen beschrieben. Der Zustand eines Agenten wird durch seine Attribute (z.B. Alter, Hunger, Größe oder Geschlecht) und seine Verhaltensstrategie (z.B. Nahrungssuche) dargestellt. Wenn sich eine Zustandsvariable zwischen den Agenten unterscheidet aber nicht veränderbar ist, wird sie als statisch bezeichnet (z.B. eine Tierart). Die räumliche Umgebung der Agenten kann als Zellen in einem Gitterraster dargestellt werden. Jede Zelle wird dabei als eine räumliche Einheit gesehen, die durch eigene Zustandsvariablen charakterisiert ist. Meistens enthält eine dieser Variablen eine Information über die Lokalisation der Zelle im Gitterraster (Koordinaten). Die globale Umgebung bezieht sich auf Variablen, die sich meist im Zeitverlauf und nicht notwendigerweise räumlich ändern (z.B. Temperatur). Weiterhin wird in diesem Schritt des Protokolls die räumliche und zeitliche Dimension festgelegt. Die zeitliche Dimension beschreibt, wie viele Durchläufe (Iterationen) die agentenbasierte Simulation haben soll und welcher realen Zeitspanne eine Iteration entsprechen könnte. Bei der räumlichen Dimension wird die konkrete Größe des Gitterrasters festgelegt und auch die Entsprechung einer Zelle in der Realität (Railsback & Grimm 2019).

## 3. Prozessübersicht und Terminierung der Prozesse:

Während sich der vorherige Teil des ODD-Protokolls mit der Struktur des Modells auseinandergesetzt hat, beschreibt dieser Teil die Dynamik der agentenbasierten Simulation. Hierbei werden die Prozesse betrachtet, die zu Änderungen in den Zustandsvariablen führen können. Für jeden, von den Elementen durchgeführten Prozess, wird eine kurze Beschreibung vorgenommen. Eine detaillierte Beschreibung jedes Prozesses wird im siebten Schritt (7. Submodelle) durchgeführt. Es wird auch festgehalten, wie die Datenausgabe der agentenbasierten Simulation aussehen soll. Neben der Dokumentation der ablaufenden Prozesse wird der Ablauf der Prozesse festgelegt. Dabei wird die Reihenfolge der vorher benannten Prozesse angegeben, in der der Rechner diese ausführen soll (Grimm, Polhill et al. 2017).



#### 4. Designkonzepte:

Bei diesem Block des ODD-Protokolls werden nur die einzelnen Aspekte angewendet, die für die jeweilige agentenbasierte Simulation relevant sind. Nicht alle Unterpunkte sind für alle Simulationsmodelle relevant oder zutreffend. *Grundlegende Prinzipien* beschreiben, welche generellen Theorien, Konzepte, Annahmen oder Hypothesen dem Modell zugrunde liegen und ob diese Prinzipien in das Modell integriert oder durch das Modell widerlegt werden sollen. Weiterhin könnte auch eine Alternative zu den bestehenden Prinzipien durch die agentenbasierte Simulation getestet werden. *Emergenz* legt das wichtigste Ergebnis oder Ausgabe der agentenbasierten Simulation fest und wie dieses durch Mechanismen auf der Mikroebene durch angepasstes Verhalten der Agenten entstehen kann. Unter *Adaption* wird dargestellt, welches adaptive Verhalten Agenten ggf. aufweisen, wie sie auf mögliche Veränderungen in der Umwelt reagieren oder Entscheidungen treffen können. Mit *Zielen* wird festgelegt, ob die Agenten ein explizites Ziel haben, auf das sie mit ihren Entscheidungen hinarbeiten können, wie beispielsweise eine Gewinnmaximierung). *Lernen* beinhaltet, ob und wenn ja, wie Agenten ihr Verhalten aufgrund von vorausgegangenen Erfahrungen ändern können. Unter *Vorhersage* wird festgehalten, ob Agenten zukünftige Begebenheiten in ihrer Umgebung vorhersagen können. Eine Vorhersage kann beispielsweise durch Beobachtung einer Veränderungen in der Umgebung erfolgen. Durch *Wahrnehmung* können Agenten ihre Umwelt oder andere Agenten wahrnehmen und mit diesen interagieren. An dieser Stelle im ODD-Protokoll wird notiert, welche Variablen die Agenten wahrnehmen können. Zusätzlich wird beschrieben, in welcher räumlichen Umgebung die Agenten wahrnehmen können und welche Mechanismen aufgrund dieser Wahrnehmung ablaufen. Unter *Interaktion* wird dargestellt, zu welchen Interaktionen die Agenten mit welchen anderen Agenten fähig sind, welchen Einfluss die Interaktion auf den jeweiligen Agenten hat und welchem Ablauf in der Realität dies nachempfunden ist. Wenn *Stochastik* verwendet wird, sollte explizit festgehalten werden, in welchen Teilen des Modells diese zum Einsatz kommt (z.B bei der Initialisierung oder bei der Verhaltensadaption). *Kollektive* (Zusammenschlüsse von Agenten) können in einem Modell vorkommen. In diesem Fall sollte erläutert werden wie diese Zusammenschlüsse entstehen und was für einen Einfluss sie auf die Agenten haben. Der letzte Aspekt der Designkonzepte ist die *Beobachtung*. Hier wird dargestellt, welche Ausgaben wie generiert werden und was analysiert werden soll (Railsback & Grimm 2019).

## 5. **Initialisierung:**

Bei der Initialisierung wird ein Überblick über den Ausgangszustand der agentenbasierten Simulation gegeben. Dazu gehören unter anderem die Anzahl der Agenten und die initialen Werte für die Zustandsvariablen (Grimm, Polhill et al. 2017; Grimm, Berger, DeAngelis et al. 2010).

## 6. **Eingabedaten:**

Mit den Eingabedaten sind nicht die Initialisierungswerte gemeint, sondern Daten die während der agentenbasierten Simulation eingelesen und nicht währenddessen berechnet werden können (beispielsweise könnten in jeder Iteration neue Temperaturen des deutschen Wetterdienstes eingelesen werden) (Railsback & Grimm 2019).

## 7. **Submodelle:**

In diesem Bereich werden die in der Prozessübersicht nur genannten Prozesse im Detail dargestellt. Dazu gehören sämtliche Formeln, Logiken und Gleichungen (Railsback & Grimm 2019).

### 2.3.3 **Sozialwissenschaften**

Die Sozialwissenschaften, auch Gesellschaftswissenschaften genannt, haben ihren Ursprung im 18. Jahrhundert und stehen für einen Sammelbegriff, der alle wissenschaftlichen Disziplinen beschreibt, die Inhalte, Fragestellungen, Theorien und Methoden sozialer Themen der Menschheit erforscht. Sozialwissenschaften sind nicht mit Soziologie gleichzusetzen. Die Soziologie (Erforschung der Sozialstruktur in einer Gesellschaft) ist ein Teilbereich der Sozialwissenschaften. Zu den Forschungsbereichen der Sozialwissenschaften gehören neben der Soziologie auch die Politik-, Geschichts-, Rechts-, Erziehungs- und Wirtschaftswissenschaft, die Volkswissenschaften, die Psychologie und viele weitere (Salzborn 2016). Auch Teilgebiete der Gesundheitswissenschaften können thematisch zu den Sozialwissenschaften gehören. Im Folgenden werden die für diese Arbeit relevanten Gebiete Soziologie und Gesundheitswissenschaften dargestellt.

#### **Soziologie**

Die Soziologie stammt historisch gesehen aus den Bereichen der Natur- und Geisteswissenschaften ab und entwickelte sich erstmalig nach der französischen Revolution im Laufe des 19. Jahrhunderts zeitgleich mit der „Entdeckung der Gesellschaft“ (Mikl-Horke 2012). Die Soziologie befasst sich mit der Erforschung der Gesellschaft.

Als Gesellschaft wird eine Menge von Menschen bezeichnet, die auf der individuellen Ebene soziales Verhalten und auf der gesellschaftlichen Ebene Gemeinsamkeiten und Gegensätze aufweist. Weiterhin gibt es die Mesoebene, die zwischen der Mikro- und der Makroebene vermittelt (Lamla, Laux et al. 2014; Salzborn 2016). Konkret beinhalten die Ebenen die theoretische und empirische Erforschung des sozialen Handelns von Menschen (Mikroebene) sowie die Entstehung von sozialen Normen und den Wandel von Gesellschaftsstrukturen (Makroebene). Mikro- und Makroebene stehen bei einer komplexen Gesellschaft in Wechselwirkung miteinander (Lamla, Laux et al. 2014).

### **Gesundheitswissenschaften**

Die Gesundheitswissenschaften sind ein interdisziplinärer Forschungsbereich. Sein Ziel ist, die Gesundheit der Gesellschaft zu verbessern und auch die Bedingungen für ein gesundes Leben zu schaffen. Dabei werden die zentralen, fachlichen Einzeldisziplinen Bevölkerungsmedizin, Verhaltensmedizin, Sozialmedizin, Psychiatrie, Sportmedizin, Arbeitsmedizin, Humangenetik, Gesundheitspsychologie, Gesundheitspädagogik, Gesundheitspolitik, Gesundheitsökonomie, Gesundheitskommunikation, Organisations- und Managementwissenschaften, Epidemiologie, Demographie, Gesundheitssoziologie und weitere betrachtet (Hurrelmann & Razum 2016).

Dazu zählt auch die Sozialepidemiologie. Sie ist eine noch junge Teildisziplin, die sich aus der medizinischen Epidemiologie und der empirischen Sozialforschung entwickelt hat. Dabei werden u.a. die soziale Verteilung und die sozialen Bedingungen von Gesundheit untersucht. Zentraler Untersuchungsgegenstand können dabei beispielsweise soziale Ungleichheit, Alter, Geschlecht, soziales Kapital oder soziale Unterstützung sein (Badura 2016). Die vorliegende Arbeit ist im Bereich der Sozialepidemiologie einzuordnen, da sie den Einfluss von nachbarschaftlichen, sozialen Mechanismen auf kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten untersucht.

#### **2.3.4 Zusammenführung der drei Teilbereiche**

In diesem Kapitel werden die drei Teilbereiche computergestützte Simulationen, agentenbasierte Simulationen und Sozialwissenschaften zusammengeführt. Abbildung 15 stellt die Schnittmenge aller drei in den vorausgegangenen Abschnitten erläuterten Forschungsbereiche dar. Für eine spezifische Definition von agentenbasierten Sozialsimulationen werden zunächst die drei Schnittmengen (SAAS, MABS, SocSim) von jeweils zwei Forschungsbereichen betrachtet und im Anschluss die Schnittmenge aller drei Bereiche (ABSS).

Die „Social Aspects of Agent Systems“ (SAAS) bezeichnet Eigenschaften von agentenbasierten Simulationen, die durch Erkenntnisse der Sozialwissenschaften erklärt oder erzeugt werden können (Davidsson 2002). Das umfasst die soziale Struktur auf der Makroebene, das soziale Verhalten inklusive deren Dynamik auf der Mikroebene und die sozialen Einstellungen oder Präferenzen der Agenten (Cervenka, Trencansky et al. 2005).

Die Kombination von agentenbasierten Simulationen und computergestützten Simulationen wird als eine „Multi Agent Based Simulation“ (MABS) bezeichnet (Davidsson 2002). Hierbei liegen agentenbasierte Simulationen ohne Einfluss der Sozialwissenschaften vor. Der Einsatz von Agenten bei computergestützten Simulationen bietet den Vorteil, das Verhalten der Agenten individuell anstatt global modellieren zu können und dadurch realistischere Szenarios zu simulieren (Davidsson 2000).

In den Sozialwissenschaften werden computergestützte Simulationen genutzt, um abstrakte Systeme der sozialen Realität und auch soziale Gesetze und Normen abzubilden (Kreutz & Bacher 2013). Die Schnittmenge zwischen computergestützten Simulationen und Sozialwissenschaften wird „Social Simulation“ (SocSim) genannt (Davidsson 2002) und überwiegend zur Analyse und Verifikation von sozialtheoretischen Konzepten sowie zur Prognose möglicher Maßnahmen verwendet (Kreutz & Bacher 2013).

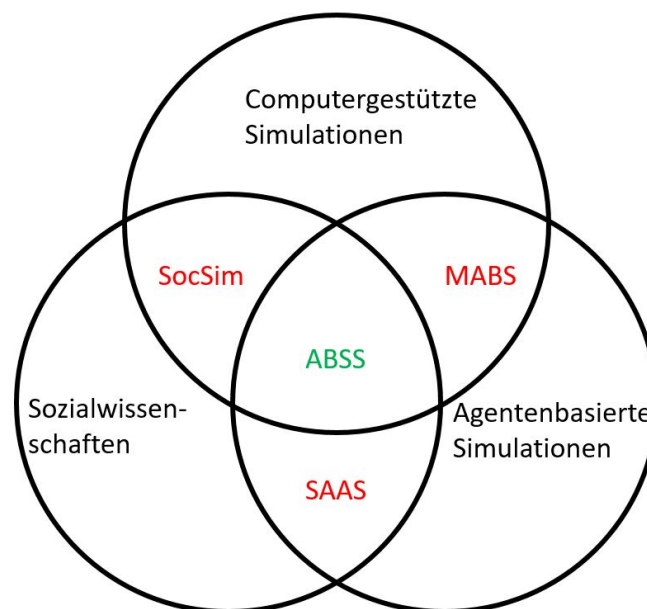


Abbildung 15: Schnittmengen der drei Forschungsbereiche Sozialwissenschaften, agentenbasierte Simulationen und computergestützte Simulationen (angelehnt an Davidsson 2002).

Die Schnittmenge von SAAS, MABS und SocSim beinhaltet Aspekte aus allen drei Forschungsbereichen und bezeichnet die „Verwendung von Agententechnologien zur Simulation von sozialen Phänomenen auf einem Computer“ (ABSS) (Davidsson 2002). Durch die Integration seiner Teilbereiche birgt ABSS ein hohes Potential für alle drei Forschungsrichtungen. Genau in dieser Schnittmenge sind die in dieser Arbeit durchgeführten, agentenbasierten Simulationen<sup>11</sup> angesiedelt, wobei die Gesundheitswissenschaften als Teilbereich der Sozialwissenschaften verstanden werden.

## 2.4 Theoretische Modelle

In den vorherigen Kapiteln werden die für diese Arbeit relevanten Teilgebiete der Gesundheitswissenschaften, Soziologie und Informatik erläutert. In dieser Arbeit soll mittels agentbasierter Simulationen untersucht werden, wie soziale Mechanismen durch Interaktionen mit NachbarInnen, kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren können. Dabei wird das für die Gesundheit relevante Verhalten eines Individuums verändert, was in einer räumlichen Änderung der Gesundheit resultieren und schließlich zu einer Veränderung der Sozialstruktur führen kann.

Die sozialen, individuellen und physikalischen Einflüsse werden zur Modellierung des theoretischen Modells herangezogen, um einen Einblick in die Elemente der Black Box (vgl. Kapitel 1.3, Abbildung 3) zu erhalten. Weiterhin ist das theoretische Modell auf dem Makro-Mikro-Makro-Ansatz basiert, der in Kapitel 2.2 umfassend dargestellt wird. Für jeden, der zu testenden, sozialen Mechanismen wird eine Annahme modelliert. Abbildung 16 zeigt die theoretischen Annahmen für den Mechanismus *soziale Ansteckung*. Umwelteinflüsse, repräsentiert durch den Stressor, auf der kleinräumigen Ebene (Makro) haben einen Einfluss auf die Bildung der Gesundheit in der Ausgangssituation (individuelle (Mikro) Ebene). Auf die Gesundheit zu einem späteren Zeitpunkt wirken der Stressor und individuelle Einflüsse (Alter, Gesundheitszustand zu einem früheren Zeitpunkt und ein zufälliger Einfluss, der die Heterogenität darstellt). Das Verhalten hat ebenfalls einen Einfluss auf die Gesundheit. Der Mechanismus führt über Elemente, die sich noch in einer Black Box befinden, über die Zeit durch NachbarInnen induzierte Verhaltensänderung zu einer Beeinflussung der Gesundheit. Aus der Gesundheit ergeben sich, durch deren räumliche Verteilung, auf der kleinräumigen Ebene die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten.

---

<sup>11</sup>Im nachfolgenden werden agentenbasierte Sozialsimulationen als agentenbasierte Simulationen bezeichnet.

Abbildung 17 zeigt das theoretische Modell für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt*. Das Prinzip ist identisch mit dem Modell für den Mechanismus *soziale Ansteckung*. Zusätzlich wirkt das Zusammengehörigkeitsgefühl auf die Verhaltensübernahme durch die *soziale Ansteckung* und die Gesundheit direkt ein. Zu Beginn der agentenbasierten Simulationen werden durch Umwelteinflüsse bedingte, kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten modelliert. Mit Hilfe des theoretischen Modells kann analysiert werden, ob der soziale Mechanismus *soziale Ansteckung* alleine oder in Kombination mit dem Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten reduzieren oder komplett auflösen kann.

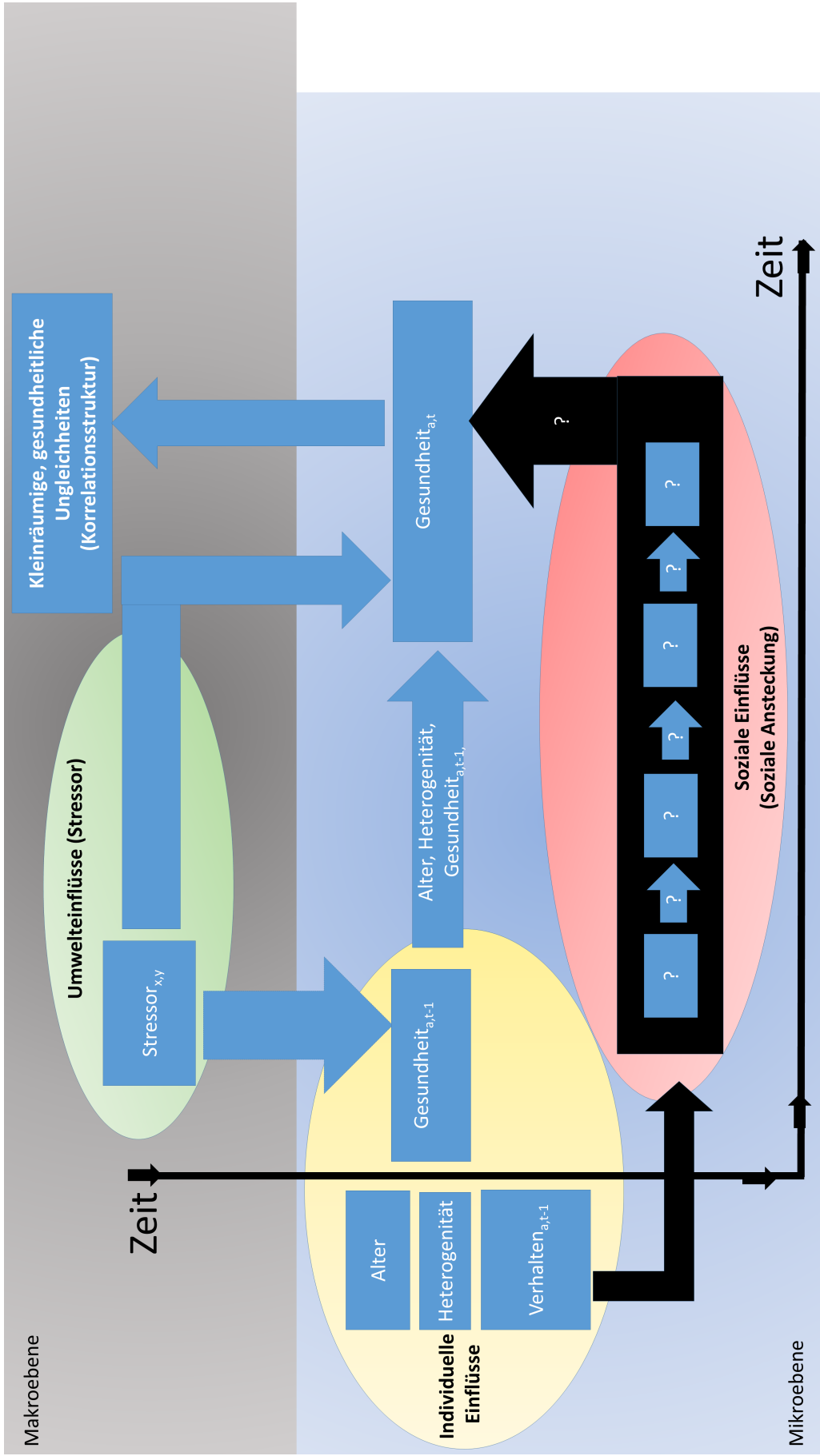


Abbildung 16: Visualisierung der Annahmen für den Mechanismus *soziale Ansteckung*.

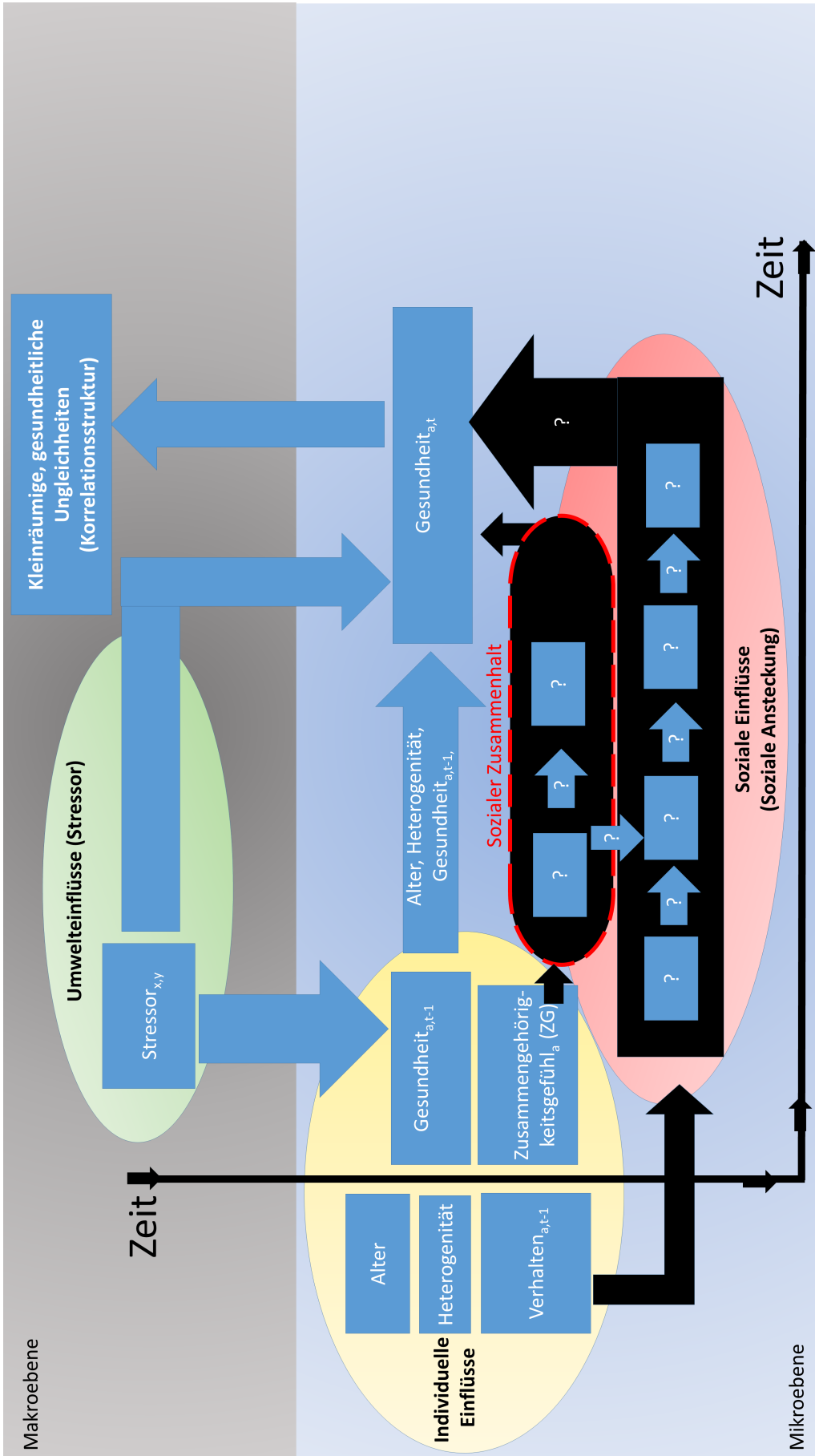


Abbildung 17: Visualisierung der Annahmen für den Mechanismus sozialer Zusammenhalt.



## 3 Methodisches Vorgehen

In diesem Kapitel wird zunächst die Methodik der Literaturrecherche dargestellt (Kapitel 3.1). Anschließend werden Semivariogramme und die damit zusammenhängende Methode „Correlation Neighborhood“ vorgestellt, mit der die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten der agentenbasierten Simulationen in dieser Arbeit gemessen werden (Kapitel 3.2). Im Anschluss wird das ODD-Protokoll der agentenbasierten Simulationen und dadurch die konkrete Vorgehensweise der Programmierung von den agentenbasierten Simulationen dargestellt (Kapitel 3.3).

### 3.1 Literaturrecherche

Eine Literaturrecherche wird durchgeführt, um die epidemiologische Literatur nach Evidenz zu sozialen Mechanismen im Zusammenhang mit kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten zu analysieren. Dabei soll die erste Forschungsfrage dieser Arbeit beantwortet werden:

Forschungsfrage 1: Welche sozialen Mechanismen (nach Galsters Typologie für soziale Mechanismen) wurden in epidemiologischen Publikationen bezüglich kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten untersucht, wurden diese als Faktoren oder Prozesse analysiert und wie wurden sie operationalisiert?

Im Jahr 1987 wurde Wilsons Buch „*The truly disadvantaged: The inner city, the underclass, and public policy*“ als eines der ersten Werke mit dem Fokus auf kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten veröffentlicht (Wilson 1987). Aus diesem Grund werden Studien ab Januar 1987 bis September 2019 in die Literaturrecherche miteinbezogen. Die Recherche wird in der Datenbank PubMed durchgeführt, um einen Überblick über epidemiologische Publikationen zu erhalten. Unter epidemiologischen Publikationen werden Studien verstanden, die Verteilungen, Determinanten und Ätiologie von gesundheitlichen Outcomes in einer Bevölkerung untersuchen. Weiterhin wird die Recherche auf die Sprachen Englisch und Deutsch beschränkt. Eine Suche in anderen Sprachen wird aufgrund mangelnder Sprachkenntnisse und finanzieller Kapazitäten nicht durchgeführt. Studien, die nicht mindestens einen Mechanismus analysierten, werden ausgeschlossen. Für die Suche in PubMed wird explizit nach Gesundheit, verschiedenen Ausdrücken für Ungleichheiten und Synonymen für kleinräumig, Soziologie oder sozial gesucht. Der benutzte englische Suchterm lautet:

Health [Title] AND (inequalit\*[Title/Abstract] OR different-  
ial\*[Title/Abstract] OR inequit\*[Title/Abstract] OR disparit\*[Title/Abstract]  
OR heterogeneities [Title/Abstract]) AND (neighbourhood OR small-area  
OR space OR spatial\*) AND (social [All Fields] OR sociology [All Fields])

Die Auswahl der Literatur wird von zwei Personen unabhängig voneinander durchgeführt. Basisinformationen (Autoren, Erscheinungsjahr, Herkunftsland der Studie, Expositionen, untersuchte Aspekte von Gesundheit und Outcomes) über die eingeschlossenen Studien werden tabellarisch festgehalten (vgl. Anhang A.2, Tabellen 11 und 12). Weiterhin werden die Formen der Operationalisierungen der sozialen Mechanismen herausgearbeitet (vgl. Kapitel 4.1 Tabelle 3). Beispielsweise kann der Mechanismus „soziales Netzwerk“ über die Anzahl der FreundInnen operationalisiert werden. Diese Operationalisierungen werden gemäß der Typologie von Galster für soziale Mechanismen in die sieben sozial-interaktiven Kategorien *soziale Netzwerke*, *soziale Ansteckung*, *kollektive Sozialisierung*, *sozialer Zusammenhalt*, *Wettbewerb*, *relative Deprivation* und *elterliche Mediation* eingeteilt (Galster 2012). Weiterhin wird festgehalten, wie genau die Operationalisierungen der sozialen Mechanismen in den Studien erhoben wurden (vgl. Kapitel, 4.1 Tabelle 4).

### 3.2 Semivariogramme

„Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things“ Toblers erstes Gesetz der Geografie (Tobler 1969)

Kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten werden in dieser Arbeit mit dem Konzept „Correlation Neighbourhood“ gemessen. Das Ziel dieses Ansatzes ist, herauszufinden, wie stark durchschnittlich in einer Stadt, das gesundheitliche Outcome eines Individuums mit den gesundheitlichen Outcomes seiner NachbarInnen korreliert (Sauzet, Zolitschka et al. noch unveröffentlicht). Mit Hilfe dieses Ansatzes können kleinräumige Effekte auf die Gesundheit durch eine räumliche Korrelationsstruktur der gesundheitlichen Outcomes dargestellt werden. Dadurch kann nachgewiesen werden, ob kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten vorliegen oder nicht. Unter der Annahme, dass es keine kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten gibt, sollte die Gesundheit der beteiligten Individuen unabhängig von der Gesundheit ihrer jeweiligen NachbarInnen sein. In dem Fall hat der kleinräumige Kontext keinen Einfluss auf die Gesundheit eines Individuums und die Gesundheit resultiert ausschließlich aus individuellen Faktoren wie beispielsweise Alter, Einkommen oder Geschlecht.

Wenn kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten vorliegen, ist die individuelle Gesundheit abhängig vom kleinräumigen Kontext und Individuen, die in einer räumlichen Nähe zueinander wohnen, haben korrelierte, gesundheitliche Outcomes (Sauzet, Zolitschka et al. noch unveröffentlicht). Die räumliche Korrelationsstruktur zwischen den gesundheitlichen Outcomes kann mit Hilfe von Semivariogrammen berechnet und visualisiert werden. Semivariogramme sind eine Methode zur Analyse von räumlichen Daten und ermöglichen auf Grundlage vorliegender, punktueller Daten, eine Aussage über den räumlichen Zusammenhang dieser Daten. Ein Semivariogramm kann räumliche Abhängigkeiten messen. Beobachtungen, die räumlich nah beieinander liegen sind mit einer höheren Wahrscheinlichkeit korreliert als Beobachtungen, die eine größere, räumliche Distanz zwischen sich haben (Tobler 1969). Für die Erstellung eines Semivariogramms wird u.a. die Semivarianz benötigt. Die Semivarianz ist ein Maß für den Grad der räumlichen Abhängigkeit zwischen Werten des Attributs  $Z$  an zwei verschiedenen Orten oder Punkten im Raum.  $Z$  beschreibt in dieser Arbeit die Gesundheit von Individuen. Gegeben sei eine Menge  $X$  von Punkten im Raum. Für jeden Punkt im Raum wird ein paarweiser Vergleich mit sämtlichen anderen Punkten im Raum durchgeführt, die eine bestimmte Distanz  $h$  zueinander haben. Das Semivariogramm misst dadurch die Unterschiedlichkeit bzw. Ähnlichkeit der räumlichen Struktur zwischen Punkten, die in einer bestimmten Entfernung zueinander liegen. Weil es zu viele Distanzpaare gibt, um alle zu berechnen, werden diese gruppiert. Die Menge paarweiser Distanzen wird in disjunkte Teilmengen aufgeteilt (*lags*). Eine bestimmte Distanz wird einem *lag* zugeordnet, wenn sie im Distanzintervall des *lags* liegt. Seien  $Z(x_i)$  und  $Z(x_j)$  die Gesundheit  $Z$  für zwei verschiedene Punkte <sup>12</sup>  $x_i, x_j \in X$  im Raum. Die Distanz  $h$  zwischen zwei Punkten ist definiert als:  $h = \|x_2 - x_1\|$ . Die Semivarianz  $\gamma(h)$  ist eine Funktion über die Distanz  $h$  zwischen zwei Punkten  $Z(x_i)$  und  $Z(x_j)$  von  $Z$  und somit

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i,j=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_j)]^2,$$

wobei  $N(h)$  die Anzahl der Wertepaare ist, deren Distanzen  $d \in \text{lag}(h)$  sind.

---

<sup>12</sup>In dieser Arbeit repräsentieren die Punkte Individuen (Agenten).

Unter der Annahme gleichbleibender Varianz von  $Z$  in dem zu untersuchenden Raum, ist die Korrelation  $C(h)$  von der Distanz  $h$  zwischen zwei Punkten abhängig und die Semivarianz  $\gamma(h)$  und die Korrelation  $C(h)$  haben folgende Beziehung zueinander:

$$C(h) = c_0 + \sigma_0^2 - \gamma(h),$$

wobei  $c_0 + \sigma_0^2 = \text{Var}[Z(x_i)]$  und  $\text{Var}[Z(x_i)]$  ist die Varianz der Gesundheit eines beliebigen Punktes  $x$ . Eine Auftragung der Semivarianz gegenüber der  $\text{lags}(h)$  bildet ein *empirisches* Semivariogramm ab.  $c_0 = \gamma(0)$  ist der Wert des Semivariogramms, bei dem die Distanz zwischen zwei Punkten gegen 0 tendiert, der sogenannte „Nuggeteffekt“. Ohne den Nuggeteffekt würde das Semivariogramm durch den Ursprung verlaufen, weil die räumliche Varianz eines Punktes mit sich selbst 0 ist. Verläuft das Semivariogramm nicht durch den Ursprung, ist ein Nuggeteffekt vorhanden. Diese Bezeichnung geht auf eine Analyse von Goldlagerstätten in Südafrika zurück. Proben die räumlich sehr nah beieinander lagen, hatten entweder sehr hohe Goldgehalte (*Nuggets*) oder gar kein Gold. Der Nuggeteffekt kann auf Messfehler oder kleinräumige Varianz des Datensatzes zurückgeführt werden (Wackernagel 2013). Die asymptotische Korrelation zwischen Punkten eines *lags*, ist der sogenannte „Partial Sill“. Dabei ist  $\sigma_0^2 = C(0)$ .

Dem durch die erläuterte Berechnung erhaltenen, empirischen Semivariogramm, wird eine Kurve, die durch eine Funktion beschrieben wird, angenähert. Das dadurch erhaltene Semivariogramm wird auch *theoretisch* genannt. Eine Schätzung (Matheron’s Schätzer) für ein empirisches Semivariogramm mit der Distanz  $h$  zwischen zwei Punkten ist gegeben durch

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_j)),$$

wobei  $N(h)$  die Menge aller Punkte ist, die in einem  $\text{lag}(h)$  liegen (Genton 2000). In der Anwendung ist es üblich, bestimmte Distanzintervalle ( $\text{lag}(h)$ ) zu verwenden, um ein parametrisches Modell an das empirische Semivariogramm anzupassen. Für die vorliegende Arbeit wird das exponentielle Modell auf das empirische Semivariogramm angepasst. Sauzet, Zolitschka et al. haben gezeigt, dass für gesundheitliche Outcomes die exponentielle Funktion auf das empirische Semivariogramm angepasst werden kann (Sauzet, Zolitschka et al. noch unveröffentlicht). In Abbildung 18 ist das mit der Exponentialfunktion angepasste Semivariogramm für das gesundheitliche Outcome Geburtsgewicht abgebildet.

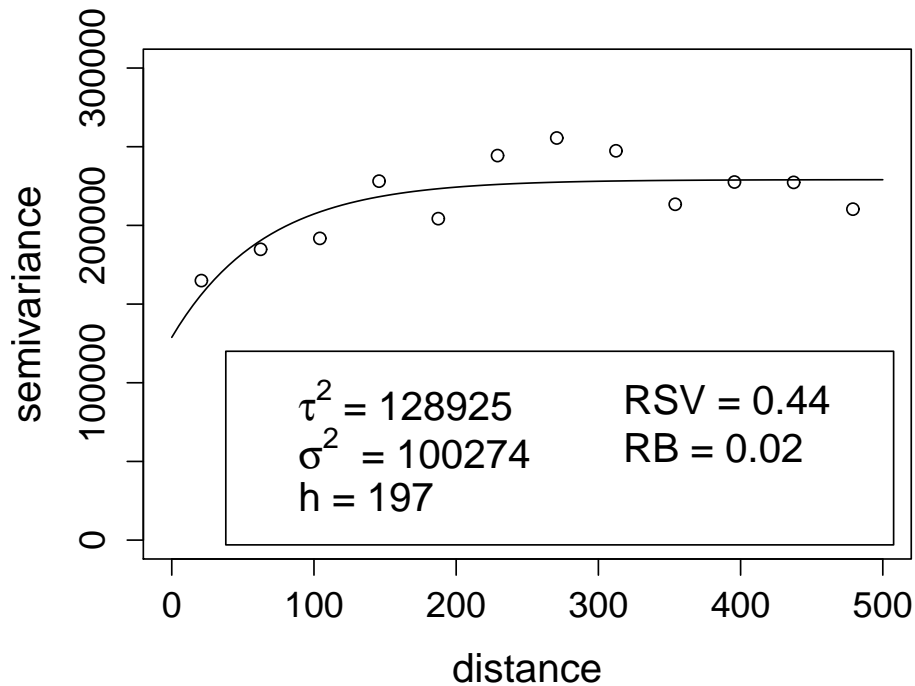


Abbildung 18: Darstellung eines exponentiellen Semivariogramms für das gesundheitliche Outcome Geburtsgewicht (Sauzet, Zolitschka et al. noch unveröffentlicht).

Die Anpassung der Exponentialfunktion ist gegeben durch:

$$\hat{\gamma}(h) = \hat{c}_0 + \hat{\sigma}_0^2(1 - \exp(-\hat{\phi}h)),$$

wobei  $\hat{c}_0$  der Nugget und  $\hat{\sigma}_0^2$  der Partial Sill ist, die aus dem empirischen Semivariogramm geschätzt werden können. Durch das theoretische Semivariogramm kann der „Practical Range“, die Distanz  $H$ , bei der die Korrelation weniger als 5% beträgt, berechnet werden (Oliver & Webster 1990; Schabenberger & Gotway 2017; Sauzet, Zolitschka et al. noch unveröffentlicht):

$$H = \frac{\log(\hat{\sigma}_0^2/0.05)}{\hat{\phi}}.$$

Die „Relative Structured Variability“ (RSV) beschreibt, welcher Anteil der gesamten Varianz auf die räumliche Korrelationsstruktur zurückzuführen ist und gibt die Stärke der Korrelation an:

$$RSV = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\hat{\sigma}_0^2 + \hat{c}_0}.$$

In Abbildung 19 ist ein beispielhaftes Semivariogramm mit seinen einzelnen Bestandteilen dargestellt. Auf der x-Achse sind die *lags* zwischen den einzelnen Punkten und auf der y-Achse ist die Semivarianz aufgetragen. Der Nugget ist der Wert, bei dem der Graph die y-Achse schneidet und repräsentiert die Variabilität bzw. den Messfehler eines Datensatzes. Range ist die Distanz, bei der der Graph den Sill erreicht. Bis der Sill erreicht wird, ist eine räumliche Korrelation vorhanden. Die Korrelation ist dabei größer für kleine Distanzen und sinkt für größerer Distanzen. Der Partial Sill berechnet sich aus der Differenz von Sill und Nugget und ist der Wert, ab dem die Kurve nicht weiter steigt.

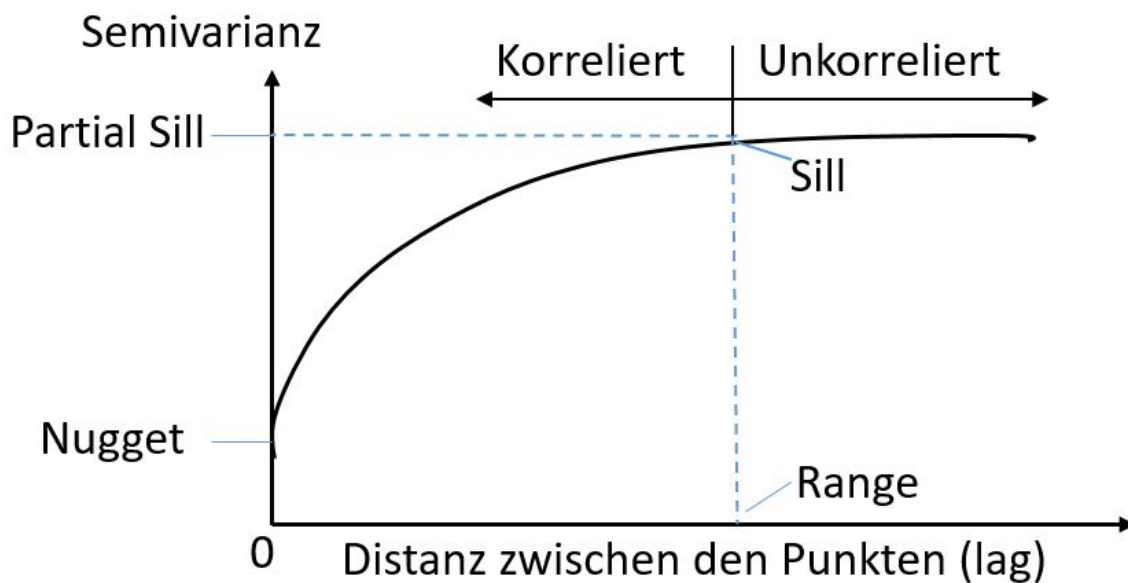


Abbildung 19: Darstellung eines beispielhaften Semivariogramms und seiner Komponenten.

**Berechnung von Semivariogrammen in R:** Die Semivariogramme für Gesundheit und Verhalten in den agentenbasierten Simulationen werden mit R (Version: 3.6.2) erstellt. Dafür wird das Paket „GeoR“ verwendet (Ribeiro Jr & Diggle 2018). Mittels der Funktion „as.geodata“ wird der relevante Datensatz<sup>13</sup> in ein Objekt der Klasse „geo.data“ konvertiert. Objekte dieser Klasse bestehen aus den Komponenten Daten und Koordinaten. Diese Konvertierung ist notwendig, um weitere geostatistische Analysen durchführen zu können. Anschließend wird mit Hilfe der Funktion „variog“ das empirische Semivariogramm berechnet und graphisch dargestellt.

<sup>13</sup>x- und y-Koordinaten und gewünschte Outcomes (Gesundheit und Verhalten).

Dafür werden als Eingabeparameter, die gewünschten Daten<sup>14</sup> und die maximale Distanz<sup>15</sup> benötigt. Durch experimentelles Vorgehen, hat 30 sich als beste Skalierung für die relevanten Daten (Gesundheit und Verhalten) erwiesen und daher wird die maximale Distanz auf 30 festgelegt. Alle Wertepaare über diesem Wert werden für die Berechnung des Semivariogramms ignoriert. Weiterhin wird entschieden, welche Schätzfunktion verwendet werden soll. Es wird die klassische Schätzfunktion verwendet, die für  $\gamma(h)$  dargestellt wurde. Anschließend wird die Funktion „variofit“ verwendet, um ein parametrisches Modell an das empirische Semivariogramm anzupassen. Als Eingabeparameter wird das empirische Semivariogramm, das anzuwendende, parametrische Modell<sup>16</sup> und initiale Werte für die Parameter  $\sigma^2$  (Partial Sill) und  $\phi$  (Reichweite) verwendet. Für  $\sigma^2$  wird die Varianz der zu analysierenden Daten und  $\phi = 6$  verwendet (Ribeiro Jr & Diggle 2018). Experimente zeigen, dass  $\phi = 6$  sich im Zusammenhang mit den empirischen Semivariogrammen und den relevanten Daten als beste Skalierung erweist.

### 3.3 Agentenbasierte Modellierung

Die agentenbasierten Simulationen werden in R (Version: 3.6.2) programmiert. Durch diese soll die zweite Forschungsfrage dieser Arbeit beantwortet werden:

Forschungsfrage 2: Können nachbarschaftliche soziale Mechanismen in agentenbasierten Simulationen durch Umwelteinflüsse induzierte kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren?

Das in Kapitel 2.3.2 vorgestellte ODD-Protokoll stellt eine Möglichkeit dar, um agentenbasierte Simulationen standardisiert und übersichtlich zu beschreiben (Grimm, Berger, Bastiansen et al. 2006). Es wird in dieser Arbeit verwendet, um sowohl den Aufbau und die Zusammenhänge, als auch die Programmierung der agentenbasierten Simulationen übersichtlich zu dokumentieren. Im folgenden werden die sieben Bestandteile des ODD-Protokolls für die agentenbasierten Simulationen dieser Arbeit dargestellt:

#### 1. Zweckmäßigkeit:

Von nachbarschaftlichen, sozialen Mechanismen wird angenommen, dass sie eine wichtige Rolle bei der Entstehung und Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten spielen (Mayntz 2004; Diewald & Faist 2011).

---

<sup>14</sup>Inklusive Koordinaten im geodata-Format.

<sup>15</sup>Ein numerischer Wert, der die maximale Distanz für das Semivariogramm definiert.

<sup>16</sup>Exponentiell: oben stehende Formel für  $\hat{\gamma}(h)$ .

Aufgrund der Komplexität von Mechanismen und deren schwieriger Erhebung als Prozess, ist die Operationalisierung von vielen sozialen Mechanismen nicht trivial. Insbesondere, wenn diese nicht als Faktor, sondern als Prozess analysiert werden sollen (El-Sayed, Scarborough et al. 2012; Kaplan, Diez Roux et al. 2017). Eine Analyse als Prozess ist notwendig, um nicht nur die Assoziation zwischen sozialen Faktoren und reduzierten, kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten zu erkennen, sondern vielmehr die expliziten Abläufe, die zu einer Reduzierung führen können, zu verstehen (Zolitschka, Razum et al. 2019).

Das Modell wird vom realen System einer Stadt abstrahiert. In agentenbasierten Simulationen sollen Annahmen über nachbarschaftliche, soziale Mechanismen und deren mögliche Rolle bei der Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten analysiert werden. Das Modell simuliert konkret, ob die Mechanismen *soziale Ansteckung* und *sozialer Zusammenhalt*, durch Umweltbedingungen<sup>17</sup> hervorgerufene, kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten<sup>18</sup> in einem urbanen Raum reduzieren oder vollständig auflösen können. Die sozialen Mechanismen agieren über schwache Bindungen<sup>19</sup> im individuellen, sozialen Netzwerk.

## 2. Elemente, Zustandsvariablen und Dimension:

Aus dem realen System einer Stadt werden nur die, für die Zielsetzung der agentenbasierten Simulationen, notwendigen Elemente übernommen und abstrahiert. In dem Modell für diese Arbeit sind zwei Elemente notwendig und vorhanden: Agenten, die den Menschen in der Realität entsprechen<sup>20</sup> und Felder, die den Wohnort in der Realität widerspiegeln. Agenten haben als Zustandsvariablen eine Lokalisation (x- und y-Koordinate), eine Identifikationsnummer, einen Gesundheitszustand, ein Alter, ein Zusammengehörigkeitsgefühl und ein Gesundheitsverhalten<sup>21</sup>. Von diesen Zustandsvariablen sind die Identifikationsnummer und das Zusammengehörigkeitsgefühl statisch. Die restlichen Variablen können sich im Lauf der agentenbasierten Simulationen verändern. Felder repräsentieren die räumliche Umgebung der Agenten und werden als Gittermuster dargestellt. In Abbildung 20 ist das verwendete Gittermuster schematisch für eine 3x3 Dimension dargestellt.

---

<sup>17</sup>Im Modell durch den Stressor modelliert.

<sup>18</sup>Im Modell durch Korrelationsstrukturen modelliert.

<sup>19</sup>Verbindungen zu den NachbarInnen.

<sup>20</sup>Im Modell wird das Geschlecht nicht berücksichtigt, dementsprechend wird der Begriff „Agent“ in dieser Arbeit geschlechtslos aufgefasst.

<sup>21</sup>Das Gesundheitsverhalten wird im nachfolgenden Text dieser Arbeit als Verhalten bezeichnet.



Die Zahlen in den Feldern symbolisieren dabei die x- und y-Koordinate des Feldes (vgl. Abbildung 20). Jedes Feld kann als eine mögliche Wohneinheit für einen Agenten angesehen werden. Dabei ist für jedes Feld jeweils nur ein Agent zugelassen. Felder haben als Zustandsvariablen eine Identifikationsnummer, eine x- und y-Koordinate, einen Stressor und einen Indikator, der anzeigt ob sich aktuell ein Agent auf dem Feld befindet oder nicht. Dieser Indikator ist die einzig nicht statische Zustandsvariable eines Feldes und dementsprechend die einzige, die sich im Laufe der agentenbasierten Simulationen verändern kann. Die agentenbasierten Simulationen haben eine räumliche Dimension von 600x600, was 360 000 Feldern entspricht, wobei ein Feld einem Kilometer (km) entsprechen kann und es werden 10 Iterationen durchgeführt, was 10 Jahre in der Realität repräsentieren kann.

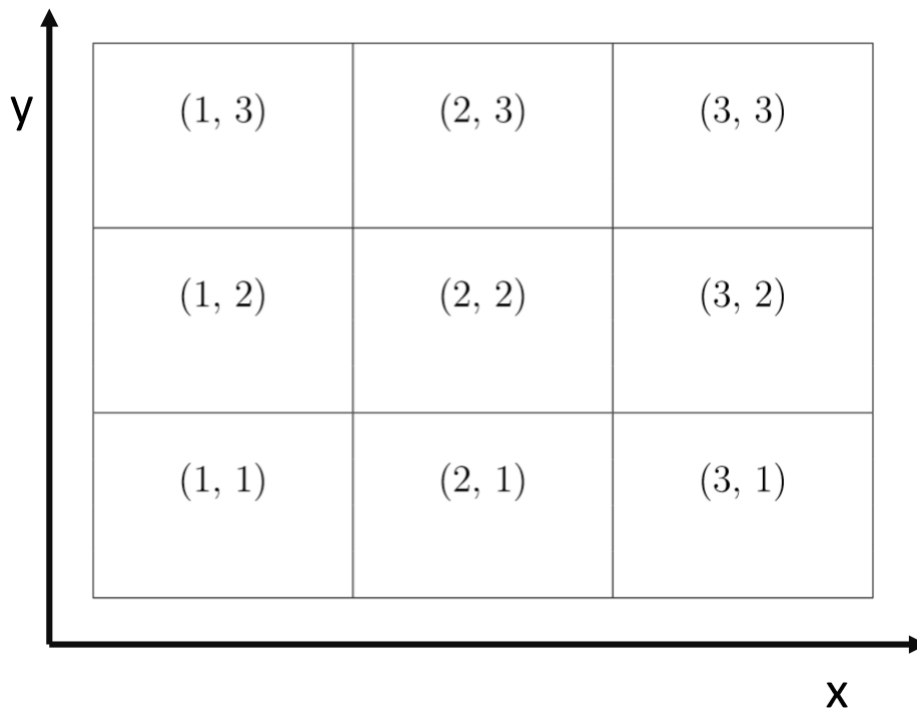


Abbildung 20: Beispielhafte Darstellung der räumlichen Dimension der agentenbasierten Simulationen (3x3).

### 3. Prozessübersicht und Terminierung der Prozesse:

Eine Übersicht über die Prozesse und deren Terminierung ist in Abbildung 22 dargestellt. Nach der Initialisierung des Modells läuft der gesamte Prozess in Ein-Jahresschritten ab. Als erstes in jedem Zeitschritt altern die Agenten und ziehen um.

Anschließend wird der Mittelwert des Gesundheitsverhalten vom individuellen, egozentrierten, sozialen Netzwerk für jeden Agenten berechnet. Das soziale Netzwerk in den agentenbasierten Simulationen besteht aus Moores Nachbarschaft (Moore 1964). Dabei werden bei einem Feld in einem Gittermuster die acht benachbarten Felder betrachtet. Abbildung 21 zeigt Moores Nachbarschaft für einen Agenten  $I$  und seine acht möglichen, benachbarten Agenten  $N$ . Die Differenz zwischen dem eigenen Gesundheitsverhalten und dem mittleren Gesundheitsverhalten der benachbarten Agenten führt dann im nächsten Schritt zu einer Verhaltensadaption. Auf Basis der veränderten Variablen wird ein neues Gesundheitsverhalten berechnet. Die ersten neun Durchläufe werden nach diesem Prozess beendet und es startet ein neuer Durchlauf, beginnend mit den Prozessen Altern und Umzüge. Beim 10. Durchlauf werden die agentenbasierten Simulationen beendet und die Korrelationsstrukturen mit Hilfe von Semivariogrammen („Correlation Neighbourhood“, vgl. Kapitel 3.2) berechnet. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Prozesse, inklusive der expliziten mathematischen Modellierung, wird im siebten Schritt (7. Submodelle) vorgenommen.

$N_1$ (x-1, y+1)	$N_2$ (x, y+1)	$N_3$ (x+1, y+1)
$N_4$ (x-1, y)	<b>I</b> <b>(x, y)</b>	$N_5$ (x+1, y)
$N_6$ (x-1, y-1)	$N_7$ (x, y-1)	$N_8$ (x+1, y-1)

Abbildung 21: Darstellung von Moores Nachbarschaft für einen Agenten  $I$  und seine benachbarten Agenten  $N_i$  (eigene Darstellung, angelehnt an Moore 1964).

#### 4. Designkonzepte:

Als *grundlegendes Prinzip* werden Mechanismen verstanden, die in der natürlichen Umwelt agieren und die Entstehung von gesundheitlichen Ungleichheiten begünstigen.

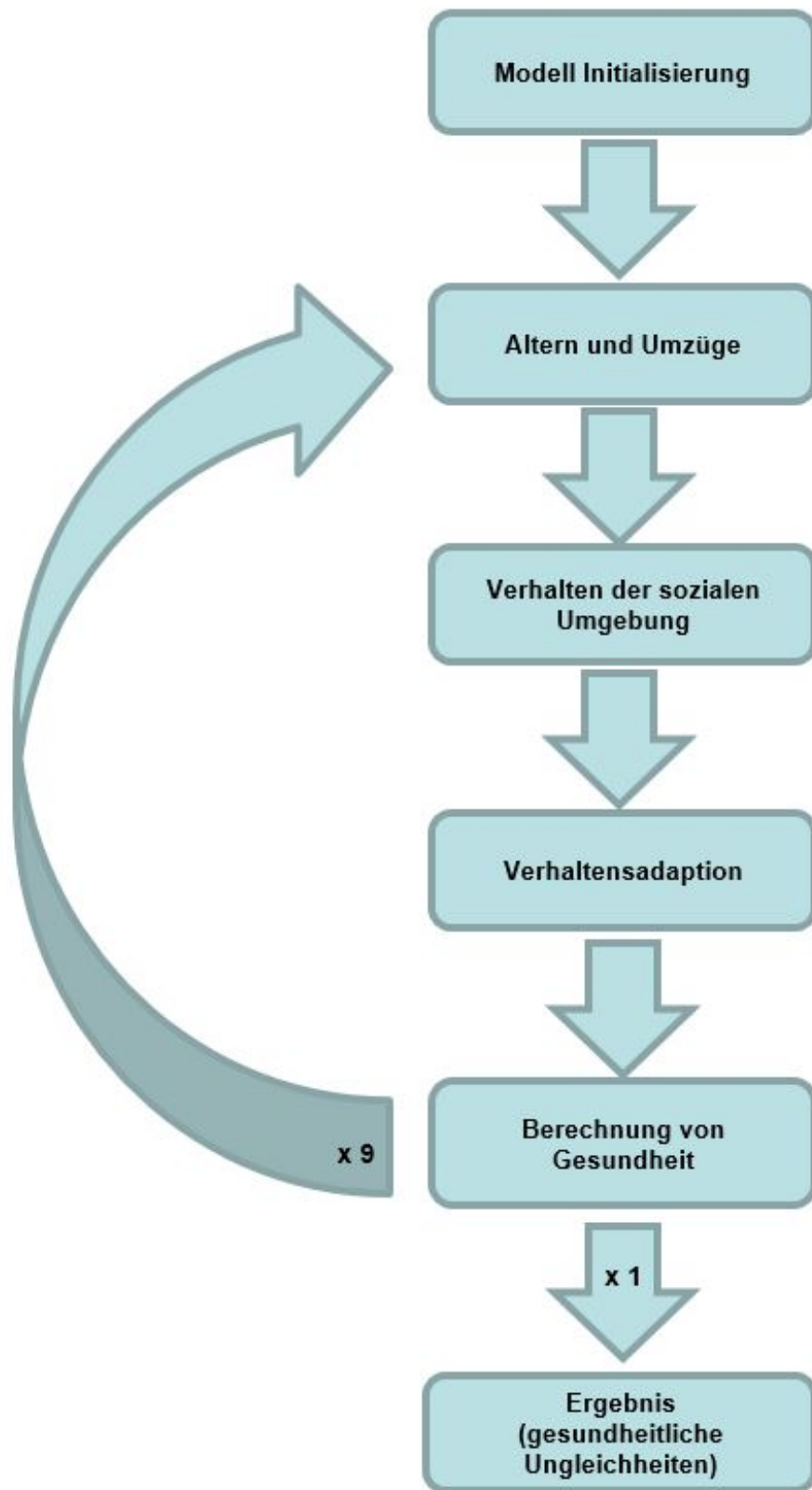


Abbildung 22: Terminierung der Abläufe in den agentenbasierten Simulationen.

Eine starke Luftverschmutzung kann beispielsweise zu einer regional schlechten Gesundheit führen und dadurch kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten bedingen (Day 2007). In den agentenbasierten Simulationen werden die Umweltbedingungen als Stressor bezeichnet und führen zu Beginn der Simulationen zu kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten. Die Vermutung dieser Arbeit bezüglich der zweiten Forschungsfrage ist, dass die sozialen Mechanismen, die durch den Stressor bedingten kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten, modelliert über Korrelationsstrukturen, durch eine Änderung der Sozialstruktur mindestens reduzieren können. Die *Emergenz* der agentenbasierten Simulationen resultiert in einem Verständnis darüber, ob und wie nachbarschaftliche, soziale Mechanismen wirken können. Die Agenten *adaptieren* ihr eigenes Gesundheitsverhalten unter Berücksichtigung des Gesundheitsverhaltens ihres individuellen, sozialen Netzwerkes, welches aus den an das eigene Feld angrenzenden Agenten (Moore's Nachbarschaft) besteht. Weiterhin können Agenten diese angrenzenden Agenten *wahrnehmen* und mit ihnen interagieren. Basierend auf dieser Wahrnehmung findet eine Verhaltensadaption statt. In den agentenbasierten Simulationen werden *stochastische* Elemente bei der Initialisierung, der Verhaltensadaption und der Berechnung der Gesundheit verwendet (vgl. 5. Initialisierung).

## 5. Initialisierung:

Das für die agentenbasierten Simulationen verwendete Gittermuster hat 360 000 Felder. 20% (72 000) dieser Felder sind nicht von Agenten bewohnt. Folglich gibt es 288 000 Agenten in jeder agentenbasierten Simulation. Für die Variablen Gesundheit und Alter werden die Agenten mit realen Daten kalibriert. Die benötigten Daten werden aus dem sozioökonomischen Panel (SOEP) herangezogen (vgl. Kapitel 4.2.1). Das SOEP ist eine repräsentative Wiederholungsbefragung von Privathaushalten in Deutschland (Wagner, Frick et al. 2007). Die Befragung wird wiederholt seit 1984 bei denselben Haushalten durchgeführt, die zufällig ausgewählt wurden. Im Laufe der Zeit wurden neue, zufällig ausgewählte Haushalte in die Befragung mitaufgenommen, damit die Fallzahl sich nicht verringert (Wagner, Frick et al. 2007). Aus dem Hauptdatensatz (SOEPcore) der 34. Erhebungswelle werden die benötigten Datensätze (ppfad, behbrutto und health) für das Jahr 2014 verbunden und aufbereitet. Für Gesundheit wird die physische Summenskala (*pcs*) herangezogen.

Sie basiert auf dem standardisierten Instrument zur krankheitsübergreifenden Erfassung des subjektiven Gesundheitszustandes (SF-12) (Bullinger & Kirchberger 1998; Radoschewski & Bellach 1999). Nur Personen aus urbanen Regionen werden in den Datensatz mitaufgenommen. Für Gesundheit und Alter werden Minima, Maxima, Mittelwerte und Varianzen berechnet. Mit den gewonnenen Parametern (vgl. Kapitel 4.2.1, Tabelle 5) der beiden Variablen werden die Agenten zu Anfang der agentenbasierten Simulationen mittels Normalverteilung initialisiert. Das Gesundheitsverhalten wird ebenfalls durch eine Normalverteilung initialisiert. Dafür wird eine Skala zwischen eins und 99 mit einem Mittelwert von 50 und einer Standardabweichung von 17 gewählt. Das Zusammengehörigkeitsgefühl, welches für die Analyse des Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* benötigt wird, hat ein Minimum von 0, ein Maximum von 4, eine Standardabweichung von 0,4 und einen szenario-abhängigen Mittelwert. Beim ersten Szenario wird ein allgemein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl simuliert und der Mittelwert liegt bei 0,5. Für das zweite Szenario wird ein allgemein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl mit einem Mittelwert von 1,5 modelliert. Die eindeutige Identifikationsnummer wird den Agenten und den Feldern bei der Initialisierung fortlaufend gegeben. Die Koordinaten werden ebenfalls fortlaufend vergeben (vgl. Abbildung 20). Jedem Feld wird ein nicht veränderbarer Wert für den Stressor zugeordnet. Dieser wird über eine Normalverteilung mit einem Mittelwert von 0 und einer Standardabweichung von 0,2 realisiert. Stressor, Verhalten und Zusammengehörigkeitsgefühl erhalten am Anfang der agentenbasierten Simulationen eine räumliche Korrelationsstruktur. Um diese Korrelationsstrukturen zu erhalten wird das R-Paket „RandomFields“ verwendet (Schlather, Malinowski et al. 2015). Es erlaubt die Vorhersage, Schätzung und Simulation zufälliger Felder. Die Funktion „RMexp“ erstellt ein exponentielles Kovarianzmodell. Kovarianz ist ein Maß für den linearen Zusammenhang zweier Variablen. Wenn zwei Punkte in einer räumlich großen Nähe zueinander sind, haben sie eine große Ähnlichkeit bezüglich der relevanten Werte und ihre Kovarianz ist klein. Je weiter die Punkte voneinander entfernt sind, desto unähnlicher sind sie hinsichtlich der relevanten Werte und ihre Kovarianz ist groß.

Die exponentielle Kovarianzfunktion hängt von der *Distanz*  $r \geq 0$  zwischen zwei Punkten ab und wird durch

$$C(r) = e^{-r}$$

dargestellt. Die Funktion benötigt als Eingabeparameter die Varianz und den Maßstab, für den das Modell erstellt werden soll. Dem exponentiellen Kovarianzmodell wird ein Nuggeteffekt (Funktion: „RMnugget“) durch Addition hinzugefügt. Auch diese Kovarianzfunktion ist von der *Distanz*  $r \geq 0$  zwischen zwei Punkten abhängig und ist für alle  $i, j$  mit  $1 \leq i, j \leq n$  gegeben durch

$$C_{i,j}(r) = \delta_{i,j} 1_0(r),$$

wobei  $\delta_{i,j}$  das Koronecker Delta ist. Das Kovarianzmodell für den Nuggeteffekt benötigt die Varianz für das Modell als Eingabeparameter (Schlather, Malinowski et al. 2015). Diese Modelle werden separat für die drei Variablen mit einer Korrelationsstruktur erstellt. Die benötigten Eingabeparameter sind dabei identisch und die Varianzen für Verhalten und Zusammengehörigkeitsgefühl werden jeweils mit den Varianzen des Modells multipliziert. Die Parameter für das exponentielle Kovarianzmodell sind 0,6 (Varianz) und 6 (Maßstab). Für das zweite Kovarianzmodell ist die Varianz 0,4. Diese Modelle werden verwendet, um die Korrelationsstruktur zu erhalten und damit die Variablen räumlich korreliert zu simulieren. Mittels der Funktion „RFsimulate“ (Schlather, Malinowski et al. 2015) werden auf Basis der erstellten Modelle und der Koordinaten Werte erstellt, die einer räumlichen Korrelation entsprechen. Diese Werte werden mit den Initialisierungswerten der Variablen addiert und durch diese Modifikation wird eine räumliche Korrelationsstruktur erreicht. Diese Struktur kann durch Semivariogramme visualisiert werden (vgl. Kapitel 4.2.1).

Im Modell wird davon ausgegangen, dass umweltbedingte Einflüsse zu kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten führen. Diese Umwelteinflüsse können dementsprechend auch einen Einfluss auf die Gesundheit haben. Aus diesem Grund basiert im Modell die Gesundheit auf den Einflüssen des Stressors. Vor dem Beginn der eigentlichen agentenbasierten Simulationen werden die initialisierten Werte der Gesundheit modifiziert, sodass die Gesundheit eine vom Stressor abhängige, räumliche Korrelationsstruktur erhält.

Im folgenden beschreibe  $a \in A$  den Agenten und sei  $G$  eine Funktion, die einem Agenten einen Gesundheitszustand zuordnet. Um die Gesundheit der Agenten räumlich verteilt zu initialisieren wird die rekursive Funktion

$$G_a = G_{i-1}(a) + P + S_{x,y} + \varepsilon$$

solange aufgerufen, bis die Werte für Gesundheit konvergieren (vgl. Kapitel 4.2.1).  $G$  repräsentiert die Gesundheit,  $S$  den Stressor und  $P$  stellt den Einfluss des Alters ( $-0,26863$ ) dar. Der Alterseinfluss wird aus linearen Regressionen der Variablen Alter und Gesundheit aus dem erstellten SOEP-Datensatz gewonnen. Im folgenden bezeichnet  $\varepsilon$  immer eine Zufallszahl zwischen  $-0,5$  und  $0,5$ . Durch diese Zufallszahl wird die Variabilität in der Realität und andere Faktoren, die in dieses Modell nicht einfließen, aber in der Realität vorhanden sind, widergespiegelt. Die gesamte Initialisierung wird so programmiert, dass die Anfangsbelegung der Variablen zufällig, aber für alle Wiederholungen der agentenbasierten Simulationen gleichbleibend ist. Die initialisierten Werte für jeden Agenten und jedes Feld werden in einer gemeinsamen Datentabelle abgespeichert, auf der die agentenbasierten Simulationen nach der Initialisierung ablaufen können. Dafür wird das R-Paket „data.table“ verwendet. Datentabellen sind eine weiterentwickelte Form der in R üblichen „data frames“ und sind insbesondere für große Datenmengen schneller und bezüglich des Speichers in den meisten Anwendungen effizienter (Dowle & Srinivasan 2019).

## 6. Inputdaten:

Für die agentenbasierten Simulationen sind keine weiteren Inputdaten erforderlich.

## 7. Submodelle:

Die im Absatz „3. Prozessübersicht und Terminierung der Prozesse“ kurz vorgestellten Prozesse werden hier detailliert dargestellt:

**Altern:** Mit jeder Iteration altert jeder Agent um ein Jahr.

**Umzüge:** In jeder Iteration ziehen 1% (entspricht 28 800) Agenten um. Die Umzüge sind in das Modell integriert, um eine zufällige Diversität in der Bevölkerung der Modellierung zu gewährleisten und sie damit realitätsnäher zu gestalten. Zufällige Umzüge in dem Modell führen zu einer zufälligen Durchmischung der Agenten und je höher die Anzahl der umziehenden Agenten ist, desto mehr wird die räumliche Korrelationsstruktur der Gesundheit aufgrund der Umzüge zerstört.

Die Forschungsfrage dieser Arbeit bezieht sich auf die Wirkung von nachbarschaftlichen, sozialen Mechanismen und nicht auf die Wirkung von zufälligen Umzügen. Daher wird die Prozentzahl für die zufälligen Umzüge so niedrig gesetzt, dass durch die Umzüge die räumliche Korrelationsstruktur für Gesundheit über 10 Iterationen erhalten bleibt. Die 28 800 umziehenden Agenten werden per Zufallsziehung ermittelt und auf zufällige, unbewohnte Positionen gesetzt. Dabei werden die agentenbezogenen Attribute (Agentenidentifikationsnummer, Gesundheitszustand, Verhalten, Alter und Zusammengehörigkeitsgefühl) auf den neuen Eintrag in der Datentabelle übertragen und im alten Eintrag gelöscht. Die Ermittlungen der neuen Positionen und das Übertragen und Löschen der Agentenattribute wird über die Identifikationsnummern der Felder und Agenten durchgeführt, die als Schlüsselvariable fungieren.

**Verhalten der sozialen Umgebung:** Das mittlere Verhalten der benachbarten Agenten wird über eine Funktion ermittelt. Dabei werden für jeden Agenten die acht möglichen Nachbarpositionen über die Koordinaten abgefragt (vgl. Moores Nachbarschaft, Abbildung 21). Von allen existierenden und von einem Agenten bewohnten Nachbarpositionen (falls ein Agent eine Position am Rand des Gittermusters besitzt, hat er weniger als acht Nachbarpositionen) wird das Verhalten abgefragt. Anschließend wird deren Mittelwert über das Verhalten ( $\overline{NV}_a$ ) gebildet und für jeden Agenten in der Datentabelle abgespeichert. Wenn ein Agent von keiner bewohnten Nachbarposition umgeben ist, ist  $\overline{NV}_a = 0$ .

**Verhaltensadaption:** Die Anpassung des eigenen Verhaltens ist für die agentenbasierten Simulationen des Mechanismus *sozialer Ansteckung* gegeben durch

$$V_{a,t} = (\overline{NV}_a - V_{a,t-1}) \cdot \alpha + \varepsilon,$$

wobei  $\overline{NV}_a$  der Mittelwert über das Verhalten der benachbarten Agenten und  $V_{a,t}$  das Verhalten zum Zeitpunkt  $t$  ist.  $\alpha$  ist die Einflussgröße der sozialen Ansteckung. Durch variieren der Größe von  $\alpha$  können verschieden starke soziale Effekte auf kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten modelliert werden. Dabei gilt  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Für  $\alpha = 0$  ist der Mechanismus soziale Ansteckung ausgeschaltet und nur  $\varepsilon$  hat einen Einfluss auf die Verhaltensänderung. Diese agentenbasierten Simulationen werden als Positivkontrolle bezeichnet. Dadurch kann überprüft werden, wie die Korrelationsstrukturen sich während der agentenbasierten Simulationen ohne Einfluss von sozialen Mechanismen entwickeln.



Durch diesen Vergleich wird eine experimentelle Situation erschaffen. Ein ideales Experiment besteht aus verschiedenen Simulationen (oder Gruppen), die identisch zueinander sind, bis auf den experimentellen Faktor (in diesem Modell soziale Mechanismen). Der Unterschied in den agentenbasierten Simulationen ohne und mit den Mechanismen und folglich auch den Korrelationsstrukturen wird dann durch die sozialen Mechanismen verursacht (Bavel & Grow 2017).

Aufgrund der langen Laufzeit der agentenbasierten Simulationen werden nicht alle Werte für  $\alpha$  getestet. Folgende Werte werden für  $\alpha$  in den agentenbasierten Simulationen für *soziale Ansteckung*, neben der Positivkontrolle, getestet:

$$\alpha \in \{0, 1, 0, 2, 0, 4, 0, 6, 0, 8, 1\}$$

Die Anpassung des eigenen Verhaltens ist für die agentenbasierten Simulationen des Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* gegeben durch

$$V_{a,t} = (\overline{NV}_a - V_{a,t-1}) \cdot \alpha \cdot ZG_a + \varepsilon,$$

wobei  $ZG_a$  das Zusammengehörigkeitsgefühl darstellt. Ein starkes Zusammengehörigkeitsgefühl ( $ZG_a > 1$ ) verstärkt die Verhaltensadaption, während ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl ( $ZG_a < 1$ ) die Verhaltensadaption verringert. Ein Zusammengehörigkeitsgefühl von  $ZG_a = 1$  hat keinen Einfluss auf die Verhaltensadaption. Die agentenbasierten Simulationen des Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* werden bei einem festen  $\alpha$  durchgeführt, bei dem die Simulationen mit dem Mechanismus *soziale Ansteckung* nach 10 Iterationen Korrelationsstrukturen und folglich gesundheitliche Ungleichheiten vorweisen kann. In dem Fall hat der Mechanismus der *sozialen Ansteckung* einen zu geringen Einfluss auf die Verhaltensadaption und als Konsequenz auch auf die Gesundheit, was sich in einer noch vorhandenen Korrelationsstruktur für Gesundheit zeigt. Besagtes  $\alpha$  wird aus den agentenbasierten Simulationen für *soziale Ansteckung* gewonnen und für die agentenbasierten Simulationen für *sozialen Zusammenhalt* übernommen. Als Positivkontrolle für die agentenbasierten Simulationen des Mechanismus *sozialen Zusammenhaltes* werden die agentenbasierten Simulationen mit dem entsprechenden  $\alpha$  aus den agentenbasierten Simulationen für den Mechanismus *soziale Ansteckung* herangezogen. In den agentenbasierten Simulationen für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* werden zwei unterschiedliche Szenarien getestet:

- (a) Es wird von einem allgemein niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl unter allen Agenten in den agentenbasierten Simulationen ausgegangen
- (b) Es wird von einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl unter allen Agenten in den agentenbasierten Simulationen ausgegangen

Das niedrige bzw. hohe Zusammengehörigkeitsgefühl wird über unterschiedlich hohe Mittelwerte bei der Initialisierung realisiert (vgl. 5. Initialisierung).

**Gesundheitsadaption:** Die eigene Gesundheit wird nach jeder Iteration für jeden Agenten angepasst. Die Formel der Gesundheit für den Mechanismus *soziale Ansteckung* ist gegeben durch

$$G_{a,t} = G_{a,t-1} + P + S_{x,y} \cdot N + (V_{a,t-1} - V_{a,t}) \cdot M + \varepsilon.$$

Dabei wird die alte Gesundheit ( $G_{a,t-1}$ ), der Einfluss des Alterns (P), der Stressor  $S_{x,y}$  mit dem Faktor  $N$  ( $N = 0,01$ ), der Verhaltensunterschied zwischen dem Verhalten vor und nach der Verhaltensadaption mit dem Faktor  $M$  ( $M = 0,1$ ) und  $\varepsilon$  herangezogen. Bei dem Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* wird zusätzlich noch das Zusammengehörigkeitsgefühl ( $ZG_a$ ) in die Berechnung der Gesundheit miteinbezogen, da diese auch direkt einen Einfluss auf die Gesundheit haben kann.

Die Formel für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* lautet:

$$G_{a,t} = G_{a,t-1} + P + S_{x,y} \cdot N + ((V_{a,t-1} - V_{a,t}) \cdot M) + (ZG_a - 1) \cdot M + \varepsilon.$$

Der Stressor und der Verhaltensunterschied werden mit einem Faktor multipliziert, um die Realität besser abzubilden. In der Realität haben die Umwelt und das Verhalten einen Einfluss auf die Gesundheit, aber bedingen diese nicht vollständig. Insbesondere der Einfluss der Verhaltensänderung auf die Gesundheit darf nicht zu stark gewichtet werden, damit nicht nach wenigen Iterationen das Verhalten bei allen Agenten, mit minimalen Abweichungen, identisch ist. Der genaue Wert für den Faktor des Stressor wurde experimentell bestimmt. Dazu wurde die Positivkontrolle verwendet und ermittelt, bei welchem Faktor die räumliche Korrelationsstruktur erhalten bleibt. Der Einfluss der Verhaltensänderung auf die Gesundheit wird um ein Zehntel höher, als der Einfluss des Stressors gesetzt, weil für die vorliegende Forschungsfrage der Einfluss der Verhaltensadaption (des sozialen Mechanismus) über einen längeren Zeitraum wichtiger, als der Einfluss des Stressor ist.

Damit die Effekte der sozialen Ansteckung wirken können, muss der Einfluss des Verhaltens auf die Gesundheit höher sein, als der Einfluss des Stressors. Der Einfluss des Zusammengehörigkeitsgefühls wurde genauso hoch (0,1) gesetzt, wie der Einfluss der Verhaltensänderung. In jeder Iteration und nach der Initialisierung der Gesundheit wird diese nach der Berechnung standardisiert. Dadurch wird eine gleichbleibende Varianz gewährleistet, die Werte für Gesundheit können keine zu großen Abweichungen bekommen und das Semivariogramm kann mit gleichbleibenden Parametern berechnet werden. Die Standardisierung ist gegeben durch

$$\hat{G}_{a,t} = G_{a,t} - \frac{\bar{G}_{a,t}}{\sigma(G_{a,t})},$$

wobei  $G_{a,t}$  die Gesundheit des Agenten  $a$  zum Zeitpunkt  $t$ ,  $\bar{G}_{a,t}$  der Mittelwert der Gesundheit und  $\sigma(G_{a,t})$  die Standardabweichung der Gesundheit ist. In der normierten Form hat Gesundheit immer eine Varianz von 1 und einen Mittelwert von 0 (minimale Abweichungen im Dezimalstellenbereich sind möglich).

Abbildung 23 stellt den Ablauf der agentenbasierten Simulationen für den Mechanismus *soziale Ansteckung* dar. Die Modellierung basiert auf dem in Kapitel 2.4 dargestellten theoretischen Modellentwurf (vgl. Kapitel 2.4, Abbildung 16). Dabei werden die Grundannahmen übernommen und um die konkreten Werte der Initialisierung und der Formeln erweitert. Weiterhin werden die Mechanismen in ihre einzelnen Teile der Kausalkette aufgeschlüsselt. Die Elemente mit Nummerierung in Abbildung 23 stellen die modellierte Vorgehensweise für *soziale Ansteckung* dar. Die Abläufe in den Elementen werden im folgenden ohne Formeln beschrieben:

1. Gradientenbestimmung (die Differenz des Mittelwertes des Verhaltens der unmittelbar umgebenden NachbarInnen und des eigenen Verhaltens wird gebildet)
2. Anwendung von Einflüssen (die Differenz wird mit sozialen und unbekanntem Einflüssen gewichtet)
3. Aktualisierung des Verhaltens (das eigene Verhalten wird mit der gewichteten Differenz addiert)
4. Verhaltensadaption (die Differenz aus dem aktualisierten Verhalten und dem alten Verhalten wird gebildet)

5. Einfluss der Verhaltensadaption auf die Gesundheit (die Verhaltensadaption beeinflusst die Gesundheit)

In Abbildung 24 wird das um den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* erweiterte Modell, basierend auf Abbildung 17 in Kapitel 2.4 dargestellt. Die Nummerierung der einzelnen Abläufe des Mechanismus ist für die Elemente eins bis fünf äquivalent zur Nummerierung der *sozialen Ansteckung*. Die zusätzlichen Abläufe für *sozialen Zusammenhalt* werden im folgenden ohne Formel beschrieben:

6. Indirekter Einfluss des Zusammengehörigkeitsgefühls auf die Gesundheit (das Zusammengehörigkeitsgefühl beeinflusst die Gesundheit indirekt über die *soziale Ansteckung*)
7. Einflussgewichtung für das Zusammengehörigkeitsgefühl (der Einfluss des Zusammengehörigkeitsgefühls wird gewichtet, um positive und negative Einflüsse zu gewährleisten)
8. Direkter Einfluss des Zusammengehörigkeitsgefühls auf die Gesundheit (das Zusammengehörigkeitsgefühl beeinflusst über den gewichteten Einfluss die Gesundheit)

**Simulationsszenarien und Ergebnisse:** Insgesamt werden neun verschiedene Simulationsszenarien durchgeführt:

- Positivkontrolle:  
Ohne Wirkung von sozialen Mechanismen ( $\alpha = 0$ )
- *Soziale Ansteckung:*  
Sechs verschiedene Werte für  $\alpha \in \{0, 1, 0, 2, 0, 4, 0, 6, 0, 8, 1\}$
- *Sozialer Zusammenhalt:*  
Niedriges und hohes Zusammengehörigkeitsgefühl

Jedes Simulationsszenario wird 100 mal wiederholt, um eine hohe Reliabilität zu erhalten. Die Korrelationsstruktur nach 10 Iterationen einer jeden agentenbasierten Simulation kann laut der Methode „Correlation Neighborhood“ (vgl. Kapitel 3.2) mit gesundheitlichen Ungleichheiten gleichgesetzt werden und wird am Ende jeder agentenbasierten Simulation durch Semivariogramme ermittelt.

Zusätzlich werden für das Verhalten Korrelationsstrukturen berechnet, um die Verhaltensadaption am Ende der agentenbasierten Simulationen zu dokumentieren. Aufgrund der hohen Anzahl an Agenten, ist es nicht möglich mit R Semivariogramme für alle 288 000 Agenten zu berechnen. Deswegen werden 10% der Agenten<sup>22</sup> in die Berechnung der Semivariogramme miteinbezogen. Diese 28 742 Agenten werden zufällig aus dem Datensatz gezogen. Diese Zufallsziehung mit anschließender Semivariogrammberechnung wird in jeder agentenbasierten Simulation 20 mal wiederholt, um ein stabiles Ergebnis zu gewährleisten. Die Ergebnisse jeder einzelnen Ziehung werden in einem Vektor abgespeichert und für jedes Simulationsszenario in einer Matrix zusammengefasst. Der Vektor beinhaltet dabei als Ergebnisse deskriptive Werte für Verhalten und wichtige Werte der berechneten Korrelationsstrukturen für Gesundheit und Verhalten. Eine Übersicht über die Ergebnisparameter der agentenbasierten Simulationen ist in Tabelle 2 dargestellt. Aufgrund der Normierung von Gesundheit ist es nicht notwendig Mittelwerte und Varianzen der Gesundheit abzuspeichern.

Aus den 20 Ziehungen einer jeden agentenbasierten Simulation werden anschließend die Mittelwerte berechnet und in einem Vektor abgespeichert. Die 100 voneinander unabhängigen Vektoren eines Szenarios werden zu einem Datensatz zusammengefügt. Von diesem Datensatz werden für jedes Simulationsszenario Mittelwerte berechnet, welche graphisch<sup>23</sup> mit den zugehörigen Standardabweichungen dargestellt werden. Weiterhin werden Minima und Maxima berechnet und von jedem Simulationsszenario jeweils vier zufällig ausgewählte, beispielhafte Semivariogramme graphisch abgespeichert. Zusätzlich werden Semivariogramme von der Ausgangssituation für alle Variablen mit einer anfänglichen Korrelationsstruktur erstellt und abgespeichert.

---

<sup>22</sup>Größtmögliche Anzahl von Agenten, die R miteinbeziehen kann.

<sup>23</sup>Sämtliche graphischen Auswertungen werden mit R (Version: 3.6.2) durchgeführt.

Tabelle 2: Übersicht über die Ergebnisparameter der agentenbasierten Simulationen nach 10 Iterationen.

Gesundheit	Verhalten
Partial Sill	Partial Sill
Nugget	Nugget
RSV	RSV
Practical Range	Practical Range
-	Mittelwert
-	Varianz

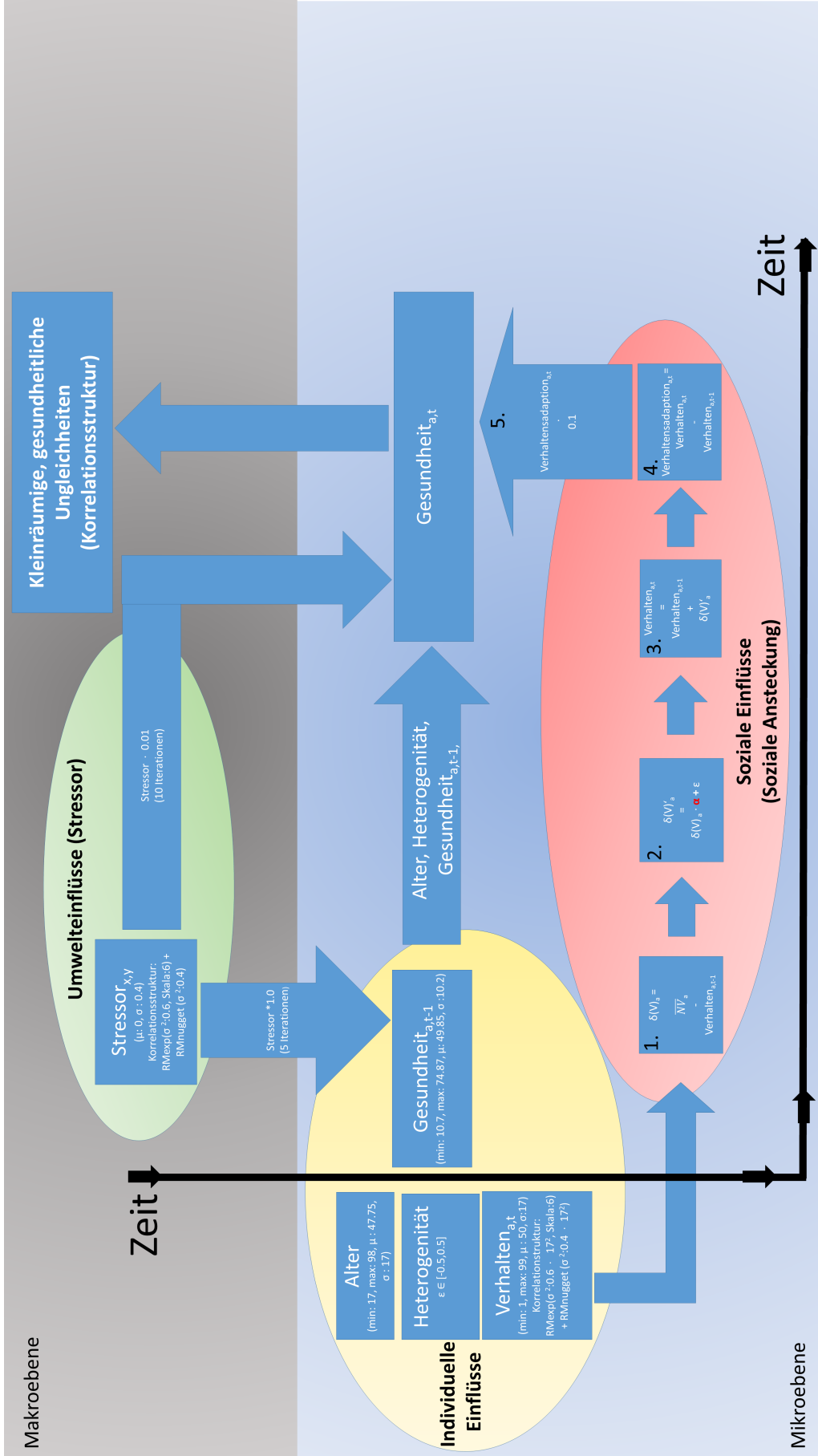


Abbildung 23: Darstellung der Modellierung für den Mechanismus soziale Ansteckung.

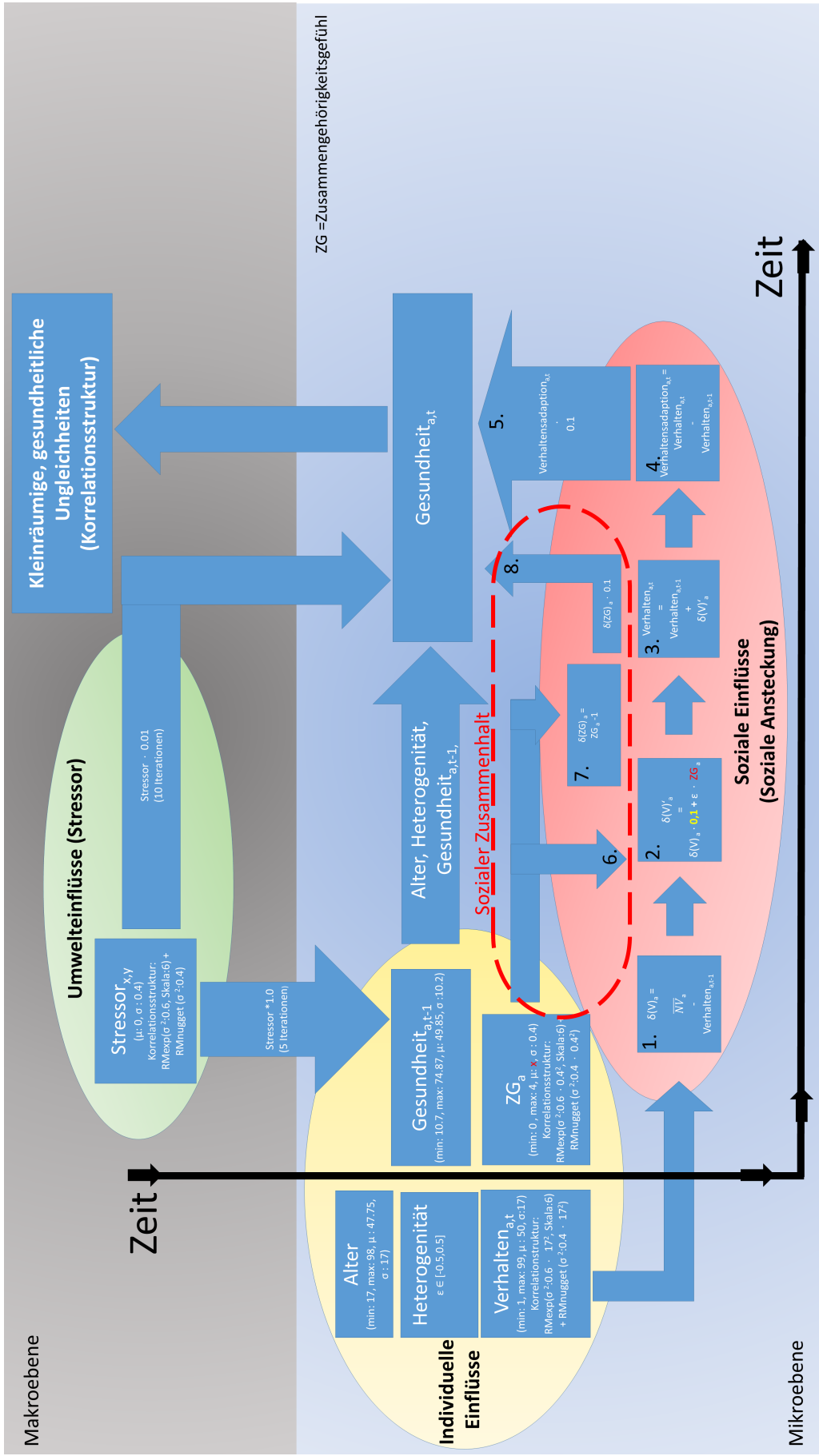


Abbildung 24: Darstellung der Modellierung für den Mechanismus sozialer Zusammenhalt.



## 4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden zuerst die Ergebnisse der Literaturrecherche vorgestellt (Kapitel 4.1) und im Anschluss die Ergebnisse der durchgeführten, agentenbasierten Simulationen (Kapitel 4.2). Weiterhin wird in Kapitel 4.3 das entwickelte Erklärungsmodell zur Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten, basierend auf den Ergebnissen der agentenbasierten Simulationen, dargestellt.

### 4.1 Ergebnisse der Literaturrecherche

Die Literaturrecherche wird durchgeführt, um die erste Forschungsfrage dieser Arbeit zu beantworten:

Forschungsfrage 1: Welche sozialen Mechanismen (nach Galsters Typologie für soziale Mechanismen) wurden in epidemiologischen Publikationen bezüglich kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten untersucht, wurden diese als Faktoren oder Prozesse analysiert und wie wurden sie operationalisiert?

In PubMed werden mit dem verwendeten Suchterm (vgl. Kapitel 3.1) 1010 Publikationen gefunden. Weitere neun relevante Publikationen können über das Schneeballprinzip identifiziert werden. Von den 1019 Publikationen können 978 Publikationen nach dem Lesen der Titel und Abstracts ausgeschlossen werden. Diese ausgeschlossenen Studien weisen keinen Kontext zur Forschungsfrage der Literaturrecherche auf. Beispielsweise werden dabei nicht epidemiologische Studien oder Studien, die nicht auf gesundheitliche Ungleichheiten fokussiert sind, ausgeschlossen. Volltexte der übrigen 41 Publikationen werden gelesen und überprüft ob tatsächlich mindestens ein sozialer Mechanismus analysiert wurde. Bei 14 Publikationen wurde kein Mechanismus erwähnt und 12 Publikationen erwähnten mindestens einen Mechanismus, aber analysierten ihn nicht explizit. Nach dem Ausschluss dieser 26 Publikationen können 15 Publikationen in die weitere Analyse miteinbezogen werden. Eine Übersicht über die Auswahl der Literatur ist in Abbildung 25 dargestellt. Basisinformationen über die 15 eingeschlossenen Studien sind im Anhang A.2 (vgl. Tabellen 11 und 12) dargestellt. Die meisten Studien (vier) wurden im Vereinigten Königreich durchgeführt (Chandola 2001; Mitchell, Gleave et al. 2000; Gatrell, Popay et al. 2004; Fone, White et al. 2014). Drei Studien haben ihren Ursprung in den USA (Ard, Colen et al. 2016; Boardman 2004; Bjornstrom 2011).

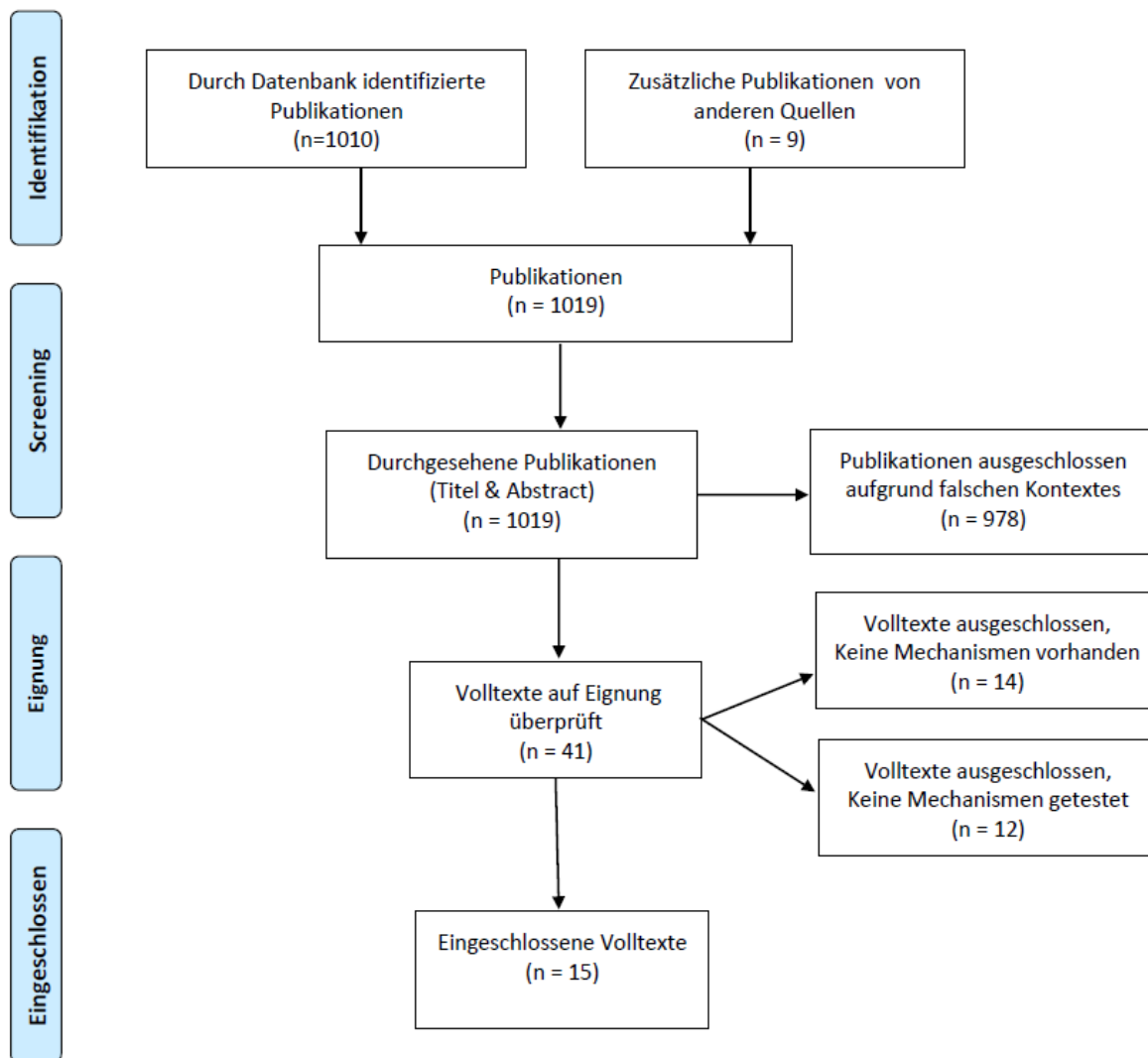


Abbildung 25: Visualisierung des Auswahlprozesses der Literaturrecherche (eigene Darstellung, angelehnt an Moher, Shamseer et al. 2015).

Jeweils zwei Studien stammen aus Australien (Ziersch, Baum et al. 2005; Baum, Ziersch et al. 2009), den Niederlanden (Vries, Dillen et al. 2013; Putrik, Vries et al. 2015) und Belgien (Clercq, Vyncke et al. 2012; Pinxten & Lievens 2014). Eine Studie kommt aus Norwegen (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010) und eine aus Japan (Iwase, Suzuki et al. 2012). Das Hauptoutcome bei allen Studien war selbst berichtete Gesundheit. Sieben Studien verwendeten eine allgemeine Messung von Gesundheit (Ard, Colen et al. 2016; Iwase, Suzuki et al. 2012; Clercq, Vyncke et al. 2012; Chandola 2001; Bjornstrom 2011; Baum, Ziersch et al. 2009; Vries, Dillen et al. 2013). Eine Studie analysierte ausschließlich physische Gesundheit (Mitchell, Gleave et al. 2000) und zwei Studien unterschieden zwischen mentaler und physischer Gesundheit (Ziersch, Baum et al. 2005; Pinxten & Lievens 2014). Fünf Studien beschränkten sich auf das Outcome mentale Gesundheit (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010; Gatrell, Popay et al. 2004; Fone, White et al. 2014; Boardman 2004; Putrik, Vries et al. 2015).

Das Ziel fast aller (14) Studien war, eine statistische Assoziation zwischen den Expositionen (Arten der Operationalisierungen von sozialen Mechanismen) und dem jeweiligen Outcome (selbstberichtete Gesundheit) zu analysieren. Eine Studie (Vries, Dillen et al. 2013) untersuchte den sozialen Zusammenhalt als Mediator zwischen lokalen Grünräumen und Gesundheit. Bis auf eine Studie (Fone, White et al. 2014) hatten alle ein Querschnittsdesign (vgl. Anhang A.2, Tabellen 11 und 12).

Die Formen der Operationalisierungen der sozialen Mechanismen werden gemäß Galsters (Galster 2012) vorgeschlagener Typologie sozialer Mechanismen klassifiziert (vgl. Tabelle 3). Insgesamt können 20 verschiedene Formen von Operationalisierung für soziale Mechanismen in den 15 eingeschlossenen Studien identifiziert werden. Für die Kategorien *kollektive Sozialisierung*, *Wettbewerb* und *elterliche Mediation* können keine Mechanismus zugeordnet werden.

Acht Formen von Operationalisierungen werden der Kategorie *soziale Netzwerke* zugeordnet. Dazu zählen *soziale Unterstützung*, *emotionale Unterstützung*, *praktische Unterstützung*, *Anzahl an FreundInnen*, *Verbindungen in der Nachbarschaft*, *soziale Teilhabe*, *Anwesenheit einer Vertrauensperson* und *Norm der Gegenseitigkeit* (vgl. Tabelle 3). *Soziale Unterstützung* wird in zwei Studien operationalisiert (Pinxten & Lievens 2014; Baum, Ziersch et al. 2009). Dabei konnte bei einer Studie eine signifikante Assoziation mit physischer und mentaler Gesundheit nachgewiesen werden (Pinxten & Lievens 2014).

Sowohl *emotionale* und *praktische Unterstützung*, als auch die *Anzahl an FreundInnen* wurden in einer Studie analysiert, aber die Assoziationen mit allgemeiner Gesundheit waren nicht signifikant (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010). Eine Studie untersuchte *Verbindungen in der Nachbarschaft*. Dabei konnte eine signifikante Assoziation mit mentaler Gesundheit festgestellt werden (Ziersch, Baum et al. 2005). Drei Studien analysierten *soziale Teilhabe*. Eine von diesen Studien wies eine signifikante Assoziation mit physischer Gesundheit auf (Baum, Ziersch et al. 2009). Die anderen beiden Studien hatten jeweils eine signifikante Assoziation mit allgemeiner Gesundheit (Ard, Colen et al. 2016; Iwase, Suzuki et al. 2012). Eine Studie betrachtete die *Anwesenheit einer Vertrauensperson*. In dieser Studie konnte eine signifikante Assoziation mit mentaler Gesundheit aufgezeigt werden (Gatrell, Popay et al. 2004). Zwei Studien analysierten *Norm der Gegenseitigkeit*. Sie konnten jedoch keine signifikanten Assoziationen mit den jeweiligen gesundheitlichen Outcomes nachweisen (Baum, Ziersch et al. 2009; Ziersch, Baum et al. 2005).

Der Kategorie *sozialer Zusammenhalt* werden neun Formen von Operationalisierungen zugeordnet: *Sozialer Zusammenhalt, Angst vor Kriminalität, Sicherheit in der Nachbarschaft, soziales Vertrauen, Vertrauen in die Nachbarschaft, Gruppenbeteiligung, Zufriedenheit in der Nachbarschaft, Stabilität in der Nachbarschaft* und *Einstellung gegenüber der Gemeinschaft*. Fünf Studien analysierten den *sozialen Zusammenhalt*. In allen Studien konnten eine signifikante Assoziation mit dem jeweiligen Outcome nachgewiesen werden. Dabei analysierten drei Studien allgemeine (Clercq, Vyncke et al. 2012; Putrik, Vries et al. 2015; Vries, Dillen et al. 2013) und zwei Studien mentale Gesundheit (Pinxten & Lievens 2014; Fone, White et al. 2014) als Outcome. Eine Studie untersuchte *Angst vor Kriminalität* und wies eine signifikante Assoziation mit allgemeiner Gesundheit auf (Chandola 2001). Drei Studien analysierten *Sicherheit in der Nachbarschaft*, wobei alle Assoziationen mit den jeweiligen Outcomes signifikant waren. Als Outcomes wurden dabei physische (Baum, Ziersch et al. 2009; Ziersch, Baum et al. 2005), mentale (Ziersch, Baum et al. 2005) und allgemeine (Putrik, Vries et al. 2015) Gesundheit analysiert. Zwei Studien analysierten *soziales Vertrauen*. Von diesen konnte eine Studie eine signifikante Assoziation mit mentaler Gesundheit (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010) nachweisen, die andere Studie jedoch nicht (Baum, Ziersch et al. 2009). Drei Studien analysierten *Vertrauen in die Nachbarschaft*. Zwei Studien davon zeigten eine signifikante Assoziation zwischen *Vertrauen in die Nachbarschaft* und allgemeiner Gesundheit (Ard, Colen et al. 2016; Bjornstrom 2011).

Die dritte Studie konnte keine signifikante Assoziation mit mentaler und physischer Gesundheit nachweisen (Ziersch, Baum et al. 2005). Sieben Studien untersuchten *Gruppenbeteiligung*. Zwei Studien davon zeigten eine signifikante Assoziation mit allgemeiner Gesundheit (Ard, Colen et al. 2016; Clercq, Vyncke et al. 2012). Die übrigen fünf Studien konnten keine signifikante Assoziation mit allgemeiner (Iwase, Suzuki et al. 2012), physischer (Pinxten & Lievens 2014; Baum, Ziersch et al. 2009; Ziersch, Baum et al. 2005) und mentaler (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010; Pinxten & Lievens 2014; Ziersch, Baum et al. 2005) Gesundheit nachweisen. Für *Zufriedenheit mit der Nachbarschaft* konnten zwei Studien signifikante Assoziationen mit mentaler Gesundheit (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010) und allgemeiner Gesundheit (Putrik, Vries et al. 2015) nachweisen. Eine Studie analysierte *Stabilität in der Nachbarschaft*. Dabei gab es eine signifikante Assoziation mit physischer Gesundheit (Boardman 2004). Ebenfalls eine Studie analysierte die *Einstellung gegenüber der Gemeinschaft* und wies dabei eine signifikante Assoziation mit physischer Gesundheit nach (Mitchell, Gleave et al. 2000).

Lediglich eine Form der Operationalisierung kann der Kategorie *soziale Ansteckung* zugeordnet werden. Für *kulturelle Teilhabe* wurde keine signifikante Assoziation mit mentaler oder physischer Gesundheit festgestellt (Pinxten & Lievens 2014). Der Kategorie *relative Deprivation* wird ebenfalls eine Form der Operationalisierung zugewiesen. Die Assoziation mit allgemeiner Gesundheit war dabei signifikant (Bjornstrom 2011). Nur eine der 15 Studien untersuchte einen Mechanismus, der auf beiden Ebenen (individuell und kleinräumig) operationalisiert werden kann (Putrik, Vries et al. 2015). Die anderen Studien waren ausschließlich auf die individuelle Ebene limitiert. Eine Studie verwendete Pathway-Analysen (Ziersch, Baum et al. 2005) und eine andere Mediationsanalysen (Putrik, Vries et al. 2015), um die Rolle von sozialen Mechanismen in einem kausalen Wirkpfad einzuschätzen. Dabei wurde das Einebenenmodell (vgl. Kapitel 2.2, Abbildung 9) angewandt. Die anderen Studien betrachteten Mechanismen lediglich als Assoziation zwischen einem Faktor und einem gesundheitlichen Outcome und wandten Regressionsmodelle an. Weder das Einebenen- noch das Mehrebenenmodell für Mechanismen wurden dabei verwendet. Die Erhebungen der einzelnen Operationalisierungen sind in Tabelle 4 dargestellt. Operationalisierungen für die Kategorien *soziale Netzwerke* und *sozialer Zusammenhalt* wurden überwiegend als direkte Fragen erhoben. Für einige Operationalisierungen wurden dabei aus mehreren Fragen Skalen berechnet. Zwei Studien verwendeten verschiedene, valide Skalen für die Erhebung des *sozialen Zusammenhalts* (Pinxten & Lievens 2014; Fone, White et al. 2014) (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 3: Überblick über soziale Mechanismen und ihre Formen der Operationalisierungen in den eingeschlossenen Publikationen.

Sozialer Mechanismus	Form der Operationalisierung	Referenzen
Soziale Netzwerke	soziale Unterstützung emotionale Unterstützung praktische Unterstützung Anzahl an FreundInnen Verbindungen in der Nachbarschaft soziale Teilhabe Anwesenheit einer Vertrauensperson	(Baum, Ziersch et al. 2009), (Pinxten & Lievens 2014) (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010) (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010) (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010) (Ziersch, Baum et al. 2005)* (Ard, Colen et al. 2016)*, (Baum, Ziersch et al. 2009), (Iwase, Suzuki et al. 2012)* (Gatrell, Popay et al. 2004)*
Sozialer Zusammenhalt	Norm der Gegenseitigkeit sozialer Zusammenhalt Angst vor Kriminalität Sicherheit in der Nachbarschaft soziales Vertrauen Vertrauen in die Nachbarschaft Gruppenbeteiligung	(Baum, Ziersch et al. 2009), (Ziersch, Baum et al. 2005) (Fone, White et al. 2014)*, (Baum, Ziersch et al. 2009)*, (Pinxten & Lievens 2014)*, (Clercq, Vyncke et al. 2012)*, (Putrik, Vries et al. 2015)*, (Vries, Dillen et al. 2013)* (Chandola 2001)* (Baum, Ziersch et al. 2009)*, (Ziersch, Baum et al. 2005)* (Putrik, Vries et al. 2015)* (Baum, Ziersch et al. 2009), (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010)* (Ard, Colen et al. 2016)*, (Bjornstrom 2011)* (Ziersch, Baum et al. 2005)* (Ard, Colen et al. 2016)*, (Baum, Ziersch et al. 2009), (Ziersch, Baum et al. 2005), (Pinxten & Lievens 2014), (Clercq, Vyncke et al. 2012)*, (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010), (Iwase, Suzuki et al. 2012) (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010)*, (Putrik, Vries et al. 2015)* (Boardman 2004)* (Mitchell, Gleave et al. 2000)*
Soziale Ansteckung	Zufriedenheit mit der Nachbarschaft	(Dahl & Malmberg-Heimonen 2010)*, (Putrik, Vries et al. 2015)*
Relative Deprivation	Stabilität in der Nachbarschaft	(Boardman 2004)*
Wettbewerb	Einstellung gegenüber der Gemeinschaft	(Mitchell, Gleave et al. 2000)*
Kollektive Sozialisierung	kulturelle Teilhabe	(Pinxten & Lievens 2014)
Elterliche Mediation	relative Position	(Bjornstrom 2011)*
	-	-
	-	-
	-	-

\* signifikante Assoziation zwischen Exposition und gesundheitlichem Outcome

Tabelle 4: Übersicht über Formen der Operationalisierungen und ihre Erhebung in den eingeschlossenen Publikationen.

Form der Operationalisierung	Erhebung
soziale Unterstützung	5-Item Skala (Situationen in denen eine Person sich auf andere verlassen kann)(Pinxten & Lievens 2014), 5-Item Skala (Wahrnehmung andere um Hilfe fragen zu können)(Baum, Ziersch et al. 2009)
emotionale Unterstützung	5-Item Skala (emotionale Unterstützung von anderen Menschen)(Dahl & Malmberg-Heimonen 2010)
praktische Unterstützung	8-Item Skala (praktische Unterstützung durch andere Menschen)(Dahl & Malmberg-Heimonen 2010)
Anzahl an FreundInnen	Anzahl von angegebenen FreundInnen (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010)
Verbindungen in der Nachbarschaft	Vier Fragen über Nachbarschaftsverbindungen (Ziersch, Baum et al. 2005)
soziale Teilhabe	Index (Mittelwert von fünf Fragen)(Ard, Colen et al. 2016), Anzahl an Gruppenaktivitäten (Iwase, Suzuki et al. 2012), angegebener persönlicher Kontakt (exklusive MitbewohnerInnen) (Baum, Ziersch et al. 2009)
Anwesenheit einer Vertrauensperson	binäre Frage (Gatrell, Popay et al. 2004)
Norm der Gegenseitigkeit	Frage, ob Hilfeleistungen gegenüber anderen langfristig zu eigenen Hilfeleistungen führt (Baum, Ziersch et al. 2009), Anzahl von Hilfeleistungen, die empfangen oder gegeben wurden (Ziersch, Baum et al. 2005)
sozialer Zusammenhalt	Skala von Sampson et al. (Pinxten & Lievens 2014), 5-Item Skala (Fragen über Nachbarschaft)(Clercq, Vyncke et al. 2012), Buckner's „Neighbourhood Cohesion Scale “(Fone, White et al. 2014), Fragen über Nachbarschaft (Baum, Ziersch et al. 2009; Vries, Dillen et al. 2013), keine Angabe (Putrik, Vries et al. 2015)
Angst vor Kriminalität	Frage über Sicherheitsgefühl in der Nachbarschaft (Chandola 2001)
Sicherheit in der Nachbarschaft	Bewertung der Nachbarschaft (gefährlich bis sicher) (Baum, Ziersch et al. 2009), Frage über Sicherheit der Nachbarschaft in der Nacht (Ziersch, Baum et al. 2005), keine Angabe (Putrik, Vries et al. 2015)
soziales Vertrauen	Frage, über Vertrauen in andere Menschen (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010), Vertrauen in die Regierung und Firmen (Baum, Ziersch et al. 2009)
Vertrauen in die Nachbarschaft	Index über das Vertrauen in verschiedenen Entitäten in der Nachbarschaft (Ard, Colen et al. 2016; Ziersch, Baum et al. 2005), Frage, wie stark das Vertrauen in die NachbarInnen ist (Bjornstrom 2011)
Gruppenbeteiligung	Frage über Teilhabe in Gruppenaktivitäten (Ard, Colen et al. 2016; Baum, Ziersch et al. 2009; Ziersch, Baum et al. 2005; Clercq, Vyncke et al. 2012; Dahl & Malmberg-Heimonen 2010; Mitchell, Gleave et al. 2000), Frage über Teilhabe in Freizeitaktivitäten (Pinxten & Lievens 2014)
Zufriedenheit mit der Nachbarschaft	Frage über Zufriedenheit mit der Nachbarschaft (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010)
Stabilität in der Nachbarschaft	Zwei Fragen über die Stabilität in der Nachbarschaft (Boardman 2004)
Einstellung gegenüber der Gemeinschaft	Frage über Zusammengehörigkeitsgefühl in der Gemeinschaft (Mitchell, Gleave et al. 2000)
kulturelle Teilhabe	Berechnung der relativen Position (Bjornstrom 2011)
relative Position	Frage über Teilhabe in kulturellen Aktivitäten (Pinxten & Lievens 2014)

\* signifikante Assoziation zwischen Exposition und gesundheitlichem Outcome

## 4.2 Durchgeführte, agentenbasierte Simulationen

Mittels Semivariogrammen werden Korrelationsstrukturen in den agentenbasierten Simulationen berechnet, welche die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten für jedes Simulationsszenario und die Ausgangssituationen repräsentieren (vgl. Kapitel 3.2). Die RSV gibt die Stärke der Korrelation in Prozent an. Hierbei steht ein hoher Wert für eine hohe Korrelation. Der Nugget repräsentiert die Variabilität innerhalb der Simulationsumgebungen. Bei einem niedrigen Wert unterscheiden sich die nebeneinanderliegenden Agenten kaum voneinander und mit einem zunehmenden Nugget sind die Unterschiede größer. Der Practical Range gibt die Distanz an, bei der die Korrelation weniger als 5% beträgt und spiegelt die räumliche Dimension der Korrelationsstruktur wider. Die Kurve im Semivariogramm nähert sich einer Geraden mit Ursprung bei 1 an, wenn keine Korrelationsstruktur vorliegt und sie weist eine Krümmung auf, wenn eine Korrelationsstruktur vorhanden ist<sup>24</sup>.

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der agentenbasierten Simulationen vorgestellt. Zuerst wird deren unveränderliche Ausgangssituation beschrieben. Dabei werden explizit die verwendeten Parameter aus dem SOEP dargelegt und anschließend überprüft, ob und wie die Variablen mit einer definierten Anfangskorrelation räumlich verteilt werden. Anschließend werden vier beispielhafte Korrelationsstrukturen mit den dazugehörigen Werten für jedes Simulationsszenario für Gesundheit und Verhalten gezeigt. Danach werden die einzelnen Parameter für alle Simulationsszenarien und die Ausgangssituation miteinander verglichen. Zum Schluss werden die in Kapitel 3 entwickelten, durch die agentenbasierten Simulationen verifizierten, Erklärungsmodelle zur Reduzierung kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten dargestellt.

### 4.2.1 Initialisierung der agentenbasierten Simulationen mit SOEP-Daten

In der Methodik (vgl. Kapitel 3.3) wird u.a. die Initialisierung der agentenbasierten Simulationen beschrieben. Dafür werden Daten aus der Realität für die Ausgangswerte von Alter und Gesundheit herangezogen. Für Gesundheit wird die physische Summenskala (*pcs*) verwendet, die auf dem standardisierten Instrument zur krankheitsübergreifenden Erfassung des subjektiven Gesundheitszustandes (SF-12) basiert (Bullinger & Kirchberger 1998; Radoschewski & Bellach 1999). Die aus dem erstellten Datensatz erhaltenen Werte werden in Tabelle 5 dargestellt.

---

<sup>24</sup>Detaillierte Ausführungen zu Korrelationsstrukturen, Semivariogrammen und deren Zusammenhang mit kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten sind in Kapitel 3.2 dargestellt.



Im aufbereiteten Datensatz sind insgesamt 16 477 vollständige Fälle enthalten, die Alter und Gesundheit im Jahr 2014 für urbane Räume in Deutschland beschreiben. Für die Initialisierung der agentenbasierten Simulationen werden Minima (Alter: 17 Jahre und Gesundheit: 10,70), Maxima (Alter: 98 Jahre und Gesundheit: 74,87), Mittelwerte (Alter: 47,75 Jahre und Gesundheit: 49,85) und Varianzen (Alter: 304,133 und Gesundheit: 103,788) verwendet.

Tabelle 5: Übersicht über SOEP-Parameter für die Initialisierung von Gesundheit und Alter der agentenbasierten Simulationen.

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Varianz	Standard- abweichung
Alter:	17	98	47,75	304,133	17,442
Gesundheit:	10,70	74,87	49,85	103,788	10,188

#### 4.2.2 Korrelationsstrukturen der Ausgangssituation

Zu Beginn der agentenbasierten Simulationen werden Korrelationsstrukturen für den Stressor, das Verhalten und das Zusammengehörigkeitsgefühl definiert. Der Stressor und das Zusammengehörigkeitsgefühl werden als statische, stochastische Variablen definiert, die den Feldern eindeutig zugeordnet sind und sich im Verlauf der agentenbasierten Simulationen nicht ändern. Die Korrelationsstruktur des Stressors und des Zusammengehörigkeitsgefühls bleiben folglich über den gesamten Verlauf der agentenbasierten Simulationen identisch und gleich stark ausgeprägt.

##### Stressor

Die Korrelationsstruktur des Stressors ist in Abbildung 26 dargestellt und verdeutlicht, dass die räumliche Verteilung des Stressors erfolgreich ist. Die Kurve weist einen, den Initialisierungswerten für den Stressor entsprechenden Verlauf auf. Die Initialisierung für den Stressor wird über eine Normalverteilung mit Mittelwert = 0 und Standardabweichung = 2 realisiert. Die räumliche Verteilung des Stressors resultierte in einer Änderung der Initialisierungswerte (Mittelwert = 0,13 und Standardabweichung = 1,011). Die deutlich zu erkennende Krümmung der Kurve zeigt die räumliche Korrelation an. Die zu dem Semivariogramm dazugehörigen Werte sind in Abbildung 26 dargestellt.

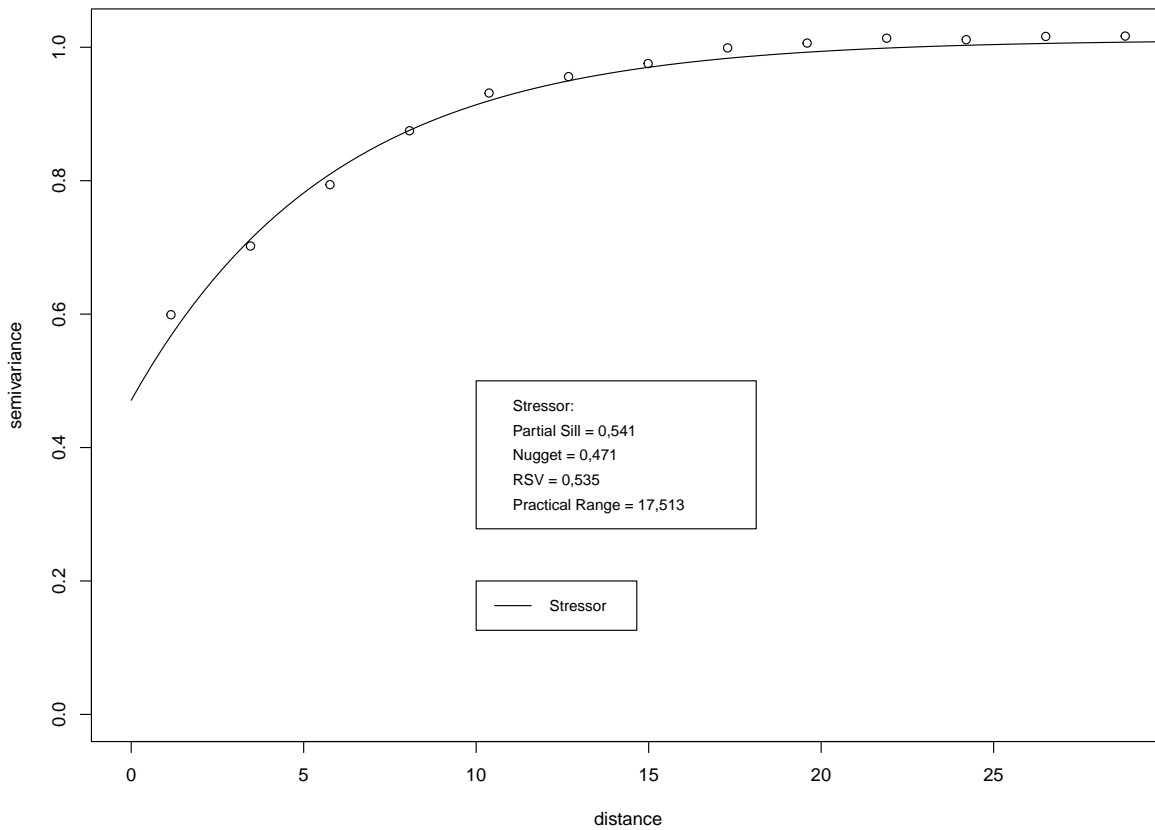


Abbildung 26: Gleichbleibende Korrelationsstruktur des Stressors in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen.

## Gesundheit

Die initialen Werte für Gesundheit werden aus den SOEP-Daten herangezogen. Vor der räumlichen Verteilung und der Standardisierung der Gesundheit ist der Mittelwert 49,85, die Varianz beträgt 103,8 und die Werte liegen zwischen 10,7 und 74,87 (übereinstimmend mit den SOEP-Parametern (vgl. Tabelle 5)). Diese Werte werden in Abhängigkeit des Stressors räumlich verteilt. Dabei wird die Beeinflussung durch den Stressor so viele Iterationen lang ausgeführt, bis die Korrelationsstruktur der Gesundheit konvergiert und damit stabil bleibt. Nach dieser, durch den Stressor induzierten, räumlichen Verteilung beträgt der Mittelwert 49,725, die Varianz 99,060 und die Werte liegen zwischen 11,036 und 74,870. Nach der räumlichen Verteilung der Gesundheit wird diese standardisiert. Für sämtliche agentenbasierte Simulationen und auch die Darstellung der Korrelationsstruktur von Gesundheit in der Ausgangssituation wird die standardisierte Gesundheit verwendet.

Nach der Standardisierung liegt der Mittelwert bei 0,004, die Varianz bei 0,999 und die Werte zwischen -3,899 und 2,536. Wobei eine negative Zahl eine schlechte Gesundheit und eine positive Zahl eine gute Gesundheit repräsentiert. Nach fünf Iterationen der Beeinflussung durch den Stressor ist die Korrelationsstruktur der Gesundheit stabil und hat sich der Korrelationsstruktur des Stressors angenähert. Das Semivariogramm in Abbildung 27 stellt die Korrelationsstrukturen des Stressors (vgl. blaue Linie in Abbildung 27), der Gesundheit vor der Beeinflussung durch den Stressor (vgl. rote Linie in Abbildung 27) und der Gesundheit nach der Beeinflussung durch den Stressor (vgl. schwarze Linie in Abbildung 27) dar. Das Semivariogramm zeigt, dass für die Gesundheit vor der Beeinflussung durch den Stressor keine räumliche Verteilung geschätzt werden kann. Somit ist keine Korrelationsstruktur vorhanden und es gibt auch keine zur Korrelationsstruktur gehörenden Werte. Der Linienverlauf zeigt, wie ein Semivariogramm aussieht, wenn keine Schätzung der Korrelationsstruktur durchgeführt werden kann.

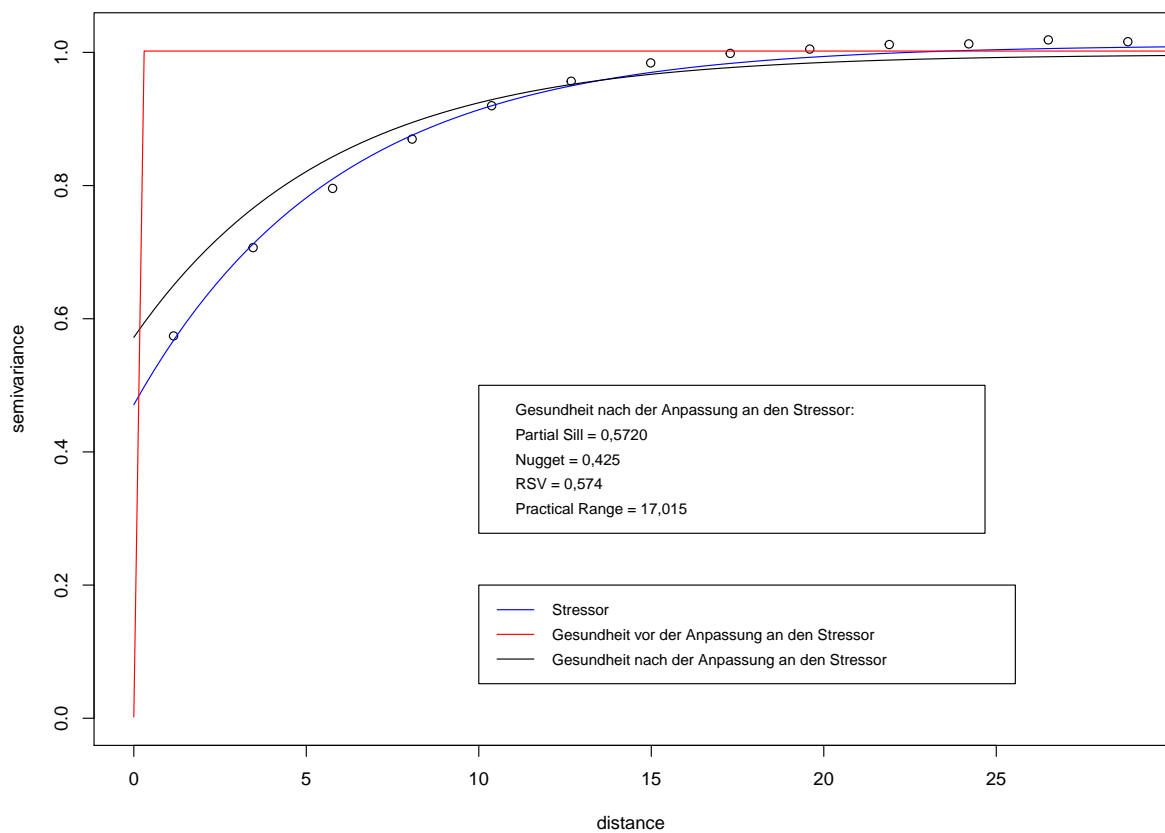


Abbildung 27: Korrelationsstrukturen für Gesundheit in den Ausgangssituationen.

Der Verlauf der Kurve des Semivariogramms für die Ausgangssituation der Gesundheit ist der Kurve des Semivariogramms vom Stressor sehr ähnlich. Die Werte weichen nur minimal voneinander ab (vgl. Abbildung 27). Individuen, die in einer räumlichen Nähe zueinander wohnen, haben bis zu einer Distanz von ca. 18 km korrelierte Gesundheitszustände. Je näher die Individuen beieinander wohnen, desto ähnlicher ist ihr Gesundheitszustand. Die Werte der Korrelationsstruktur nach der Anpassung an den Stressor sind in Abbildung 27 dargestellt.

### **Zusammengehörigkeitsgefühl**

Es werden zwei Simulationsszenarien durchgeführt, um den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* zu analysieren. Für beide Szenarios werden die agentenbasierten Simulationen über die Normalverteilung mit einer Standardabweichung von 0,4 initialisiert. Der Mittelwert der Normalverteilung zur Initialisierung ist dabei vom Szenario abhängig. Für die Simulation eines geringen *sozialen Zusammenhaltes* der Agenten in der Simulationsumgebung wird ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl (Mittelwert = 0,5) initialisiert und für einen hohen *sozialen Zusammenhalt* ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl (Mittelwert = 1,5). Das Zusammengehörigkeitsgefühl wird nach der Initialisierung räumlich verteilt. Die Korrelationsstrukturen für sowohl ein niedriges (vgl. blaue Linie in Abbildung 28) als auch ein hohes (vgl. schwarze Linie in Abbildung 28) Zusammengehörigkeitsgefühl sind in Abbildung 28 dargestellt. Bei beiden Szenarien der Ausgangssituationen ist anhand des Kurvenverlaufs der Semivariogramme und der Werte der Semivariogramme eine deutliche Korrelationsstruktur zu erkennen. Die Korrelationsstrukturen der beiden Szenarien unterscheiden sich in ihrer Stärke minimal. Die zu der Korrelationsstruktur gehörenden Werte, die in Abbildung 28 dargestellt sind, sind bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl höher als bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl. Ebenso verläuft die Kurve des hohen Zusammengehörigkeitsgefühls höher als die Kurve des niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühls. Damit ist die Korrelationsstruktur bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl stärker als bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl. Dadurch sind die Voraussetzungen, unterschiedlich starke Zusammengehörigkeitsgefühle für die agentenbasierten Simulationen zur Analyse des Mechanismus *sozialen Zusammenhaltes* zu modellieren, gegeben.

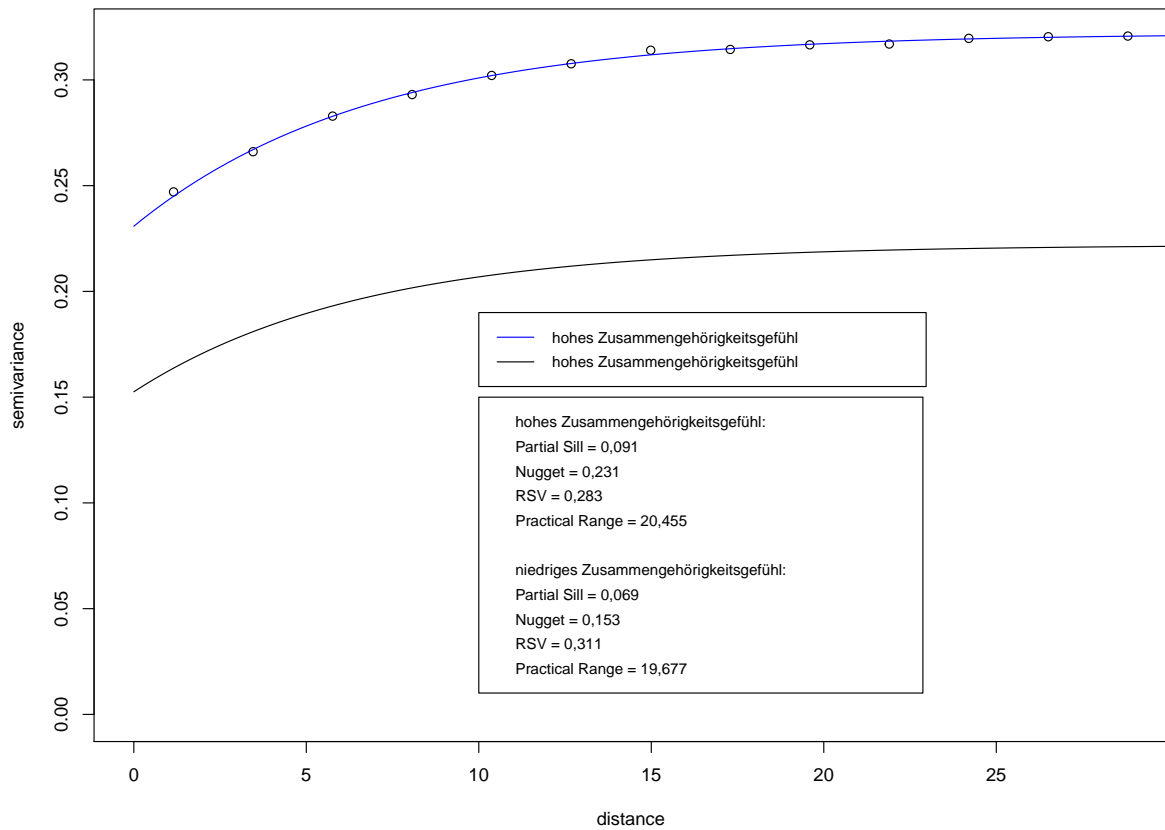


Abbildung 28: Gleichbleibende Korrelationsstrukturen eines niedrigen und eines hohes Zusammengehörigkeitsgefühls in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen.

## Verhalten

Für Verhalten wird bei der Initialisierung ebenfalls eine räumliche Verteilung vorgenommen. Die Parameter für Verhalten vor der räumlichen Verteilung sind 49,985 (Mittelwert), 278,299 (Varianz), 1,0168 (Minimum) und 98,998 (Maximum). Damit entsprechen die Werte vor der räumlichen Verteilung den Vorgaben der Initialisierung (Normalverteilung mit Mittelwert = 50, Standardabweichung = 17, Minimum = 1 und Maximum = 99). Nach der Verteilung ist der Mittelwert 49,299, die Varianz 550,908 und die Werte liegen zwischen 0 und 163,026. Abbildung 29 zeigt die erfolgreich erstellte Korrelationsstruktur und die dazugehörigen Parameter.

In Tabelle 6 sind die Werte der Korrelationsstrukturen, Mittelwerte und Varianzen für die standardisierte Gesundheit nach der räumlichen Verteilung durch den Stressor, das Verhalten, den Stressor und sowohl ein niedriges, als auch ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl für die Ausgangssituationen dargestellt.

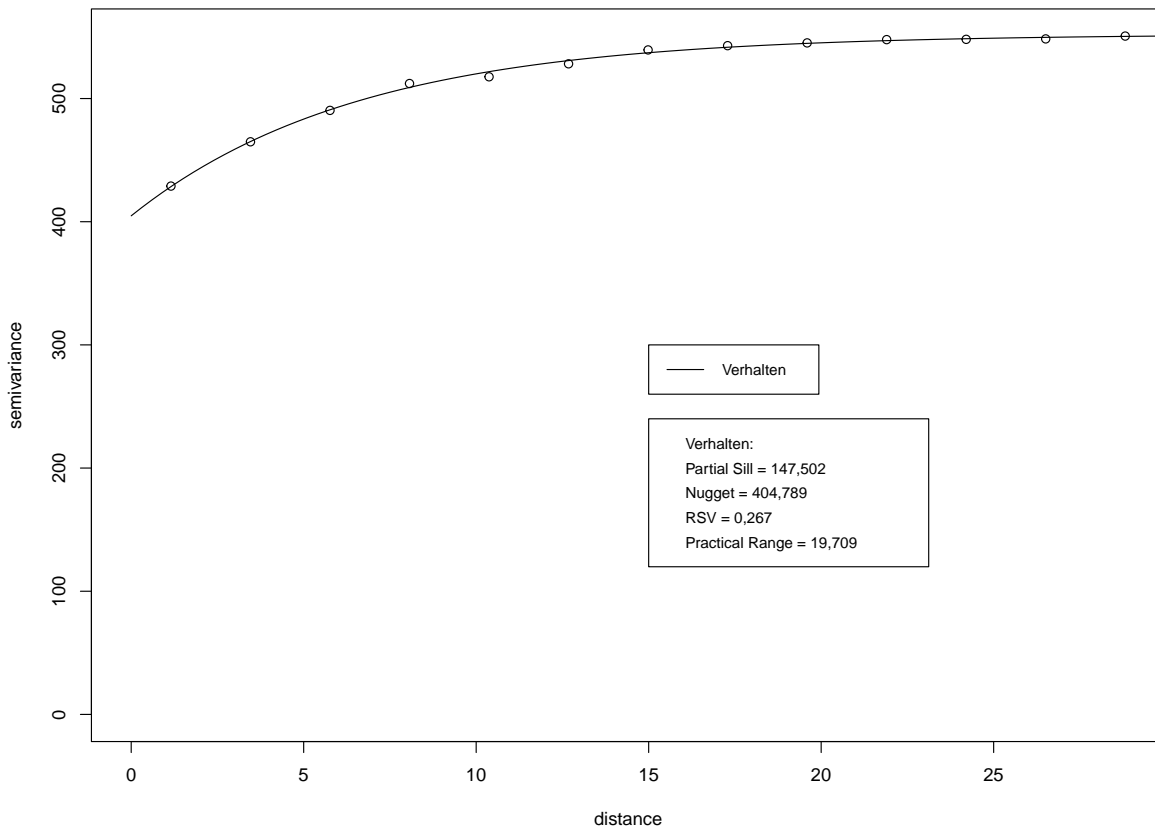


Abbildung 29: Korrelationsstruktur des Verhaltens in den Ausgangssituationen.

Tabelle 6: Werte der Korrelationsstrukturen, Mittelwerte und Varianzen für Gesundheit<sup>a</sup>, Verhalten und ein niedriges bzw. hohes Zusammengehörigkeitsgefühl in den Ausgangssituationen.

	Partial Sill	Nugget	RSV	Practical Range	Mittelwert	Varianz
Gesundheit <sup>1</sup>	0,543	0,461	0,541	18,441	0,004	0,999
Verhalten	157,251	389,287	0,288	17,217	49,299	550,908
Stressor:	0,5517	0,4737	0,538	18,367	0,0125	1,022
niedriges ZG <sup>2</sup>	0,0695	0,153	0,312	19,677	0,0616	0,223
hohes ZG <sup>2</sup>	0,0912	0,231	0,283	20,455	1,504	0,320

<sup>a</sup> Standardisiert, nach 5 Iterationen Beeinflussung durch den Stressor

<sup>b</sup> ZG = Zusammengehörigkeitsgefühl

### 4.2.3 Korrelationsstrukturen der Simulationsszenarien

Nachdem die unveränderliche Ausgangssituation der agentenbasierten Simulationen im vorherigen Abschnitt beschrieben wurde, werden nun die Ergebnisse der insgesamt neun verschiedenen Simulationsszenarien dargestellt. Jedes Simulationsszenario wird 100 Mal durchgeführt. Im folgenden werden für jedes Simulationsszenario beispielhaft jeweils vier, zufällig ausgewählte Korrelationsstrukturen sowohl für Gesundheit als auch für Verhalten am Ende<sup>25</sup> der agentenbasierten Simulationen gezeigt und erläutert. Die zugehörigen Parameter für die vier Korrelationsstrukturen eines jeden Simulationsszenarios sind in den zugehörigen Semivariogrammen dargestellt. In jedem Semivariogramm wird durch die blaue Linie die Korrelationsstruktur der dazugehörigen Ausgangssituation visualisiert. Weiterhin werden aus den 100 Wiederholungen eines jeden Simulationsszenarios Mittelwerte und Standardabweichungen für die Parameter der Korrelationsstrukturen von Gesundheit und Verhalten gebildet und tabellarisch festgehalten. Zusätzlich werden in die Ergebnistabellen für Verhalten auch die Mittelwerte und deren Standardabweichungen eingetragen. Für Gesundheit ist das nicht notwendig, weil sich die Mittelwerte und deren Standardabweichungen durch die Standardisierung nicht verändern. Die Mittelwerte der Korrelationsstrukturen von Gesundheit sind in Tabelle 7 und für Verhalten in Tabelle 9 dargestellt. Die Standardabweichungen sind für die Korrelationsstrukturen der Gesundheit in Tabelle 8 und für das Verhalten in Tabelle 10 zu finden.

#### Positivkontrolle

Bei der Positivkontrolle für den sozialen Mechanismus *soziale Ansteckung* wird  $\alpha = 0$  gesetzt, sodass der Mechanismus in den agentenbasierten Simulationen ausgeschaltet ist und daher auch keinen Einfluss auf die Korrelationsstrukturen haben kann. Durch die Positivkontrolle kann überprüft werden, wie sich die Korrelationsstrukturen der agentenbasierten Simulationen ohne Einfluss von sozialen Mechanismen entwickelt. Dementsprechend ist zu erwarten, dass die Kurvenverläufe der Semivariogramme für Gesundheit und Verhalten sich nur minimal von den jeweiligen Kurven in der Ausgangssituation unterscheiden. Die Unterschiede in den Korrelationsstrukturen zwischen der Positivkontrolle und der Ausgangssituation basieren auf den unbekanntem, zufällig bedingten Einflüssen  $\varepsilon$ .  $\varepsilon$  spiegelt die Variabilität in der Realität und andere Faktoren, die in die agentenbasierten Simulationen nicht einfließen, aber in der Realität vorhanden sind, wider.

---

<sup>25</sup>nach 10 Iterationen

Die Korrelationsstrukturen für Gesundheit und Verhalten unterscheiden sich leicht von den jeweiligen Ausgangssituationen und sind in den Abbildung 30 (für Gesundheit) und 31 (für Verhalten) dargestellt. Die zu den vier beispielhaften Korrelationsstrukturen zugehörigen Werte sind in den jeweiligen Semivariogrammen dargestellt. Die Ergebnisse der Positivkontrolle zeigen, dass sich die Korrelationsstrukturen, verglichen mit der Korrelationsstruktur der Ausgangssituation, nur wenig verändert haben. Dadurch kann bestätigt werden, dass ein Ausschalten des sozialen Mechanismus zu keiner nennenswerten Reduzierung der Korrelationsstruktur führt. Nur die Umweltbedingungen, das Alter und die unbekanntem Einflüsse  $\varepsilon$  haben einen Einfluss auf die Gesundheit.

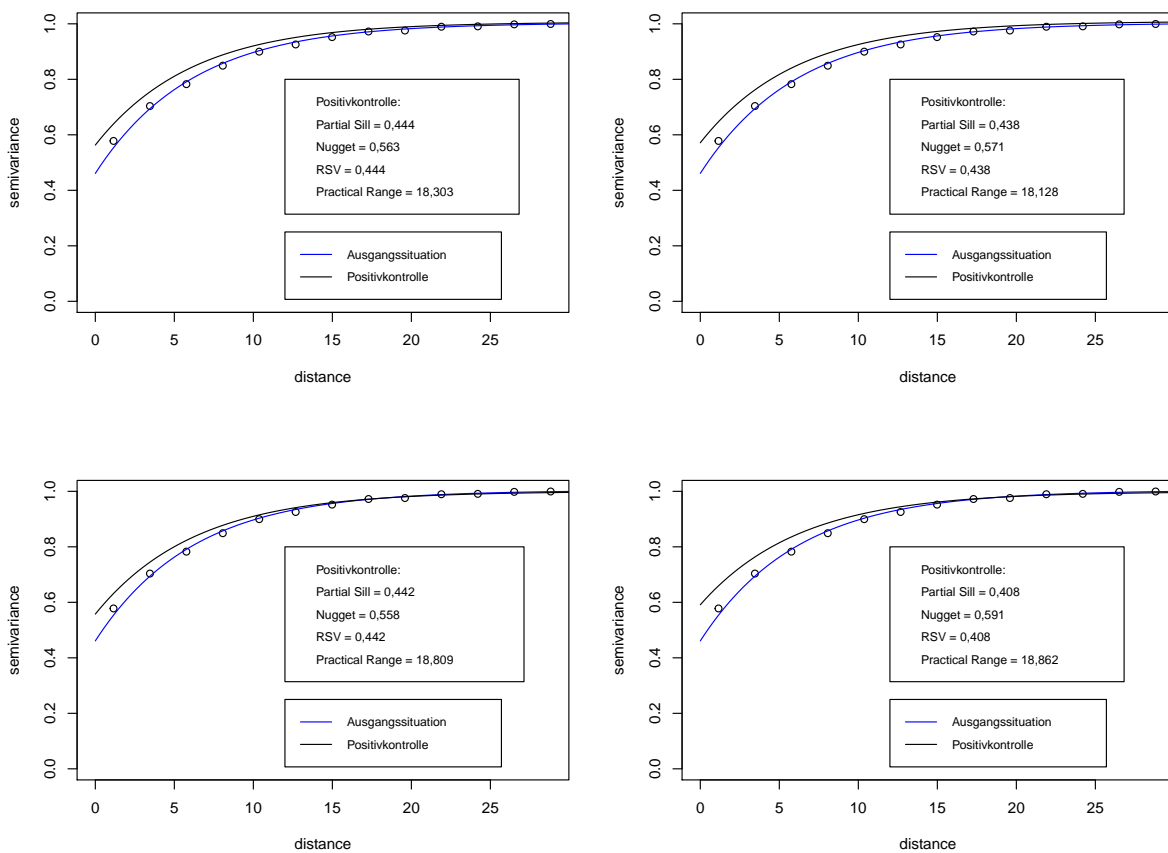


Abbildung 30: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei der Positivkontrolle nach 10 Iterationen.



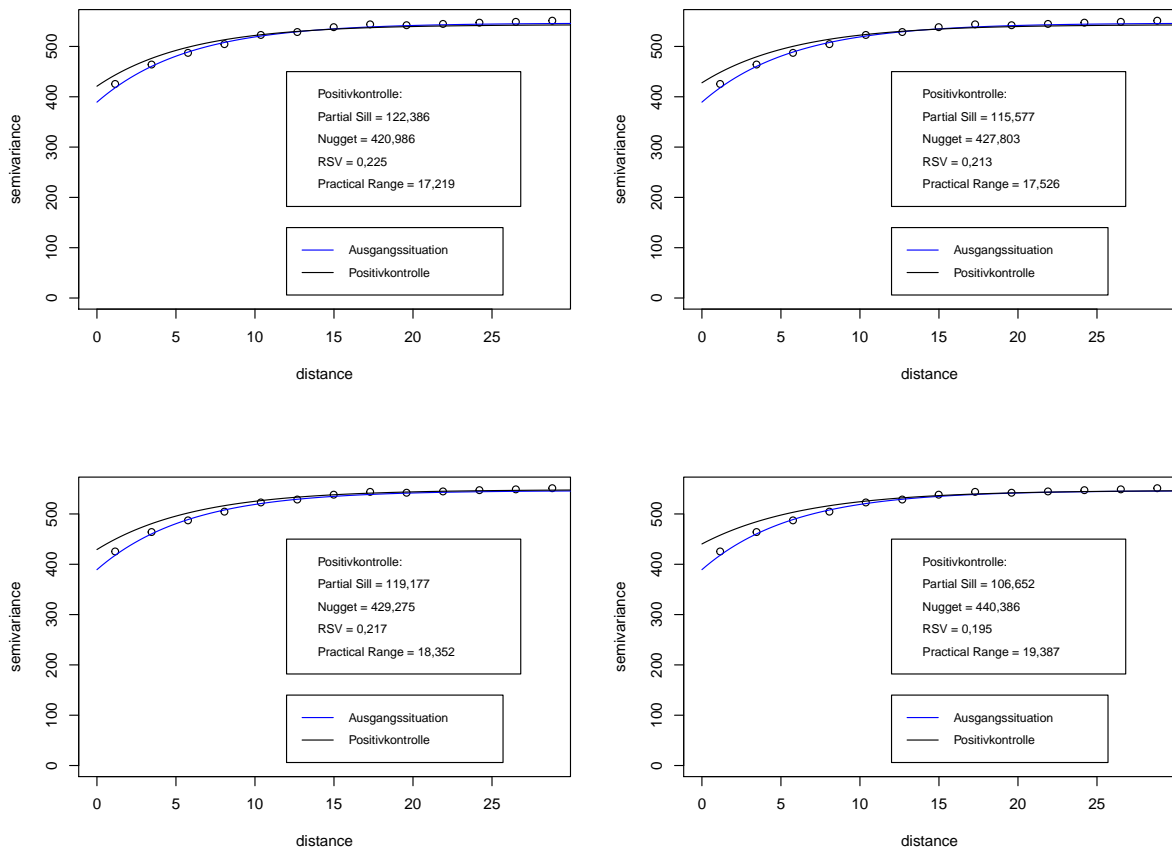


Abbildung 31: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei der Positivkontrolle nach 10 Iterationen.

## Soziale Ansteckung

Die jeweils vier, beispielhaften Korrelationsstrukturen für Gesundheit und Verhalten bei  $\alpha = 0,1$  sind in den Abbildungen 32 und 33 abgebildet. Die zugehörigen Parameter befinden sich in den jeweiligen Semivariogrammen. Der Einfluss der *sozialen Ansteckung* bei diesem Simulationsszenario ist stark genug für eine Reduzierung der Korrelationsstruktur von Gesundheit, aber nicht stark genug, um diese vollständig aufzuheben.

Die Reduzierung ist an der abflachenden Kurve der Korrelationsstruktur (vgl. Abbildung 32) und der Abnahme des Partial Sills und der RSV im Vergleich zur Ausgangssituation zu erkennen. Für eine Aufhebung der Korrelationsstruktur von Gesundheit müssten die Werte noch weiter sinken und die Kurve zu einer Geraden mit Ursprung bei 1 tendieren. Die Korrelationsstruktur des Verhaltens ist stärker geworden. Das ist sowohl an der stärkeren Krümmung der Kurve der Korrelationsstruktur (vgl. Abbildung 33) als auch an der Zunahme der RSV und der Abnahme des Nuggets zu erkennen.

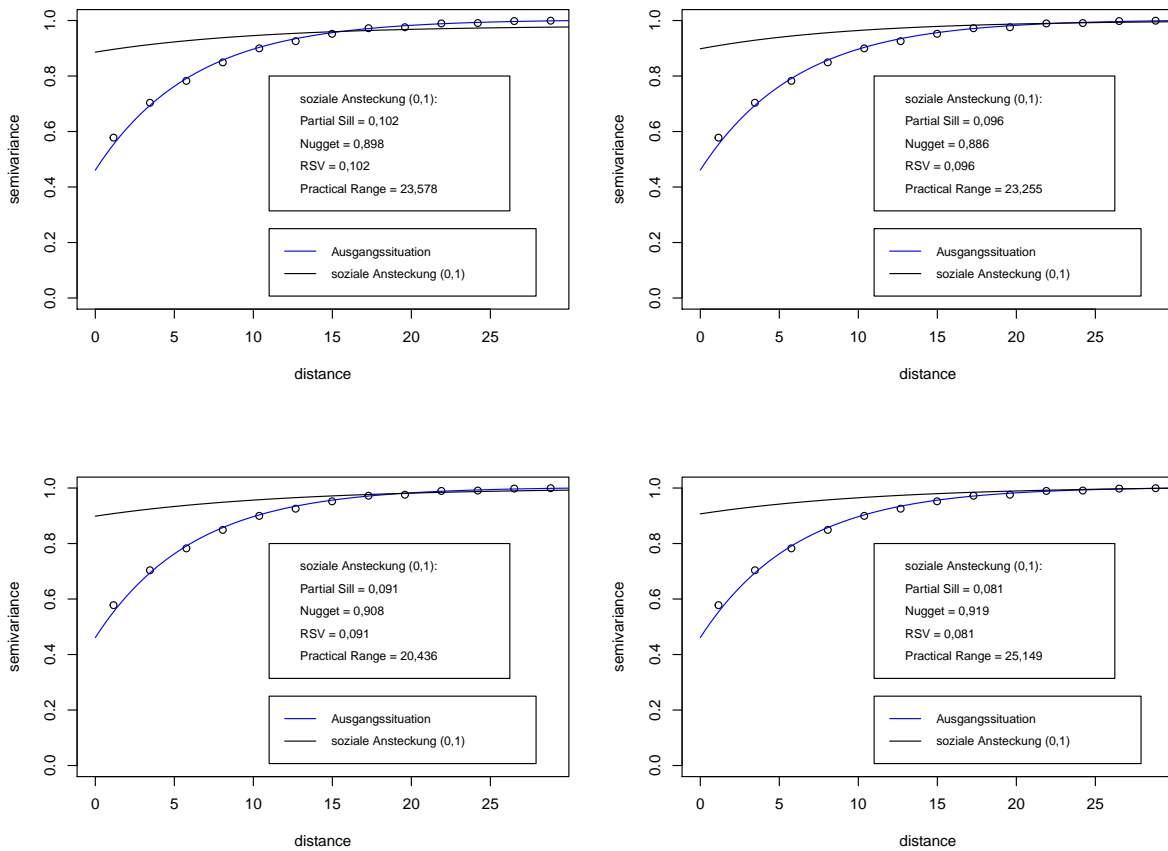


Abbildung 32: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei  $\alpha = 0,1$  nach 10 Iterationen.

Bei  $\alpha = 0,2$  und  $\alpha = 0,4$  ist der Einfluss der *sozialen Ansteckung* stark genug, um die Korrelationsstruktur für Gesundheit aufzuheben. Die Korrelationsstrukturen der beiden Simulationsszenarien unterscheiden sich nur wenig voneinander (vgl. Tabellen 7 und 9). Die jeweils vier, beispielhaften Semivariogramme, inklusive deren Werte der Korrelationsstrukturen für Gesundheit und Verhalten, werden für  $\alpha = 0,2$  im Ergebnisteil dargestellt (vgl. Abbildung 34 für Gesundheit und Abbildung 35 für Verhalten). Für  $\alpha = 0,4$  sind die Korrelationsstrukturen sowohl für Gesundheit als auch für Verhalten im Anhang A.3 dargestellt (vgl. Anhang A.3, Abbildung 55 für Gesundheit und Abbildung 56 für Verhalten). Die RSV bei der Korrelationsstruktur von Gesundheit beträgt für beide Simulationsszenarien, im Mittelwert aus 100 agentenbasierten Simulationen, nur noch 4,1%, die Kurven sind fast vollständig abgeflacht und zeigen annähernd eine Gerade mit Ursprung bei 1. Eine vollständige Aufhebung der Korrelationsstruktur von Gesundheit kann in den durchgeführten, agentenbasierten Simulationen nicht erreicht werden.

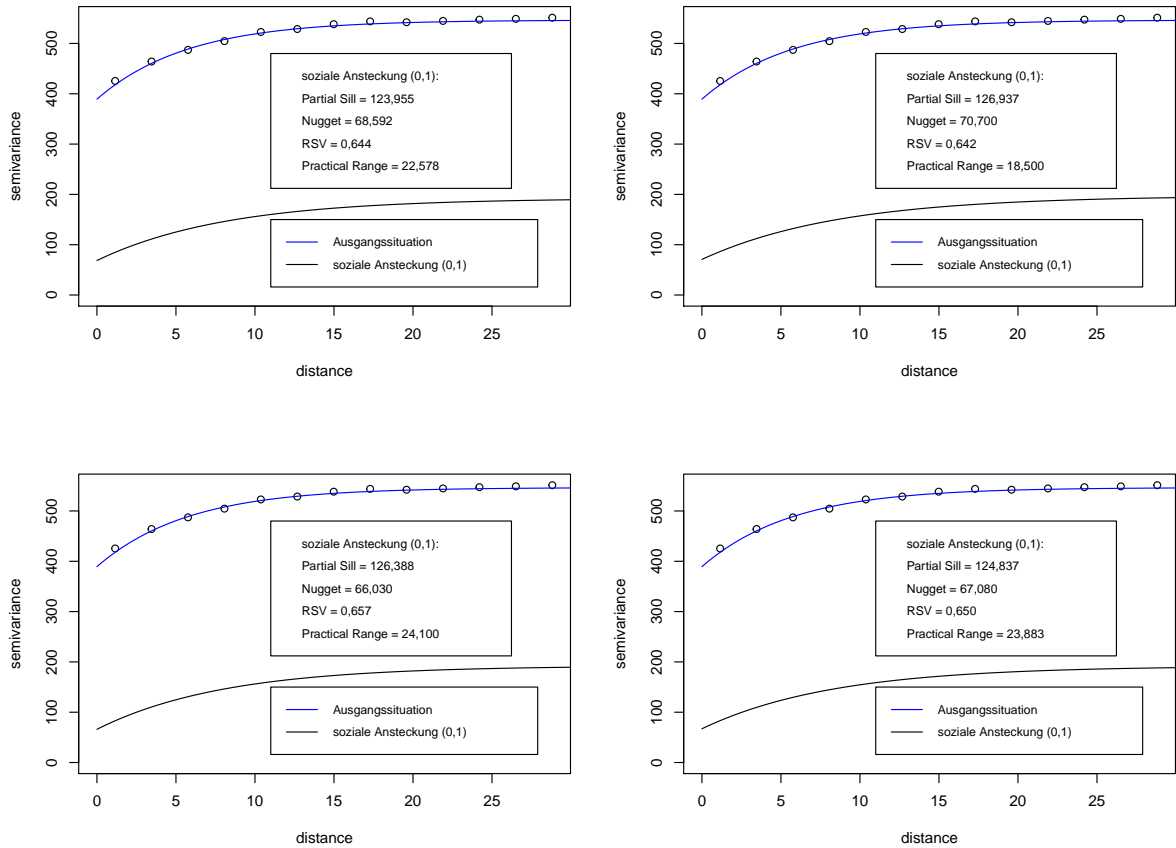


Abbildung 33: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei  $\alpha = 0,1$  nach 10 Iterationen.

Die unvermeidbaren Einflüsse auf die Gesundheit, die in den agentenbasierten Simulationen durch den Einfluss von Alter und  $\varepsilon$  ausgedrückt werden, können nicht vollständig aufgehoben werden. Für den sozialen Mechanismus *soziale Ansteckung* ist bei diesen beiden Simulationsszenarien die stärkste Reduzierung vorhanden und die Kurve nähert sich einer Geraden mit Ursprung bei 1 an. Aus diesen Gründen kann von einer Aufhebung der Korrelationsstruktur von Gesundheit bezüglich der vermeidbaren Einflüsse ausgegangen werden. Die noch vorhandene Korrelation von Gesundheit (die RSV aus dem Mittelwert von 100 agentenbasierten Simulationen liegt bei 4,1% mit einer Standardabweichung von 0,002, vgl. Tabellen 7 und 8) ist auf die unvermeidbaren Einflüsse zurückzuführen.

Für Verhalten ist der Nuggeteffekt der Korrelationsstruktur bei  $\alpha = 0,2$  noch geringfügig vorhanden und bei  $\alpha = 0,4$  ist er vollständig verschwunden. Das zeigt sich im Kurvenverlauf der vier beispielhaften Korrelationsstrukturen des Verhaltens (vgl. Abbildung 35 und Anhang A.3, Abbildung 56).

Die Kurven entspringen fast am Ursprung. Bei den vorherigen Semivariogrammen der Korrelationsstrukturen für Verhalten ist der Nugget vorhanden und die Kurven entspringen nicht dem Ursprung, sondern dem Nugget. Die Korrelation von Verhalten ist damit ab  $\alpha = 0,4$  vollständig ausgeprägt (die RSV aus dem Mittelwert von 100 agentenbasierten Simulationen, liegt bei 100% mit einer Standardabweichung von 0, vgl. Tabellen 9 und 10). Somit haben alle Individuen in diesen agentenbasierten Simulationen ein annähernd gleiches Verhalten. Ein höheres  $\alpha$  kann nicht zu einer stärkeren Verhaltensübernahme führen, da das Maximum der Verhaltensübernahme schon bei  $\alpha = 0,4$  erreicht ist. Schwankungen können auf dem zufälligen, unbekanntem Einfluss  $\varepsilon$  auf das Verhalten basieren.

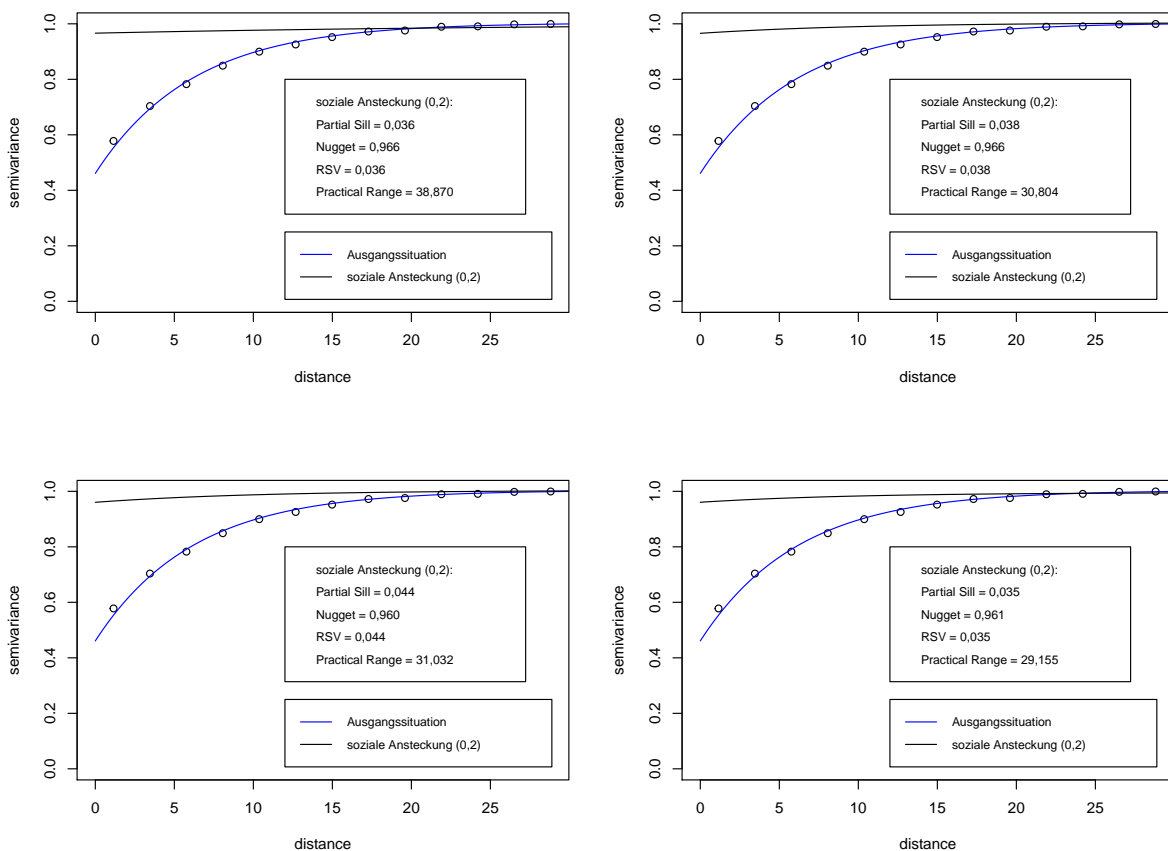


Abbildung 34: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei  $\alpha = 0,2$  nach 10 Iterationen.

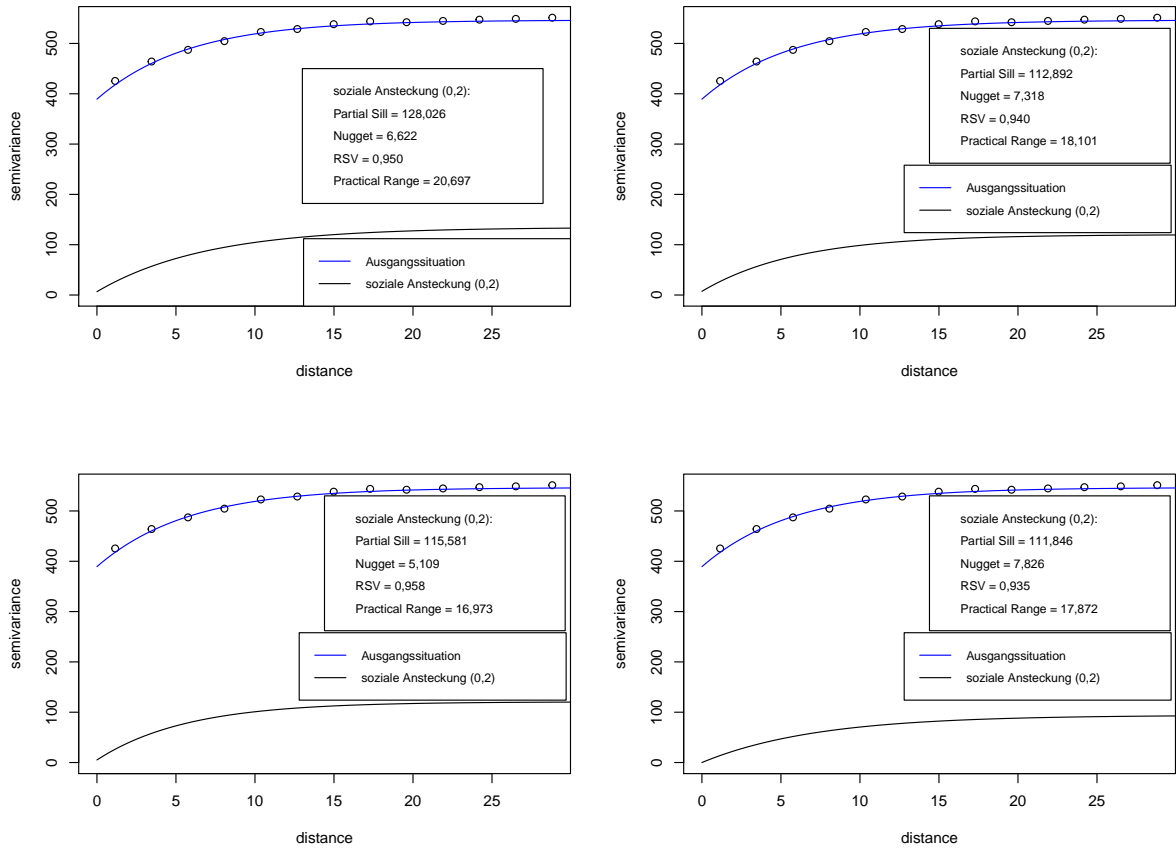


Abbildung 35: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei  $\alpha = 0,2$  nach 10 Iterationen.

Ab  $\alpha = 0,6$  bildet sich wieder eine Korrelationsstruktur für Gesundheit aus. Das ist an den Verläufen der Kurven der jeweils vier, beispielhaften Korrelationsstrukturen der Gesundheit für  $0,6 \leq \alpha \leq 1$  in den Abbildungen 36, 37 und 38 zu erkennen. Diese nähern sich nicht mehr, wie bei  $\alpha = 0,2$  und  $\alpha = 0,4$  einer Geraden mit Ursprung bei 1 an, sondern bilden wieder eine Krümmung aus, die mit einer Zunahme von  $\alpha$  stärker wird. Mit einer zunehmenden Krümmung nimmt auch die Stärke der Korrelationsstruktur zu. Sowohl die Werte der beispielhaften Korrelationsstrukturen der Gesundheit in den Semivariogrammen (vgl. Abbildungen 36, 37 und 38) als auch die Mittelwerte der Korrelationsstrukturen für Gesundheit, aus den jeweils 100 durchgeführten, agentenbasierten Simulationen, bestätigen das (vgl. Tabelle 7). Der Partial Sill nimmt zu, ebenso wie die RSV. Die ausgebildeten Korrelationsstrukturen können nicht auf den verstärkten Einfluss des sozialen Mechanismus zurückgeführt werden, weil eine vollständige Verhaltensübernahme schon bei  $\alpha = 0,4$  beobachtet wird.

Die Ausbildung der Korrelationsstrukturen muss ihren Ursprung daher in anderen Einflüssen auf die Gesundheit haben. Der Stressor ist, in der Modellierung dieser Arbeit, der einzige Einfluss mit einer Korrelationsstruktur, der auf die Gesundheit wirkt. Daher ist anzunehmen, dass der Einfluss des Stressors die Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei diesen drei Simulationsszenarien verursacht.

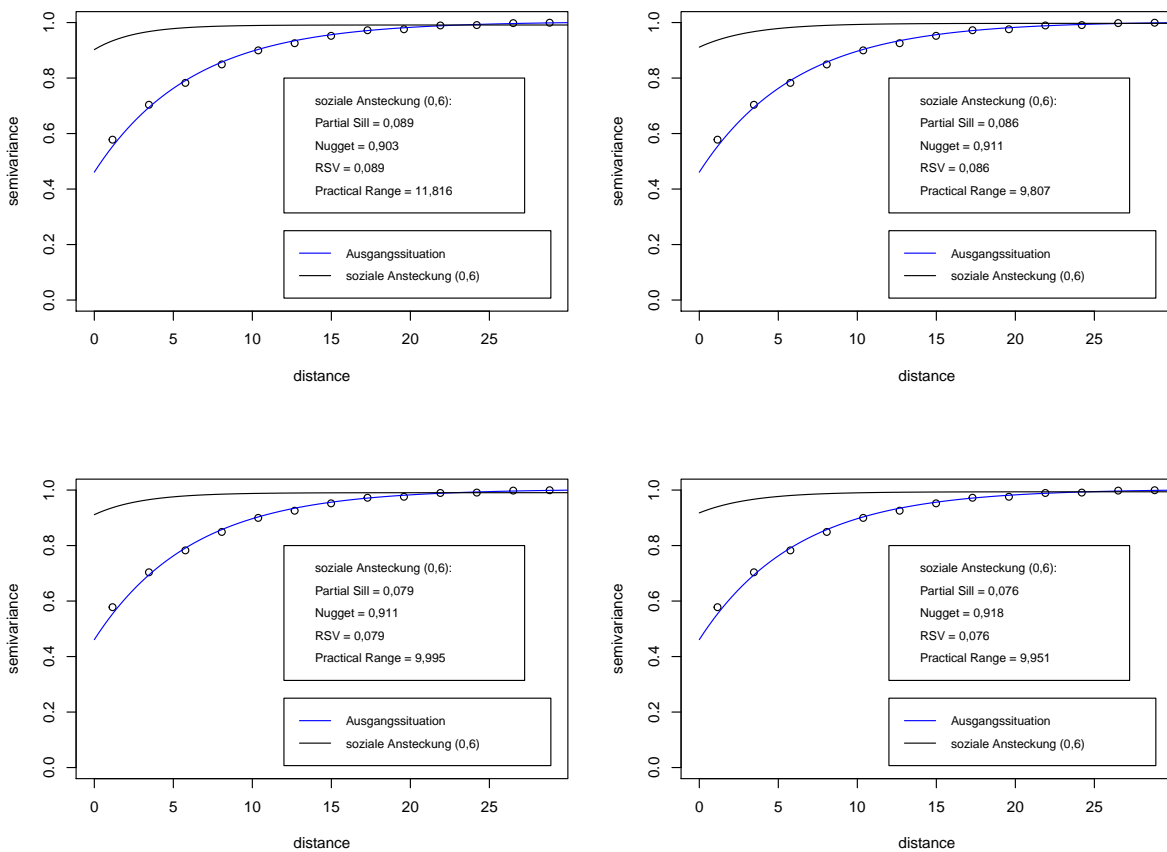


Abbildung 36: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei  $\alpha = 0,6$  nach 10 Iterationen.

Die Semivariogramme, die die Korrelationsstrukturen des Verhaltens für  $0,6 \leq \alpha \leq 1$  wiedergeben, sind nahezu identisch zu den Semivariogrammen für  $\alpha = 0,2$  und  $\alpha = 0,4$  (vgl. Abbildung 35 und Anhang A.3, Abbildung 56) und werden deswegen im Anhang dargestellt (vgl. Anhang A.3, Abbildungen 57, 58 und 59).

Die drei Simulationsszenarien weisen ebenso keinen Nuggeteffekt (der Nugget ist 0 für den Mittelwert von 100 agentenbasierten Simulationen mit einer Standardabweichung von 0, vgl. Tabellen 9) auf und stellen mit einer RSV von 100% (Mittelwert von 100 agentenbasierten Simulationen mit einer Standardabweichung von 0, vgl. Tabellen 9 und 10) eine vollständige Verhaltensübernahme dar.

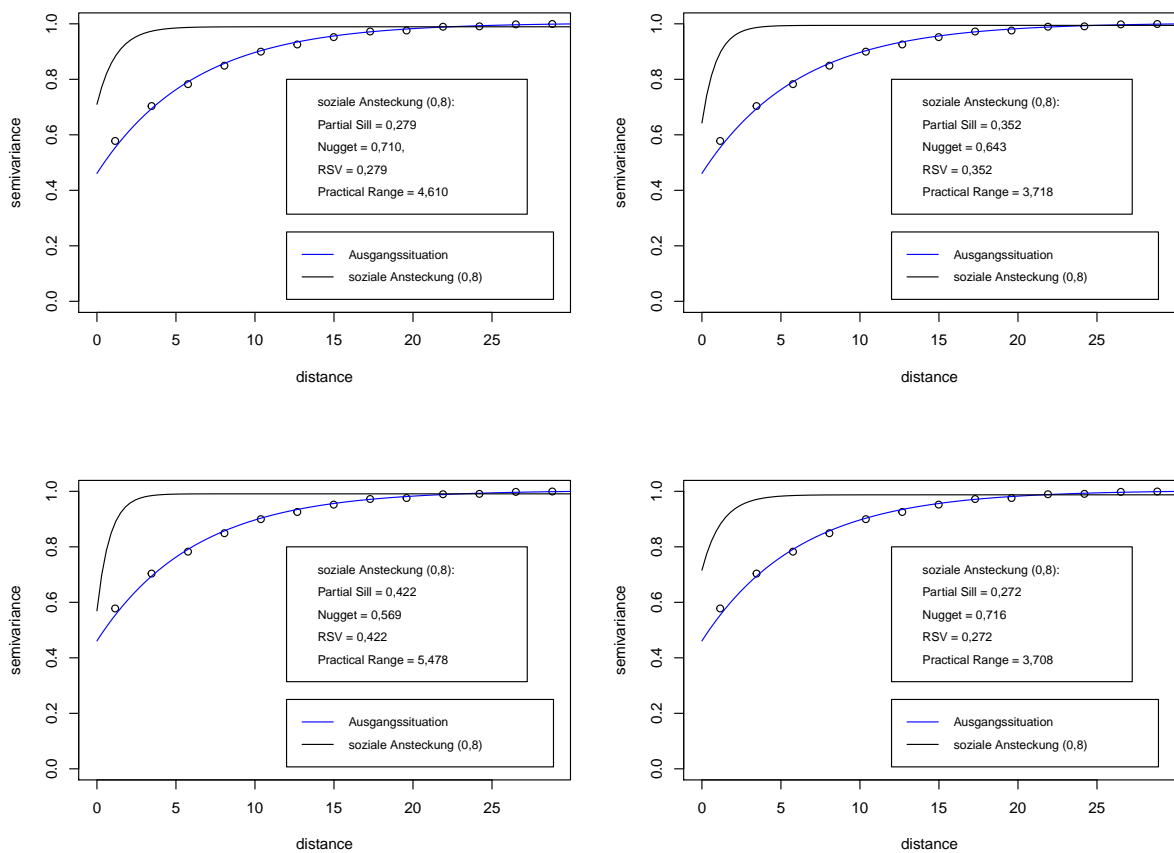


Abbildung 37: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei  $\alpha = 0,8$  nach 10 Iterationen.

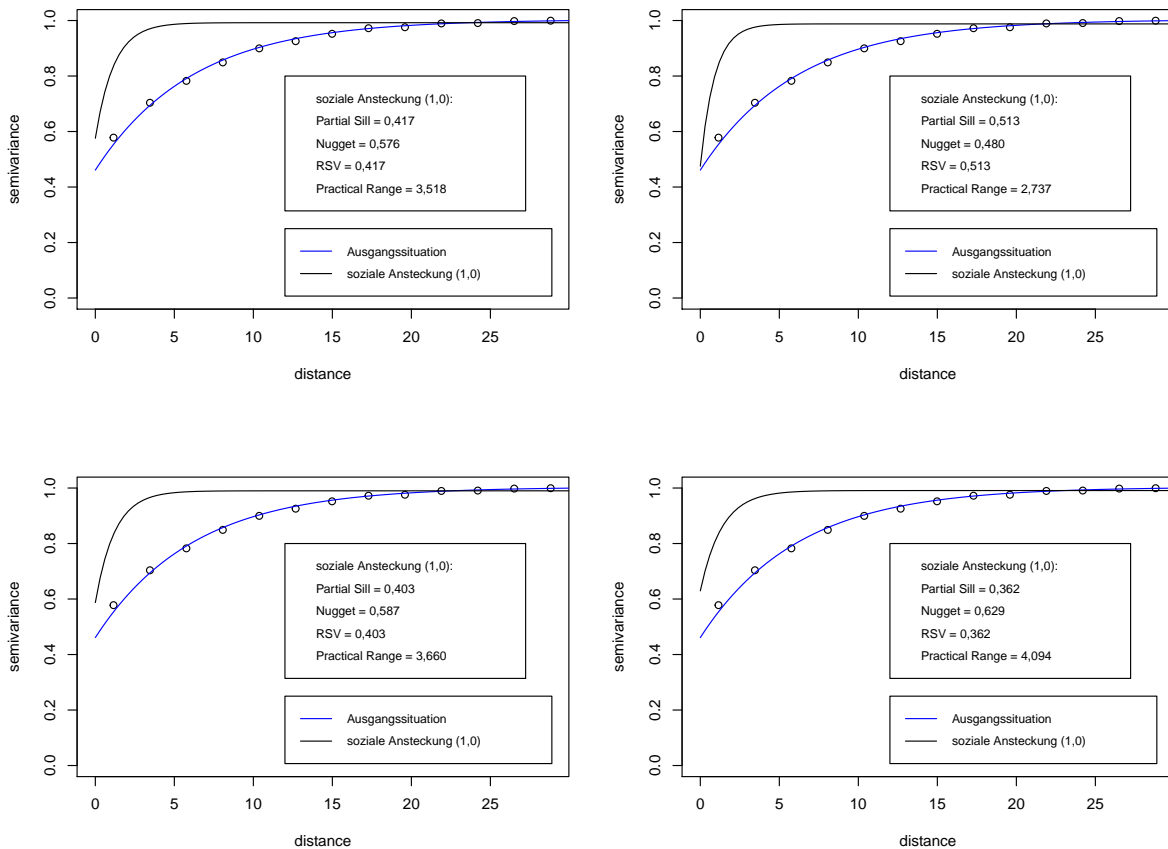


Abbildung 38: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei  $\alpha = 1$  nach 10 Iterationen.

### Sozialer Zusammenhalt

Für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* wird  $\alpha = 0,1$  als konstant gewählt. Dies ist der einzige Wert, bei dem die Korrelationsstrukturen der Gesundheit aufgrund der *sozialen Ansteckung* nur reduziert und nicht aufgehoben werden können. Dabei ist der Mechanismus *soziale Ansteckung* allein nicht in der Lage die Korrelationsstrukturen der Gesundheit aufzuheben. Es soll untersucht werden, ob durch den zusätzlichen Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* die Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei  $\alpha = 0,1$  aufgehoben werden kann. Dafür wird sowohl ein niedriges, als auch ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl modelliert. Bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl können die Korrelationsstrukturen der Gesundheit nicht aufgehoben werden. Abbildung 39 stellt vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit für ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl dar. Dabei ist zu erkennen, dass die vier Kurven der Korrelationsstrukturen noch Krümmungen aufweisen und keiner Geraden mit Ursprung bei 1 entsprechen.



Eine solche Gerade würde einer Aufhebung der Korrelationsstrukturen von Gesundheit entsprechen. Die Stärke der Korrelation ist niedriger (die RSV aus dem Mittelwert von 100 agentenbasierten Simulationen liegt bei 8,8% mit einer Standardabweichung von 0,002, vgl. Tabellen 7 und 8) als beim entsprechenden Simulationsszenario ohne den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* (die RSV aus dem Mittelwert von 100 agentenbasierten Simulationen liegt für  $\alpha = 0,1$  bei 10,4% mit einer Standardabweichung von 0,002, vgl. Tabellen 7 und 8).

Ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl führt zu einer Aufhebung der Korrelationsstrukturen. Die Kurven der vier beispielhaften Korrelationsstrukturen für Gesundheit zeigen nahezu eine Gerade mit Ursprung bei 1 (vgl. Abbildung 40). Weiterhin ist die RSV aus dem Mittelwert von 100 agentenbasierten Simulationen mit 2,3% die niedrigste von allen durchgeführten Simulationsszenarien (vgl. Tabelle 7) (Standardabweichung = 0,006, vgl. Tabelle 8).

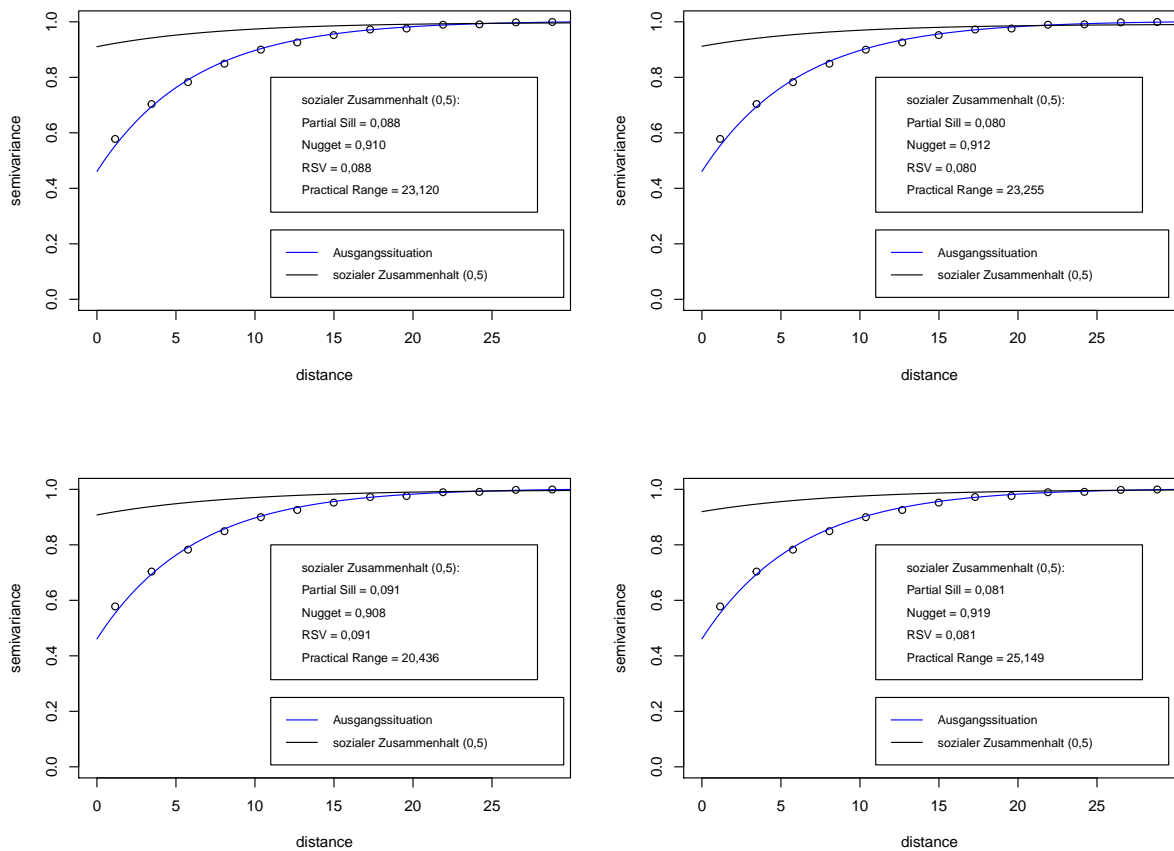


Abbildung 39: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl nach 10 Iterationen.

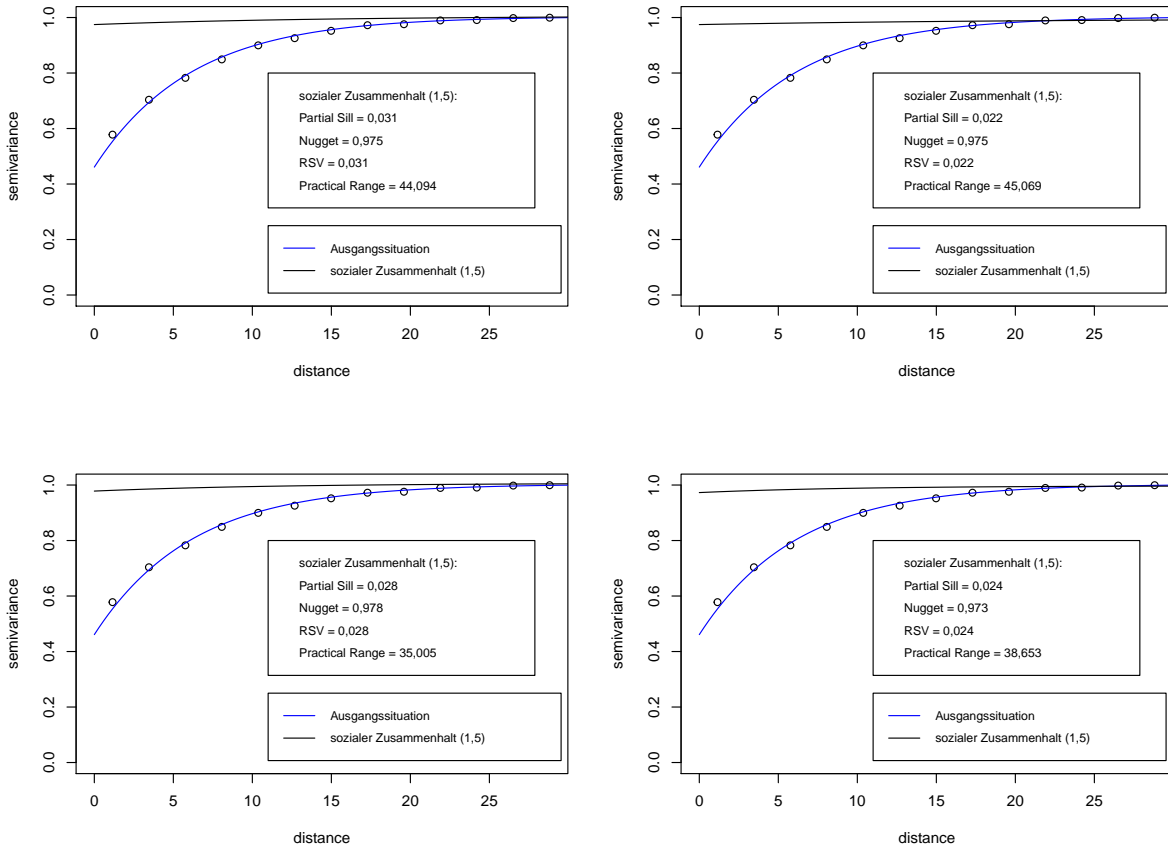


Abbildung 40: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl nach 10 Iterationen.

Die jeweils vier, beispielhaften Korrelationsstrukturen des Verhaltens sind sowohl für ein niedriges, als auch ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl im Anhang A.3 (vgl. Abbildungen 60 und 61) dargestellt. Die Verhaltensadaption für ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl ist geringer abgelaufen, als für ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl. Das ist an den Kurvenverläufen der Korrelationsstrukturen für Verhalten zu erkennen. Bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl ist der Kurvenverlauf deutlich flacher (vgl. Anhang A.3, Abbildungen 60 und 61) und der Partial Sill höher als bei einem hohem Zusammengehörigkeitsgefühl (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 7: Mittelwerte über 100 jeweilige Simulationsszenarien für Gesundheit nach 10 Iterationen und die Werte der Ausgangssituation.

	Partial Sill	Nugget	RSV	Practical Range
<b>Ausgangswerte:</b>				
	0,543	0,461	0,541	18,441
<b>Positivkontrolle:</b>				
	0,431 (0,003)	0,569	0,430	18,219
<b>soziale Ansteckung:</b>				
0,1	0,104	0,899	0,104	22,896
0,2	0,041	0,962	0,041	30,426
0,4	0,041	0,962	0,041	30,092
0,6	0,098	0,902	0,100	14,328
0,8	0,284	0,713	0,285	5,604
1	0,384	0,612	0,386	4,206
<b>Sozialer Zusammenhalt:</b>				
hoch	0,023	0,989	0,023	42,722
niedrig	0,088	0,912	0,088	21,187

Tabelle 8: Standardabweichungen der Mittelwerte über 100 jeweilige Simulationsszenarien für Gesundheit nach 10 Iterationen.

	Partial Sill	Nugget	RSV	Practical Range
<b>Positivkontrolle:</b>				
	0,003	0,003	0,003	0,164
<b>soziale Ansteckung:</b>				
0,1	0,002	0,002	0,002	0,595
0,2	0,002	0,002	0,002	2,03
0,4	0,006	0,002	0,003	2,359
0,6	0,030	0,031	0,031	1,528
0,8	0,046	0,046	0,046	0,704
1	0,029	0,028	0,029	0,298
<b>Sozialer Zusammenhalt:</b>				
hoch	0,006	0,008	0,006	2,497
niedrig	0,002	0,003	0,002	0,722

Tabelle 9: Mittelwerte über 100 jeweilige Simulationsszenarien für Verhalten nach 10 Iterationen und die Werte der Ausgangssituation.

	Partial Sill	Nugget	RSV	Practical Range	Mittelwert	Varianz
<b>Ausgangswerte:</b>						
	157,251	389,287	0,288	17,217	50,611	548,084
<b>Positivkontrolle:</b>						
	118,135	428,414	0,216	18,689	50,515	546,549
<b>soziale Ansteckung:</b>						
0,1	126,346	57,700	0,687	17,787	50,591	184,047
0,2	121,178	4,896	0,961	18,559	50,668	125,275
0,4	98,521	0	1	23,071	50,571	95,835
0,6	87,171	0	1	26,672	50,739	83,077
0,8	80,420	0	1	29,832	50,520	75,121
1	75,669	0	1	32,667	50,750	69,394
<b>Sozialer Zusammenhalt:</b>						
hoch	125,570	39,184	0,762	17,891	50,607	164,248
niedrig	125,347	177,439	0,414	17,710	50,650	302,786

Tabelle 10: Standardabweichungen der Mittelwerte über 100 jeweilige Simulationsszenarien für Verhalten nach 10 Iterationen.

	Partial Sill	Nugget	RSV	Practical Range	Mittelwert	Varianz
<b>Positivkontrolle:</b>						
	0,0003	1,422	0,091	0,272	0,884	1,352
<b>soziale Ansteckung:</b>						
0,1	0,005	0,476	0,046	0,139	0,992	0,382
0,2	0,451	0,339	0,002	0,129	0,880	0,290
0,4	0,354	0	0	0,133	0,886	0,290
0,6	0,363	0	0	0,132	0,848	0,274
0,8	0,312	0	0	0,157	0,957	0,252
1	0,318	0	0	0,205	0,864	0,221
<b>Sozialer Zusammenhalt:</b>						
hoch	2,057	1,808	0,010	0,488	0,084	1,462
niedrig	2,146	0,930	0,420	0,201	0,023	0,596

#### 4.2.4 Vergleich der Simulationsparameter

Nachdem die Korrelationsstrukturen der Gesundheit und des Verhaltens der durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation beschrieben wurden, werden in diesem Kapitel die Unterschiede in den Korrelationsstrukturen für alle agentenbasierten Simulationen visuell verglichen und erläutert. Zuerst werden Nugget, Partial Sill, RSV und Practical Range der Gesundheit dargestellt und anschließend Nugget, Partial Sill, RSV, Practical Range, Mittelwert und Varianz des Verhaltens.

##### Gesundheit

In Abbildung 41 werden die Werte für den Nugget der Simulationsszenarien und der Ausgangssituation für Gesundheit dargestellt. Der kleinste Wert ist in der Ausgangssituation (0,461) und der größte Wert bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl beim Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* (0,989). Der Mittelwert des Nuggets über alle Simulationsszenarien und die Ausgangssituation beträgt 0,798 bei einer Standardabweichung von 0,192. Für den Mechanismus *soziale Ansteckung* steigt der Nugget für  $\alpha \leq 0,2$  an. Ein hoher Nugget weist darauf hin, dass keine Korrelationsstruktur mehr vorliegt. Ein Ansteigen des Nuggets bedeutet eine Reduzierung der Korrelationsstruktur. Bei einem Nugget von 1 wäre überhaupt keine Korrelationsstruktur mehr vorhanden. Für  $\alpha \in [0,2, 0,4]$  verändert er sich nicht und hat für *soziale Ansteckung* den höchsten Wert und dementsprechend die stärkste Reduzierung der Korrelationsstruktur erreicht. Für  $\alpha \geq 0,6$  sinkt der Nugget und es bildet sich wieder eine Korrelationsstruktur aus.

Für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* ist der Nugget bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl höher, als bei  $\alpha = 0,1$ . Damit konnte die Korrelationsstruktur durch das Hinzufügen des Mechanismus *sozialen Zusammenhaltes* stärker reduziert werden, als wenn der Mechanismus *soziale Ansteckung* alleine wirkt. Bei einem hohem Zusammengehörigkeitsgefühl ist der Nugget höher als bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl. Weiterhin weist der Nugget bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl den höchsten Wert von allen Simulationsszenarien auf. Dementsprechend konnte dort von allen durchgeführten Simulationsszenarien die stärkste Reduzierung der Korrelationsstruktur erreicht werden.

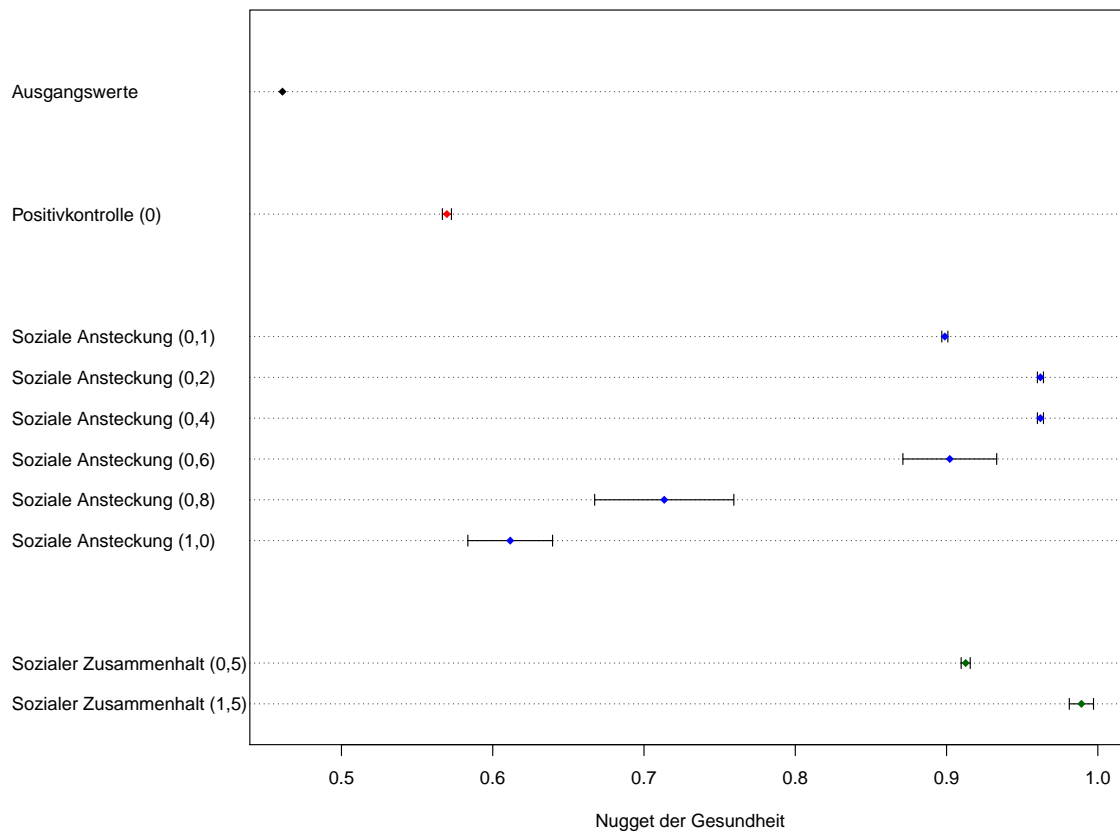


Abbildung 41: Visuelle Darstellung des Nuggets der Gesundheit in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation.

Eine Übersicht über die Werte des Partial Sill für Gesundheit ist in Abbildung 42 dargestellt. Der niedrigste Wert ist beim Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl (0,023) und der höchste Wert bei der Ausgangssituation (0,543). Der Mittelwert des Partial Sill über alle Simulationsszenarien und der Ausgangssituation beträgt 0,204 mit einer Standardabweichung von 0,190. Für den Mechanismus *soziale Ansteckung* sinken die Werte des Partial Sill bis zu einem  $\alpha = 0,2$  ab, für  $\alpha \in [0,2, 0,4]$  verändern sie sich nicht und für  $\alpha \geq 0,6$  steigen die Werte anschließend wieder an.

Der Partial Sill verhält sich genau umgekehrt zum Nugget. Wenn er bei 0 wäre, läge keine Korrelationsstruktur vor. Dementsprechend weist ein niedriger Partial Sill auf eine Reduzierung und ein hoher Partial Sill auf eine Erhöhung der Korrelationsstruktur hin. Für dem Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* beträgt der Partial Sill bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl 0,088 und bei einem hohen 0,023.



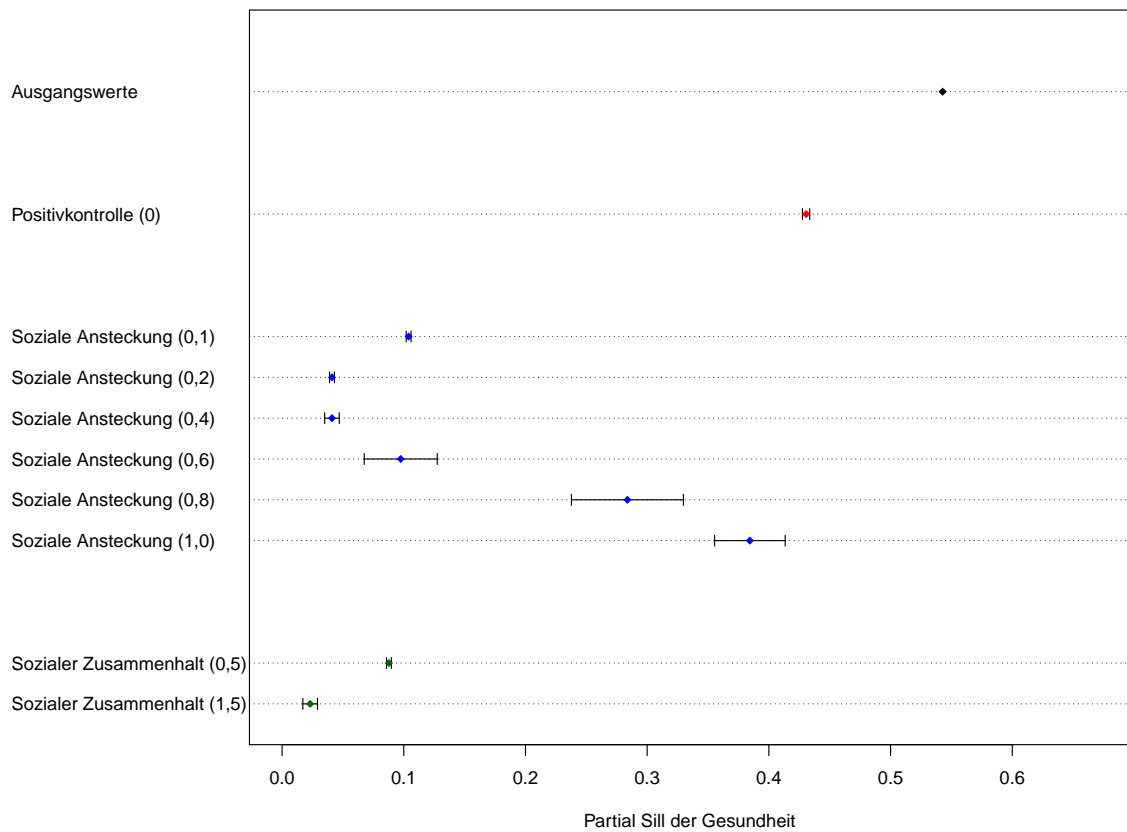


Abbildung 42: Visuelle Darstellung des Partial Sill der Gesundheit in in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation.

Abbildung 43 visualisiert die Stärke der Korrelation für Gesundheit (RSV). Die Werte befinden sich zwischen 2,3% bei dem Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl und 54,1% in der Ausgangssituation. Der Mittelwert aller durchgeführten Simulationsszenarien und der Ausgangssituation beträgt 0,204 bei einer Standardabweichung von 0,190. Die Verteilung der Werte für die RSV ähneln den Werten des Partial Sill für Gesundheit. Die Stärke der Korrelation ist für den Mechanismus *soziale Ansteckung* für  $\alpha = 0,1$  ausgeprägter, als für  $\alpha = 0,2$  und  $\alpha = 0,4$ . Ab  $\alpha = 0,6$  steigt die Stärke der Korrelation wieder an. Für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* ist die Stärke der Korrelation bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl die Niedrigste von allen Simulationsszenarien.

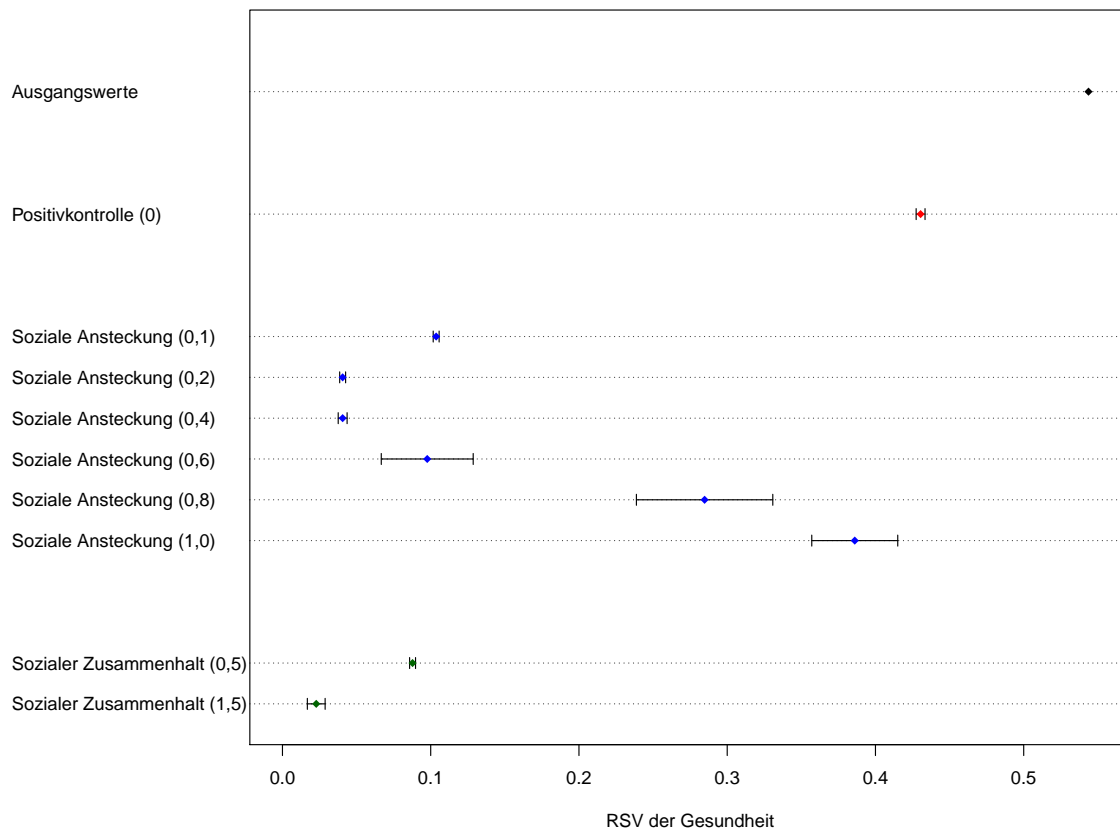


Abbildung 43: Visuelle Darstellung der RSV für Gesundheit in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation.

In Abbildung 44 sind die Werte für den Practical Range der Gesundheit dargestellt. Der niedrigste Wert ist beim Mechanismus *soziale Ansteckung* bei  $\alpha = 1$  (4,206 km) und der höchste Wert beim Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* bei einem hohem Zusammengehörigkeitsgefühl (42,722 km). Der Mittelwert aller durchgeführten Simulationsszenarien und der Ausgangssituation beträgt 20,812 km bei einer Standardabweichung von 11,664 km. Für den Mechanismus *soziale Ansteckung* ist der Wert bei  $\alpha = 0,1$  (22,896 km) ähnlich zu dem der Positivkontrolle (18,219 km) und der Ausgangssituation (18,441 km). Das bedeutet, dass sich die kleinräumige Dimension der Korrelationsstrukturen nicht verändert hat. Die Korrelationsstrukturen liegen dementsprechend in der gleichen Größenordnung vor. Bei  $\alpha \in [0,2 \ 0,4]$  steigt der Practical Range an (30,426 km bzw. 30,092 km). Das deutet darauf hin, dass die Korrelationsstrukturen in einem größerem Bereich vorhanden sind. Für größere  $\alpha$  sinkt er auf ein Minimum von 4,206 km bei  $\alpha = 1$ . Für  $\alpha \geq 0,6$  bilden sich Korrelationsstrukturen, hervorgerufen durch den Stressor, aus.

Der sinkende Practical Range deutet darauf hin, dass sich der räumliche Bereich, in dem die Korrelationsstrukturen vorhanden sind, verringert hat. Für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* beträgt der Practical Range für ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl 21,187 km und für ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl 42,722 km.

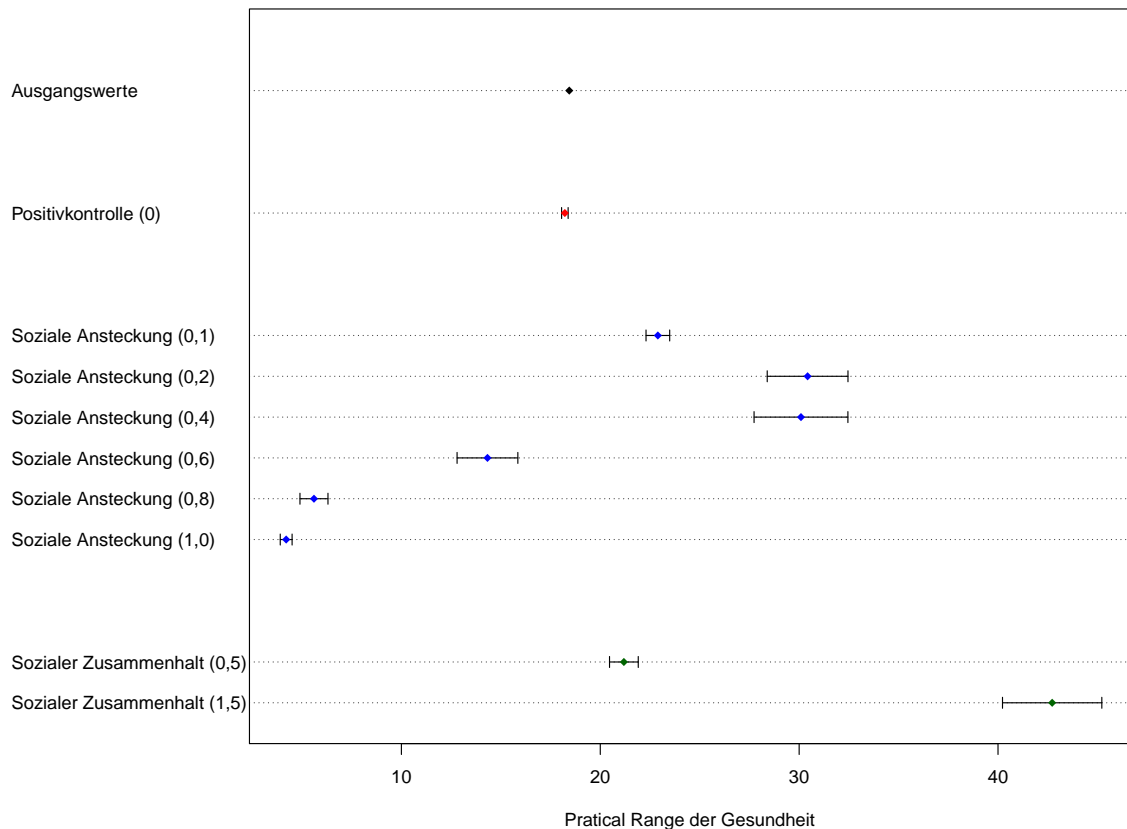


Abbildung 44: Visuelle Darstellung des Practical Range der Gesundheit in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation.

## Verhalten

Abbildung 45 zeigt, die Veränderung des Mittelwerts für Verhalten in den agentenbasierten Simulationen. Die Mittelwerte schwanken zwischen 50,515, bei der Positivkontrolle und 50,750, beim Mechanismus *soziale Ansteckung* für  $\alpha = 1$ . Der Mittelwert des Mittelwertes für Verhalten über alle Simulationsszenarien und die Ausgangssituation beträgt 50,622 bei einer Standardabweichung von 0,081. Der Mittelwert des Verhaltens ändert sich über alle Simulationsszenarien und die Ausgangssituation nur minimal. Die Stabilität des Mittelwertes zeigt, dass die Verhaltensadaptionen vernünftig abgelaufen sind und es keine Verschiebung zu extremen Verhaltensausrägungen gab.

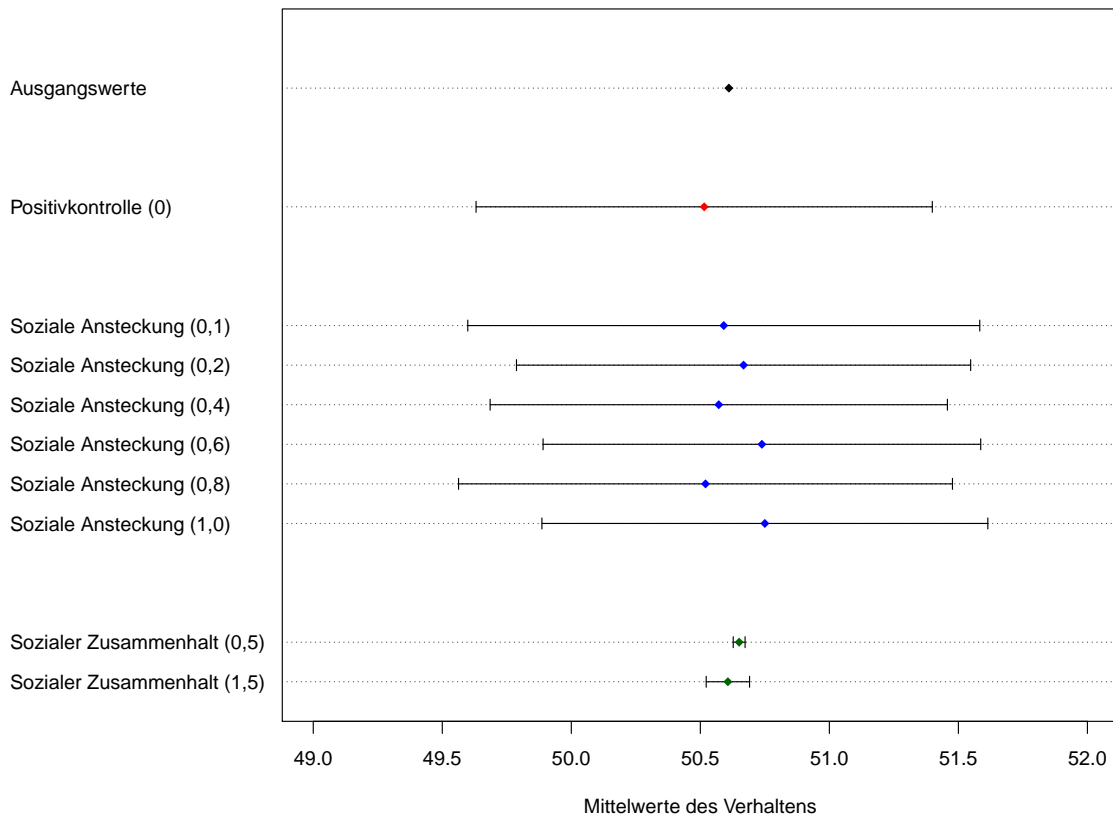


Abbildung 45: Visuelle Darstellung des Mittelwertes des Verhalten in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation.

In Abbildung 46 ist die Varianz des Verhaltens für die neun verschiedenen Simulationsszenarien und die Ausgangssituation dargestellt. Die Werte liegen zwischen 69,394 beim Mechanismus *soziale Ansteckung* bei  $\alpha = 1$  und 548,084 bei der Ausgangssituation. Der Mittelwert der Varianz des Verhaltens in allen Simulationsszenarien und der Ausgangssituation beträgt 219,441 bei einer Standardabweichung von 186,299. In Abbildung 46 ist zu erkennen, dass die Varianz für die Ausgangssituation (548,084) und die Positivkontrolle (546,549) ähnlich hoch sind. Bei der Positivkontrolle wirken keine sozialen Mechanismen, was zu keiner Verhaltensadaptation und damit nur zu geringfügigen Änderung in der Varianz führen kann. Die Stärke der Varianz des Verhaltens verdeutlicht, wie stark die Verhaltensadaptation stattgefunden hat. Für den Mechanismus *soziale Ansteckung* liegt der höchste Wert der Varianz des Verhaltens bei 184,047 für  $\alpha = 0,1$ . Der Unterschied zur Positivkontrolle beträgt 362,502. Mit einer Erhöhung von  $\alpha$  nimmt die Varianz des Verhaltens ab.

Bis zu  $\alpha = 0,4$  sind größere Abnahmen zum vorherigen Wert festzustellen und ab  $\alpha = 0,6$  sind die Abnahmen geringer. Mit einer Abnahme der Varianz des Verhaltens geht eine verstärkte Verhaltensadaptation hervor. Mit einer Zunahme von  $\alpha$  nimmt die Verhaltensübernahme zu.

Für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* liegt die Varianz des Verhaltens für ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl um 118,739 höher, verglichen mit den agentenbasierten Simulationen für  $\alpha = 0,1$ . Bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl ist die Varianz 164,248. Für ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl hat eine stärkere Verhaltensübernahme stattgefunden, als bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl und  $\alpha = 0,1$ . Das bedeutet, dass bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl des *sozialen Zusammenhaltes* die Verhaltensübernahme stärker abläuft, als wenn nur die *soziale Ansteckung* als Mechanismus wirkt.

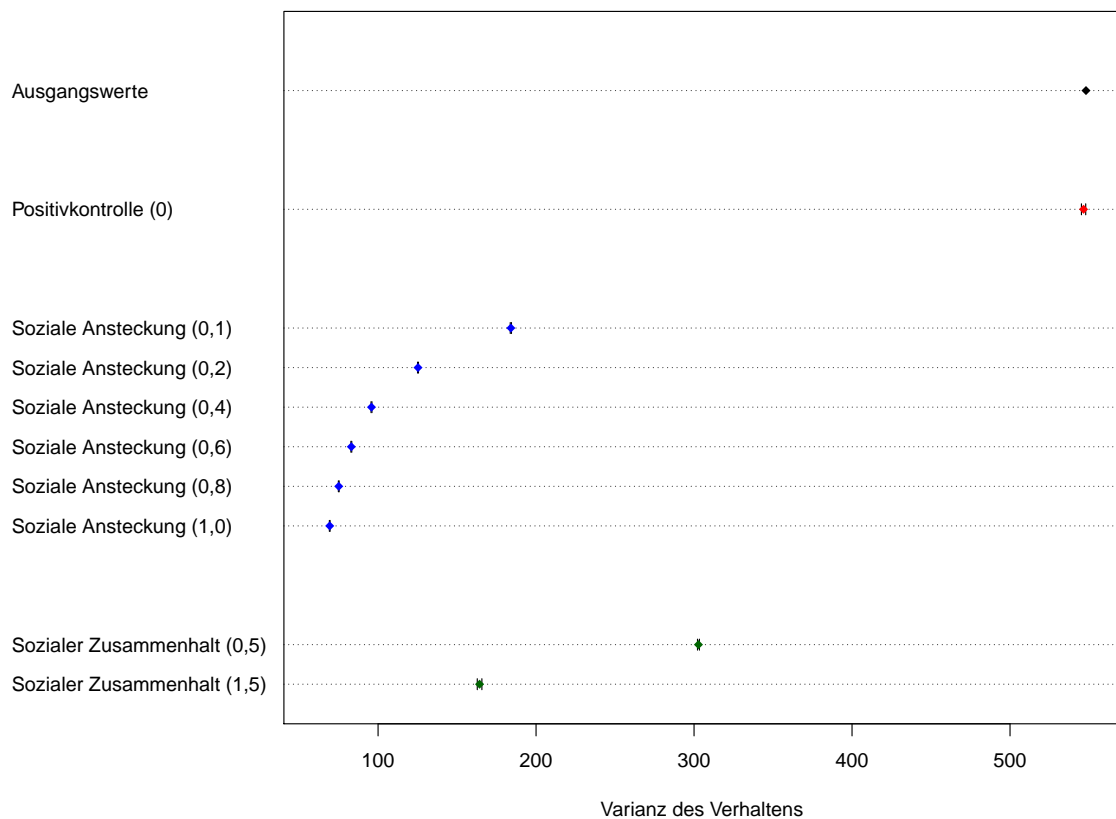


Abbildung 46: Visuelle Darstellung der Varianz des Verhaltens in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation.

Abbildung 47 stellt die Werte des Nuggets für Verhalten dar. Die Werte variieren zwischen 0 ( $0,4 \leq \alpha \leq 1$ ) und 428,414 (Positivkontrolle). Der Mittelwert des Nuggets beträgt für alle Simulationsszenarien und die Ausgangssituation 109,692 bei einer Standardabweichung von 167,044. Die Nuggets der Positivkontrolle (428,414) und der Ausgangssituation (389,287) sind am höchsten. Für den Mechanismus *soziale Ansteckung* ist der Wert für  $\alpha = 0,1$  mit einem Nugget von 57,700 am höchsten. Der Nugget fällt für  $\alpha = 0,2$  auf 4,896 ab und beträgt bei allen übrigen Simulationsszenarien für den Mechanismus *soziale Ansteckung* 0. Ein Nuggeteffekt von 0 bedeutet, dass sich direkt nebeneinander liegende Werte sehr ähnlich sind und kaum Variabilität zwischen benachbarten Agenten besteht.

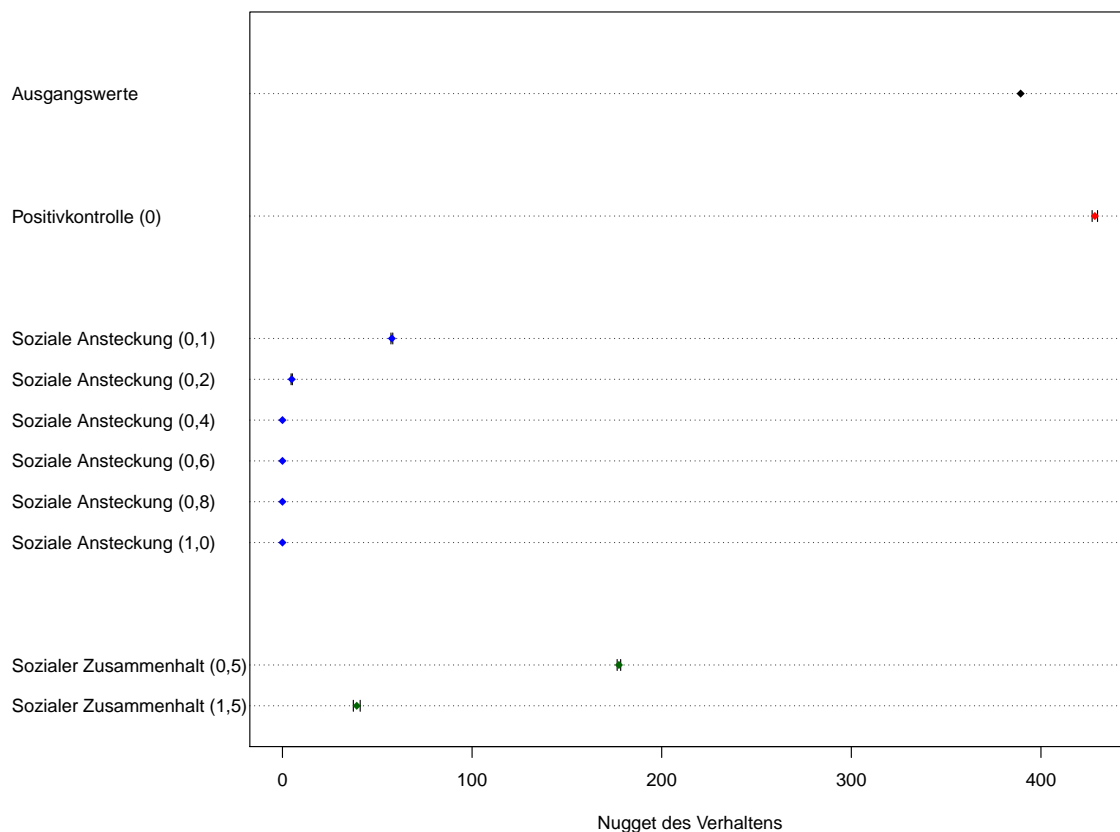


Abbildung 47: Visuelle Darstellung des Nuggets für Verhalten in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation.

Für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* ist der Nugget für ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl von allen durchgeführten agentenbasierten Simulationen, außer der Positivkontrolle, am höchsten (177,439). Das bedeutet, dass die Verhaltensübernahme bei diesem Szenario am geringsten abgelaufen ist.

Bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl ist der Wert um 138,255 niedriger um 18,516 niedriger als bei  $\alpha = 0,1$  von 18,516. Das verdeutlicht die erhöhte Verhaltensübernahme durch den *sozialen Zusammenhalt* bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl.

Die Werte für den Partial Sill vom Verhalten aller Simulationsszenarien und der Ausgangssituation des Verhaltens sind in Abbildung 48 visualisiert. Die Werte variieren zwischen 75,669 bei dem Mechanismus *soziale Ansteckung* für  $\alpha = 1$  und 157,251 bei der Ausgangssituation. Der Mittelwert beträgt für alle Simulationsszenarien und die Ausgangssituation 111,561 bei einer Standardabweichung von 25,497. Für den Mechanismus *soziale Ansteckung* ist der Partial Sill bei  $\alpha = 0,1$  am höchsten (126,346). Bei einer Zunahme von  $\alpha$  sinkt der Partial Sill. Für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* ist der Partial Sill für ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl (125,347) nahezu identisch mit dem Partial Sill für ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl (125,570) und  $\alpha = 0,1$  (126,346).

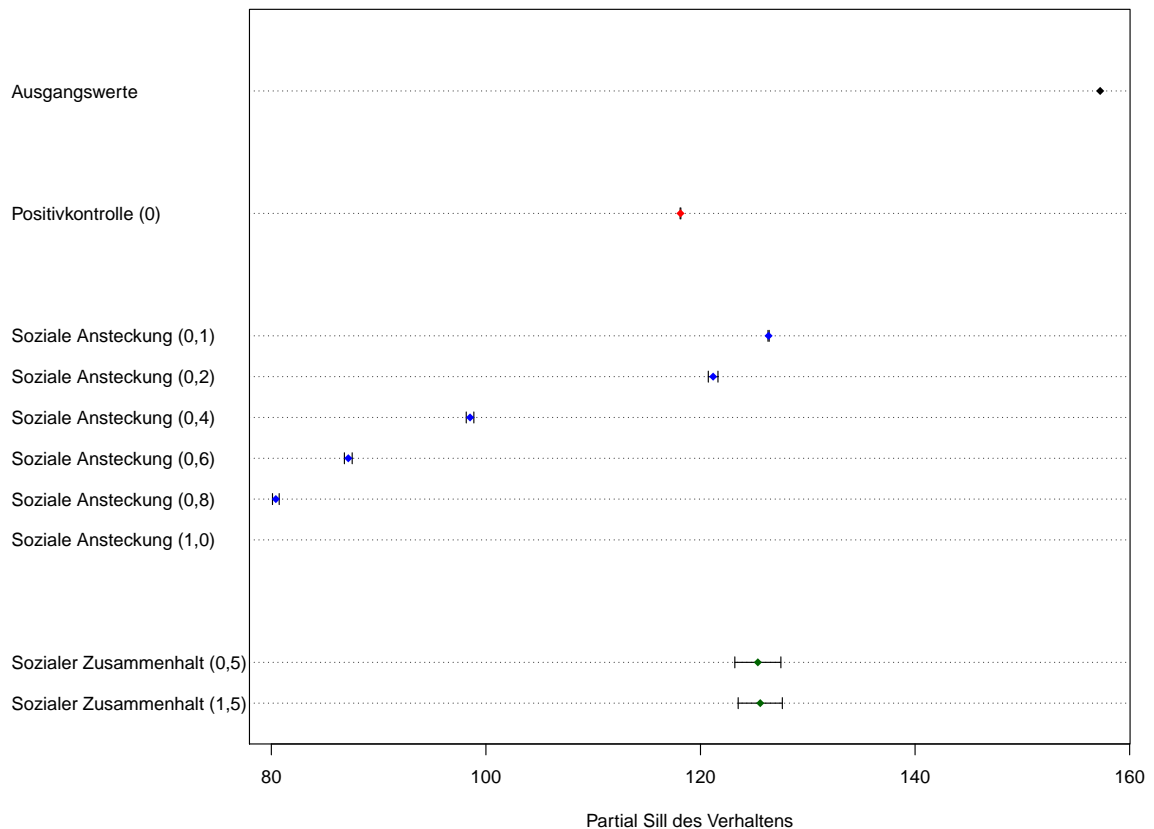


Abbildung 48: Visuelle Darstellung des Partial Sills für Verhalten in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation.

In Abbildung 49 ist die RSV des Verhaltens dargestellt. Die Werte liegen zwischen 21,6% (Positivkontrolle) und 100% ( $0,4 \leq \alpha \leq 1$ ). Der Mittelwert für alle Simulationsszenarien und die Ausgangssituation liegt bei 73,3% mit einer Standardabweichung von 31,7%. Für den Mechanismus *soziale Ansteckung* steigt die Stärke der Korrelation von 68,7% ( $\alpha = 0,1$ ) über 96,1% ( $\alpha = 0,2$ ) auf 100% (übrige Werte für  $\alpha$ ). In der Ausgangssituation ist die Korrelationsstärke 28,8% und in der Positivkontrolle 21,6%. Für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* ist die RSV bei einem niedrigen 41,4% und bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl 76,2%. Damit ist bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl eine stärkere Korrelation vorhanden, als bei einem niedrigen und bei der zugehörigen Positivkontrolle ( $\alpha = 0,1$ ). Ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl führt zu einer stärkeren Verhaltensübernahme.

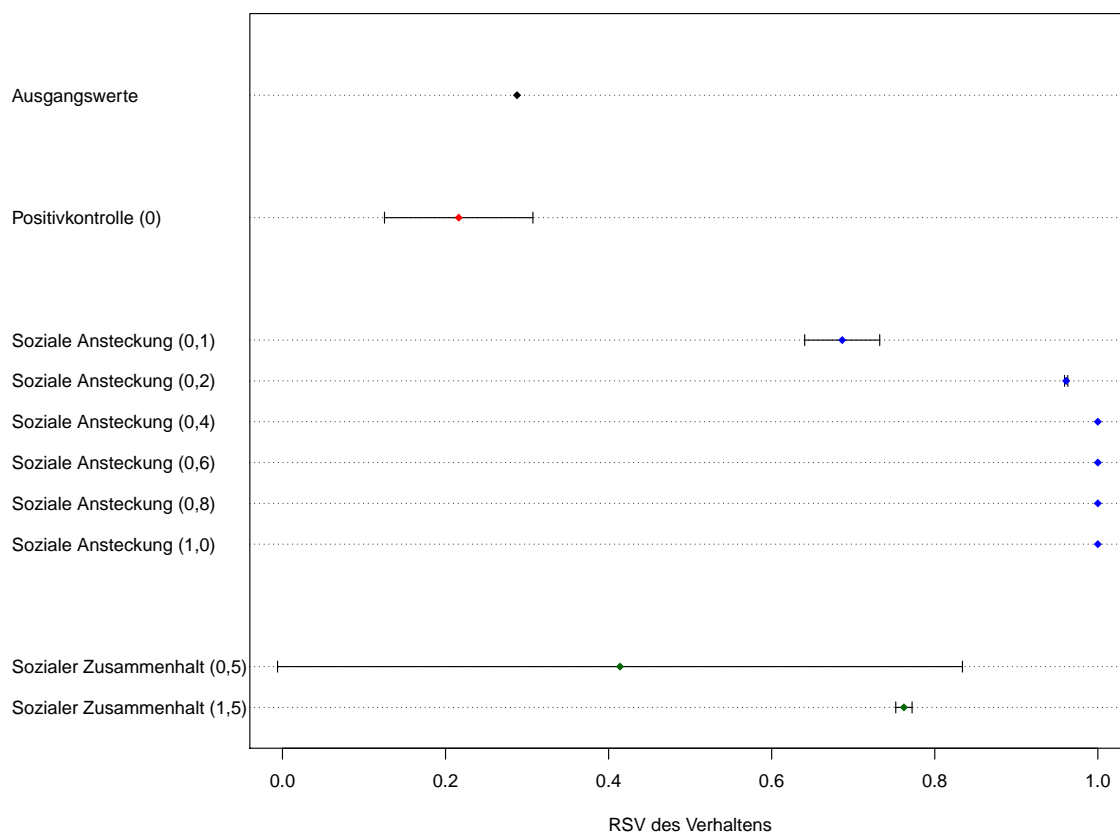


Abbildung 49: Visuelle Darstellung der RSV für Verhalten in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation.



Abbildung 50 visualisiert die Werte für den Practical Range von Verhalten für alle Simulationsszenarien und die Ausgangssituation. Er variiert zwischen 17,217 km (Ausgangssituation) und 32,667 km (Mechanismus *soziale Ansteckung* bei  $\alpha = 1$ ). Der Mittelwert über alle Simulationsszenarien und die Ausgangssituation beträgt 22,100 km bei einer Standardabweichung von 5,743 km. Für den Mechanismus *soziale Ansteckung* sind die Werte bei einem kleinem  $\alpha$  ( $\alpha = 0, 1$ : 17,878 km und  $\alpha = 0, 2$ : 18,559 km) ähnlich zur Positivkontrolle (18,689 km) und zu den Werten des Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* (niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl: 17,710 km und hohes Zusammengehörigkeitsgefühl: 17,891 km). Ab  $\alpha = 0, 4$  steigt die Distanz an, bis 5% des Verhaltens korreliert sind. Mit einem hohen Einfluss der Verhaltensadaption steigt folglich die Distanz, in der noch Korrelation vorhanden ist.

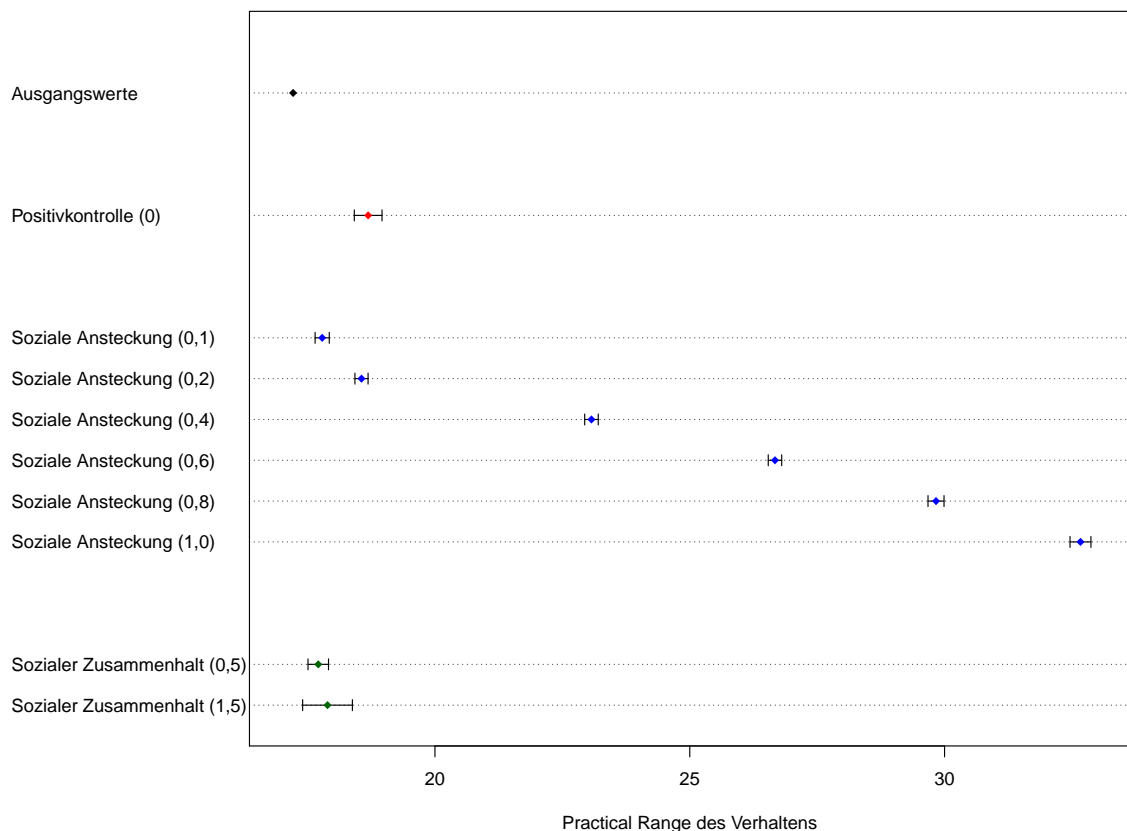


Abbildung 50: Visuelle Darstellung des Practical Range für Verhalten in allen durchgeführten, agentenbasierten Simulationen und der Ausgangssituation.

### 4.3 Erklärungsmodelle zur Reduzierung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten

Bei denen in Kapitel 2.4 vorgestellten theoretischen Modellen sind die Elemente der sozialen Mechanismen mit Black Boxes verdeckt. In Kapitel 3.3 wird eine Möglichkeit entwickelt, um diese Elemente in den Black Boxes mit kausalen Prozessen zu füllen. Aus den vorgestellten Ergebnissen wird ersichtlich, dass soziale Mechanismen in der Lage sind durch die Umwelt induzierte Korrelationsstrukturen für bestimmte  $\alpha$  zu reduzieren bzw. aufzuheben. Für den Mechanismus *soziale Ansteckung* ist bei  $\alpha = 0,1$  die Stärke der Korrelationsstrukturen deutlich zurückgegangen, aber trotzdem noch eine Korrelationsstruktur vorhanden. Ab  $\alpha = 0,2$  bis zu  $\alpha = 0,4$  sind keine Korrelationsstrukturen mehr vorhanden und es hat eine nahezu vollständige Verhaltensadaption stattgefunden. Ab einem  $\alpha \geq 0,6$  bilden sich wieder Korrelationsstrukturen aus. Ein kleines  $\alpha$  kann die Korrelationsstrukturen reduzieren und größere  $\alpha$  können diese sogar aufheben.

Nachdem eine vollständige Verhaltensadaption durch die *soziale Ansteckung* stattgefunden hat ( $\alpha \geq 0,6$ ), kann der Einfluss durch den sozialen Mechanismen nicht mehr verstärkt werden und die Korrelationsstrukturen sind vom Stressor induziert. Die Korrelationsstrukturen können mit kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten gleichgesetzt werden (vgl. Kapitel 3). Dementsprechend kann für  $\alpha \in \{0,1, 0,2, 0,4\}$  das in dieser Arbeit entwickelte, theoretische Modell zur Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten bestätigt werden.

In Abbildung 51 ist das Modell ohne Formeln dargestellt. *Soziale Ansteckung* wird in der Abbildung, durch mehrere, miteinander verknüpfte Elemente als Prozess dargestellt. Diese Elemente werden im folgenden beschrieben:

In der **Gradientenbestimmung** wird die Differenz des Mittelwertes vom Verhaltens der unmittelbar umgebenden NachbarInnen und des eigenen Verhaltens gebildet. In der **Anwendung von Einflüssen** wird diese Differenz mit den sozialen und unbekanntem Einflüssen gewichtet. Die **Aktualisierung des Verhaltens** ermittelt das aktuelle Verhalten, indem das alte, eigene Verhalten mit der gewichteten Differenz addiert wird. In der **Verhaltensadaption** wird die Differenz aus dem aktualisierten Verhalten und dem alten Verhalten gebildet. Diese Differenz wird verwendet, um den **Einfluss der Verhaltensadaption auf die Gesundheit** zu modellieren (vgl. Abbildung 51).

Der soziale Mechanismus *soziale Zusammenhalt* ist bei einem festen  $\alpha = 0,1$  in der Lage bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl die Korrelationsstrukturen aufzuheben. Ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl reduziert die Korrelationsstrukturen minimal im Vergleich zu den agentenbasierten Simulationen ohne den Mechanismus *sozialen Zusammenhalt*. Das dazugehörige Modell ohne Formeln ist in Abbildung 52 dargestellt. Der Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* wird als Erweiterung der *sozialen Ansteckung* modelliert. Dementsprechend bleiben die Elemente der *sozialen Ansteckung* erhalten und werden um Elemente des *sozialen Zusammenhalts* ergänzt. Diese zusätzlichen Elemente werden im folgenden beschrieben:

Das Zusammengehörigkeitsgefühl hat einen **indirekten Einfluss auf die Gesundheit**, bei dem es die **Anwendung von Einflüssen** der *sozialen Ansteckung* zusätzlich gewichtet. Weiterhin wird eine **Einflussgewichtung für das Zusammengehörigkeitsgefühl** durchgeführt, die einen **direkten Einfluss auf die Gesundheit** hat (vgl. Abbildung 52).

Die expliziten Formeln zur Modellierung der sozialen Mechanismen sind in Kapitel 3.3 und den Abbildungen 23 und 24 dargestellt.

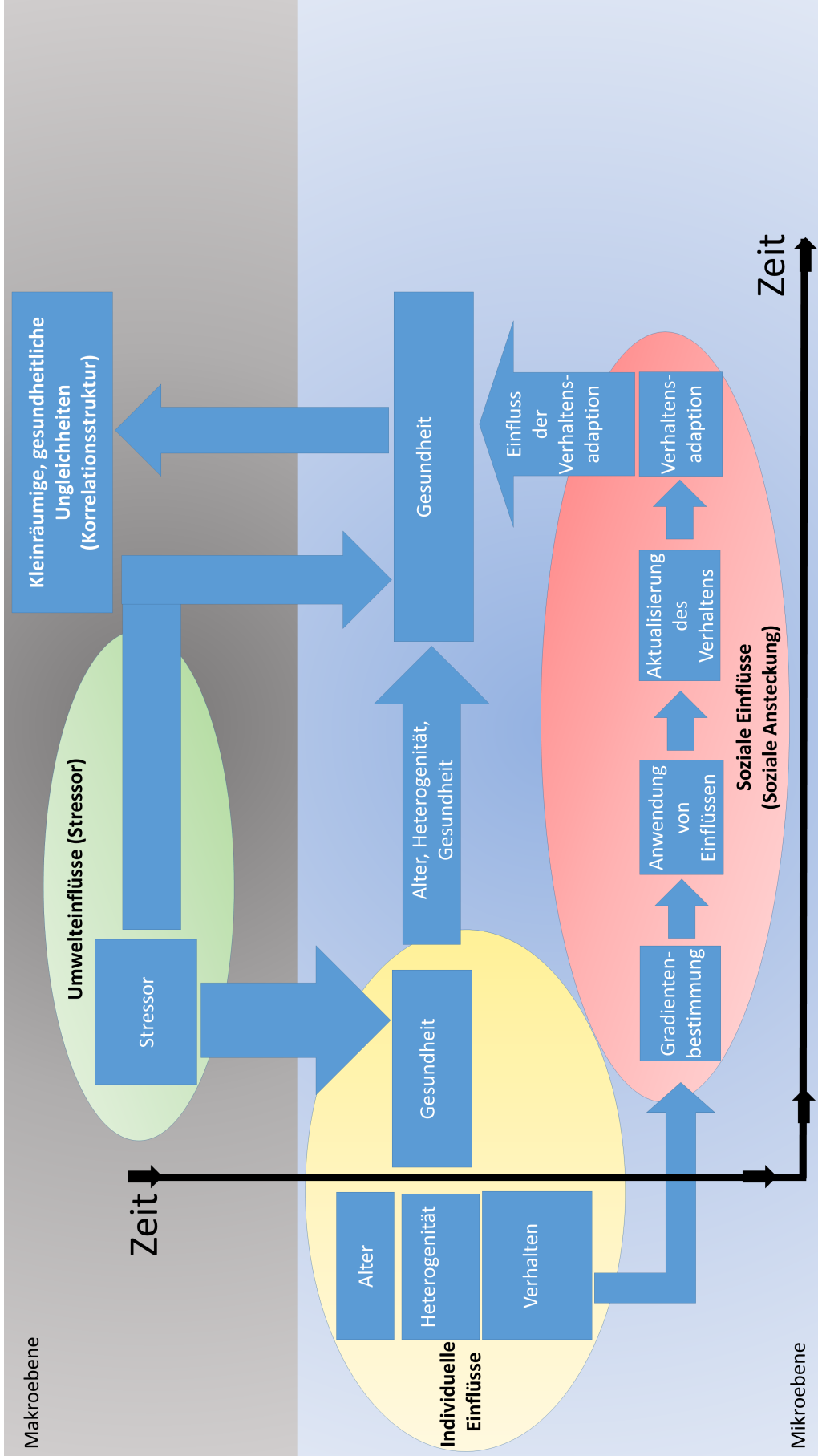


Abbildung 51: Erklärungsmodell zur Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten für den Mechanismus *soziale Ansteckung*.

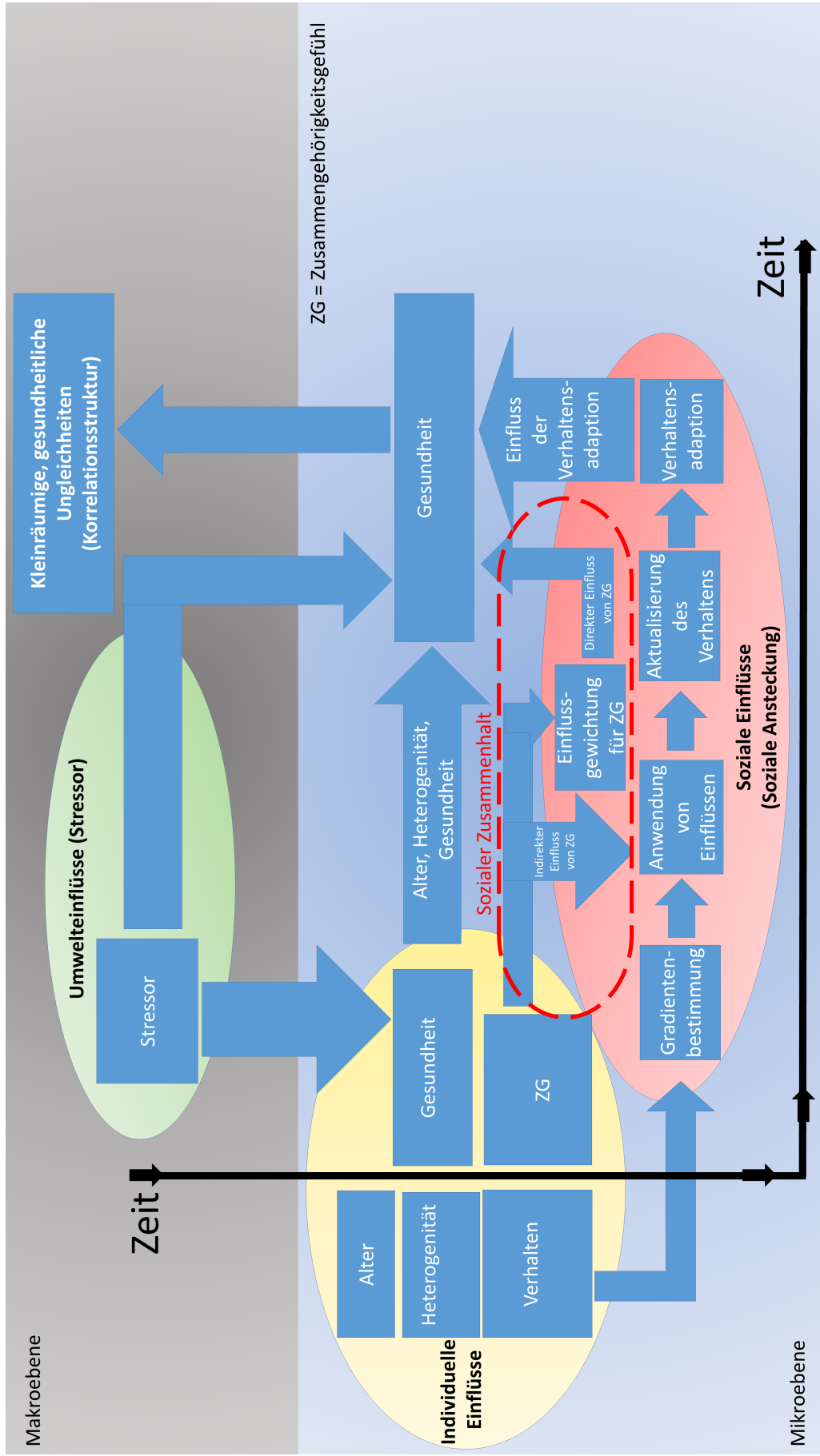


Abbildung 52: Erklärungsmodell zur Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt*.

## 5 Diskussion

In dieser Arbeit soll untersucht werden, ob und wie die sozialen Mechanismen *soziale Ansteckung* und *sozialer Zusammenhalt* als Prozesse kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren oder aufheben können. Es wurde zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt, um die erste Forschungsfrage dieser Arbeit zu beantworten:

Forschungsfrage 1: Welche sozialen Mechanismen (nach Galsters Typologie für soziale Mechanismen) wurden in epidemiologischen Publikationen bezüglich kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten untersucht, wurden diese als Faktoren oder Prozesse analysiert und wie wurden sie operationalisiert?

Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass eine Analyse der sozialen Mechanismen als Faktoren nicht ausreichend ist, um zu verstehen wie genau diese zu einer Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten führen können. Vielmehr müssen soziale Mechanismen als Prozesse analysiert werden (Kaplan, Diez Roux et al. 2017). Eine Möglichkeit der Analyse von Prozessen ist die agentenbasierte Modellierung. In den agentenbasierten Simulationen dieser Arbeit werden die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten als Korrelationsstrukturen modelliert, die mittels Semivariogrammen gemessen werden. Dafür wird die Methodik „Correlation Neighborhood“ (Sauzet, Zolitschka et al. noch unveröffentlicht) angewandt. Die beiden Mechanismen *soziale Ansteckung* und *sozialer Zusammenhalt* werden über eine Verhaltensadaption an die angrenzenden Nachbarschaft eines jeden Agenten<sup>26</sup> modelliert. Durch die durchgeführten, agentenbasierten Simulationen kann die zweite Forschungsfrage dieser Arbeit beantwortet werden.

Forschungsfrage 2: Können nachbarschaftliche, soziale Mechanismen in agentenbasierten Simulationen durch Umwelteinflüsse induzierte, kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren?

Im ersten Kapitel der Diskussion werden zuerst die Ergebnisse der durchgeführten Literaturrecherche zu sozialen Mechanismen in epidemiologischen Publikationen diskutiert (Kapitel 5.1). Anschließend wird die, in dieser Arbeit angewandte, Methodik der agentenbasierten Simulationen diskutiert (Kapitel 5.2.1) und erklärt, welche Einflüsse auf die Verhaltensübernahme begründet nicht in das Modell dieser Arbeit integriert werden. Weiterhin wird dargelegt, wie eine Integration dieser Einflüsse in weiterführenden, agentenbasierenden Simulationen möglich wäre und was dabei explizit zu beachten wäre.

---

<sup>26</sup>Wobei ein Agent in den durchgeführten, agentenbasierten Simulationen ein Individuum repräsentiert.

Anschließend werden die Ergebnisse der agentenbasierten Simulationen besprochen und Limitationen aufgezeigt (Kapitel 5.2.2 und Kapitel 5.2.3). Weiterhin werden aus den Ergebnissen gewonnene Erkenntnisse auf die Praxis übertragen (Kapitel 5.2.4). Zum Schluss wird ein Ausblick mit Möglichkeiten der Evaluation gegeben und ein Fazit gezogen (Kapitel 5.2.5 und Kapitel 6).

## 5.1 Soziale Mechanismen in epidemiologischen Publikationen

Die Literaturrecherche identifiziert, welche sozialen Mechanismen<sup>27</sup> in dem Prozess von kleinräumigen Charakteristiken zu gesundheitlichen Ungleichheiten in epidemiologischen Publikationen untersucht wurden. Ebenfalls zeigt sie auf, wie diese soziale Mechanismen in der Literatur operationalisiert wurden.

In die Literaturrecherche können 15 epidemiologische Publikationen eingeschlossen werden. Von denen analysierte jede mindestens einen sozialen Mechanismus mit einem Effekt auf gesundheitliche Ungleichheiten. Die meisten (10) dieser Studien nutzten soziales Kapital als theoretisches Konzept, vom dem sie soziale Mechanismen ableiteten und auf das jeweilige gesundheitliche Outcomes anpassten. Theorien über soziales Kapital beinhalten soziale Mechanismen, bilden diese jedoch nicht konkret ab. Soziales Kapital ist eine Theorie, die auf dem normativen Zusammenhalt auf Gruppen und einer wechselseitigen Interaktion zwischen einer Gruppe und deren Individuen basiert (Dahl & Malmberg-Heimonen 2010). Die Theorien über soziales Kapital oder einzelne Aspekte dieser Theorien, die von den eingeschlossenen Studien verwendet wurden, stammen entweder von Putnam (Putnam 2000) oder Bourdieu (Bourdieu 1986). Dabei gibt es eine klare kontinentale Unterscheidung. Europäische Studien verwendeten Bourdieus 1983 in Frankreich veröffentlichte Konzept des sozialen Kapitals und nordamerikanische Studien fokussierten sich auf Putnams 1990 in den USA veröffentlichten Ansatz sozialen Kapitals (Bourdieu 1986; Putnam 2000). Bourdieus Ansatz definiert soziales Kapital als die individuelle Fähigkeit Zugang zu potentiellen, sozialen Ressourcen durch die Biografie und das soziale Netzwerk zu erhalten (Bourdieu 1986). Dagegen ist Putnams Ansatz weniger auf das Individuum fokussiert. Seine Theorie konzentriert sich stärker auf eine kollektive Sichtweise des sozialen Kapitals. Putnams Ansatz definiert soziales Kapital als Eigenschaften einer sozialen Organisation, wie beispielsweise Vertrauen, Normen und Netzwerke, die die Effizienz einer Gesellschaft durch koordinierte Handlungen erhöhen kann (Putnam 2000).

---

<sup>27</sup>Nach Galsters Typologie von sozialen Mechanismen (Galster 2012).

Die verbleibenden fünf Studien, die soziales Kapital nicht als theoretisches Konzept verwendeten, untersuchten die sie interessierenden Assoziationen ohne ein explizites theoretisches Konzept.

Die identifizierten Publikationen werden gemäß Galsters Typologie von sozialen Mechanismen kategorisiert (*soziale Netzwerke, soziale Ansteckung, kollektive Sozialisierung, sozialer Zusammenhalt, Wettbewerb, relative Deprivation* und *elterliche Mediation* (Galster 2012)). In der untersuchten epidemiologischen Literatur werden von Galsters Kategorien für soziale Mechanismen *soziale Netzwerke* und *sozialer Zusammenhalt* am häufigsten analysiert. *Soziale Netzwerke* werden in acht verschiedenen Formen der Operationalisierung gefunden und *sozialer Zusammenhalt* in neun. Die unterschiedlichen Operationalisierungen des gleichen Mechanismus schränken die Möglichkeiten eines studienübergreifenden Vergleiches erheblich ein. Die Komplexität der Erhebung der sozialen Mechanismen in den eingeschlossenen Studien variierte stark. Die Mechanismen wurden überwiegend durch binäre Fragen oder simple Skalen operationalisiert, bei denen keine Validität gegeben ist. Nur zwei Studien nutzten validierte Instrumente, um ihre zu analysierende, soziale Mechanismen zu operationalisieren (Pinxten & Lievens 2014; Fone, White et al. 2014). Eine verbreitetere Nutzung von standardisierten, validen Erhebungsinstrumenten und Operationalisierungen von sozialer Mechanismen würde die Vergleichbarkeit der Studien deutlich erhöhen und die Evidenz von sozialen Mechanismen in der Literatur stark verbessern.

Die anderen sozialen Mechanismen haben entweder keine (*Wettbewerb, kollektive Sozialisierung* und *elterliche Mediation*) oder nur eine (*soziale Ansteckung* und *relative Deprivation*) Form der Operationalisierung. Sie können nicht trivial als Faktor operationalisieren werden und erschweren die Datenerhebung. Das könnte ein Grund dafür sein, warum sie in der epidemiologischen Literatur selten operationalisiert wurden. *Kulturelle Teilhabe* kann als ein Faktor für eine mögliche Operationalisierung des Mechanismus *soziale Ansteckung* aufgefasst werden. Allerdings kann diese Operationalisierung nicht den Mechanismus abbilden. Vielmehr kann der Faktor *kulturelle Teilhabe* einen Einblick darin geben, ob ähnliche kulturelle Einstellung, die einen Einfluss auf die individuelle Gesundheit haben können, ggf. auf gemeinsamen, kulturellen Zusammenschlüssen basiert. Wie genau eine mögliche *soziale Ansteckung* bei kulturellen Zusammenschlüssen funktionieren könnte und wie die Einflüsse auf die Gesundheit sind, bleibt unklar.

Soziale Mechanismen haben unterschiedlich starke Abstraktionsgrade. *Soziale Netzwerke* und *sozialer Zusammenhalt* können als Faktoren gemessen werden.



Beispielsweise kann der Mechanismus *soziale Netzwerke* als Faktor erhoben werden (z.B. durch die Anzahl an FreundInnen), wohingegen die meisten der anderen Mechanismen, wie *soziale Ansteckung*, *kollektive Sozialisierung* und *elterliche Mediation*, dynamische Prozesse sind und nur schwierig bzw. nicht ausreichend als Faktor operationalisiert und analysiert werden können.

*Soziale Netzwerke* und *sozialer Zusammenhalt* wurden überwiegend über direkte Fragen oder Skalen aus mehreren Fragen erhoben. Dadurch können die beiden Mechanismen in epidemiologischen Studien relativ einfach dargestellt, analysiert und ausgewertet werden. Allerdings erlaubt diese Form der Darstellung als Faktor nur eine Analyse auf der individuellen Ebene. Eine Operationalisierung auf sowohl der individuellen als auch der kleinräumigen Ebene würde das Konzept des Mehrebenenmechanismus ermöglichen (Hedström & Swedberg 1998). Nur eine Studie berücksichtigte den Mechanismus (für die untersuchten Operationalisierungen *sozialer Zusammenhalt* und *allgemeines Sicherheitsgefühl*) auf beiden Ebenen (Putrik, Vries et al. 2015). Der Mangel an Operationalisierungen auf der kleinräumigen Ebene in epidemiologischen Publikationen könnte ein Anzeichen dafür sein, dass es schwierig ist, das relevante, kleinräumige Umfeld für die Analyse gesundheitlicher Ungleichheiten zu definieren, auf dem kleinräumige Faktoren oder Mechanismen agieren können (Macintyre, Ellaway et al. 2002; Ham, Manley et al. 2012). Für gesundheitliche Ungleichheiten werden überwiegend pragmatische Ansätze verwendet, die auf administrativen Gliederungen basieren, wie beispielsweise einer Aufteilung in einzelne Stadtteile. Für die Analyse sozialer Mechanismen sind solche Einordnungen kaum relevant. Individuen haben nicht zwangsläufig das Wissen darüber, wo genau ein anderer Stadtteil beginnt und halten sich in ihren sozialen Interaktion nicht zwangsläufig an administrative Grenzen. Eine sinnvollere Definition für das kleinräumige Umfeld in dem soziale Mechanismen agieren, wäre eines, das sich um den Wohnort des Individuums entwickelt und seine täglichen sozialen Kontakte unabhängig von administrativen Grenzen einbezieht. Die sozialen Mechanismen, die der epidemiologischen Literatur identifiziert wurden, behandeln diese lediglich als Risikofaktoren in Assoziationsanalysen. Sie müssten jedoch als Prozesse aufgefasst und in einem dynamischen Rahmen analysiert werden, in dem sich die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten über einen Zeitverlauf aus den sozialen Mechanismen entwickeln (Hedström & Swedberg 1998; Ham, Manley et al. 2012; Sørensen 1998; Machamer, Darden et al. 2000; Kaplan, Diez Roux et al. 2017).

Eine Beschränkung darauf, soziale Mechanismen nur als Faktoren zu behandeln ist zu restriktiv, um die Entstehung oder Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten, insbesondere dem Zusammenspiel von individueller und kleinräumiger Ebene, vollständig verstehen zu können.

Alle identifizierten Studien verwendeten ein Querschnittsdesign, weshalb eine Einschätzung der Kausalität nicht möglich ist. Es kann nicht festgestellt werden, ob die sozialen Faktoren zeitlich vor dem gesundheitlichen Outcome vorhanden waren und damit überhaupt einen Einfluss auf dieses haben. Für eine Analyse von Prozessen sind longitudinale Studien notwendig. Effekte von Risikofaktoren im Lebenslauf eines Individuums könnten mittels komplexer Systemmodellierung (vgl. Kapitel 1.2) analysiert werden. Soziale Mechanismen werden dabei als Prozesse aufgefasst und im zu untersuchenden Kontext, beispielsweise wie soziale Prozesse kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren können, analysiert. Diese Mechanismen sind dabei Teil eines kausalen Wirkpfades, bei dem sie im Zeitverlauf kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren können. Die meisten Studien diskutierten nicht, wie die Mechanismen zu gesundheitlichen Ungleichheiten führen könnten. Vielmehr fokussierten sie ihre Analyse auf die Assoziation zwischen dem zu operationalisierenden Faktor und einem gesundheitlichen Outcome.

### **Limitationen**

In der Literaturrecherche wird die Typologie von Galster bezüglich sozialer Mechanismen zur Kategorisierung der in der Literatur identifizierten Mechanismen herangezogen. Galsters Typologie wurde nicht explizit für gesundheitliche Ungleichheiten entwickelt, sondern beschreibt mögliche soziale Mechanismen zwischen dem kleinräumigen Kontext und dem individuellen Verhalten oder der Gesundheit (Galster 2012). In der Literatur konnte für diese Arbeit zum einen keine passendere Typologie identifiziert werden und zum anderen ist es unwahrscheinlich, dass eine andere Typologie der sozialen Mechanismen zu anderen Ergebnissen geführt hätte, weil das Hauptergebnis der Literaturrecherche nicht auf der Typologie der sozialen Mechanismen basiert. Vielmehr ist es auf der Ausführung der Analyse von soziale Mechanismen begründet und, dass diese in der Epidemiologie nicht als Prozesse sondern als Faktoren analysiert wurden.

Weiterhin ist die Literaturrecherche auf den Begriff „soziale Mechanismen“ fokussiert und die Suche auf eine epidemiologische Datenbank (PubMed) beschränkt. Dadurch konnten möglicherweise nicht alle existierenden Publikationen miteinbezogen werden, die soziale Mechanismen hinsichtlich gesundheitlicher Ungleichheiten untersuchten.

Die identifizierten, epidemiologischen Studien wandten für die Analyse von sozialen Mechanismen keine komplexen Systemmodellierungen, wie beispielsweise agentenbasierte Simulationen, an. Es ist unwahrscheinlich, dass die mit der Suchstrategie nicht gefundenen Studien soziale Mechanismen mit komplexen Systemmodellierungen analysierten. Weiterhin ist das Ziel der Literaturrecherche nicht, eine vollständige Übersicht über alle Publikationen, welche soziale Mechanismen in der Epidemiologie analysierten, zu erhalten, sondern mögliche Forschungslücken in der Epidemiologie bezüglich der Analyse von sozialen Mechanismen zu identifizieren.

### **Ausblick**

Die Analyse von Assoziationen ist wichtig, um potentielle Zusammenhänge zu identifizieren. Allerdings kann dadurch nicht verstanden werden, wie kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten entstehen oder reduziert werden können. In der Epidemiologie werden soziale Mechanismen überwiegend nicht als Prozesse verstanden und dementsprechend können sie auch nicht als solche analysiert werden. In der Epidemiologie sollten die Assoziationsanalysen um andere Analysemethoden, wie beispielsweise komplexe Systemmodellierungen, die den Mehrebenenansatz (vgl. Kapitel 2.2.2, Abbildung 8) berücksichtigen, ergänzt werden. Dadurch könnten die komplexen, dynamischen Interaktionen von sozialen Mechanismen auf kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten aufgeklärt werden.

## **5.2 Soziale Mechanismen in den agentenbasierten Simulationen**

Die in Kapitel 5.1 diskutierte Literaturrecherche hat bestätigt, dass soziale Mechanismen in epidemiologischen Publikationen überwiegend als Faktoren analysiert wurden. Diese Assoziationsanalysen sind wichtig, um herauszufinden, welche Faktoren einen Einfluss auf die Gesundheit haben können. Allerdings kann durch sie nicht verstanden werden, welche Prozesse ablaufen und wie explizit kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten entstehen oder reduziert werden könnten. In dieser Arbeit wird als grundlegender Mechanismus explizit einer ausgewählt, der nicht ausreichend als Faktor analysiert werden kann (*soziale Ansteckung*). Die Literaturrecherche (vgl. Kapitel 5.1) hat gezeigt, dass eine Operationalisierung als Faktor für diesen Mechanismus schwierig und nicht zielführend für das Verständnis dessen Ablaufes ist. Zusätzlich wird der Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* analysiert. Dieser kann einfacher, verglichen mit *sozialer Ansteckung*, als Faktor analysiert werden, allerdings wird auch dabei der Prozess, wie das Phänomen sich entwickeln kann, nicht berücksichtigt (vgl. Kapitel 5.1).

Das Ziel dieser Arbeit ist daher, diese sozialen Mechanismen als Prozesse zu analysieren und eine Möglichkeit zu finden, wie diese kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren können.

In diesem Kapitel wird zunächst die Methodik der agentenbaiserten Simulationen diskutiert und Einflüsse, die begründet nicht in das Modell integriert werden, diskutiert. Danach werden die Hauptaussagen der Ergebnisse der agentenbasierten Simulationen erläutert. Abschließend werden Limitationen dargestellt, mögliche Implikationen für die Praxis herausgearbeitet und ein Fazit der gesamten Arbeit gezogen.

### **5.2.1 Methodendiskussion - agentenbasierte Simulationen**

Agentenbasierte Simulationen sind auf die zu untersuchende Forschungsfrage zielgerichtete Vereinfachungen der Realität und werden in den Sozialwissenschaften überwiegend für generative Erklärungen verwendet (Epstein 2006). Dabei führen Outcomes aus der Mikroebene, die aus den Interaktionen der Individuen resultieren, zu einem Phänomen auf der Makroebene. Modelle, die ein solches Phänomen nicht nur erzeugen, sondern auch erklären können, durch welche Prozesse es erreicht werden kann, können als hinreichend für eine Erklärung bezeichnet werden. Ein hinreichendes Modell muss dabei nicht absolut sein. Andere Modelle, die ebenfalls zu einem gleichen oder ähnlichen Phänomen führen, können nicht ausgeschlossen werden. Vielmehr ist jede generative Erklärung durch das hinreichende Modell nur eine unter mehreren Erklärungsmöglichkeiten (Epstein 2006; Metz 2017).

Agentenbasierte Simulationen sind ein relativ neuer Ansatz, der ein hohes Potential birgt, insbesondere hinsichtlich der Analyse von Prozessen in komplexen, sozialen Systemen. Die Analyse von Interaktionen auf der Mikroebene, die zu einem Phänomen auf der Makroebene führen, kann mit traditionellen Methoden, wie beispielsweise Regressionsanalysen, nicht untersucht werden. Agentenbasierte Simulationen basieren auf mathematischer Modellierung. Diese Modellierung hängt davon ab, wie eine mögliche Abstraktion der Realität in eine Programmiersprache übersetzt wird. Dabei muss die gesamte Struktur des Modells detailliert entworfen und implementiert werden. Während der agentenbasierten Simulationen kann das Modell manipuliert und betrachtet werden. Ebenso können die Ausgangs- und Endsituationen betrachtet und ggf. angepasst werden. Agentenbasierte Simulationen können nicht, wie andere Methodiken, durch Modellgüte- oder Signifikanztests beurteilt werden. Beim Entwurf des Modells für die agentenbasierte Modellierung ist der Grad der Vereinfachung von der Realität schwierig.

Wenn das Modell nicht mit dem richtigen Abstraktionsgrad modelliert wird, kann es entweder aufgrund einer zu starken Abstraktion nur mit einem sehr hohem Aufwand kalibriert werden oder es liefert bei einer zu geringen Abstraktion triviale Ergebnisse ohne nennenswerte Gewinnung neuer Erkenntnisse. Ebenso kann die Einbringung zu vieler Annahmen in ein Modell dazu führen, dass die Ergebnisse der agentenbasierten Simulationen nicht auf die getroffenen Annahmen zurückgeführt werden können und dadurch nicht klar wird, welche Annahme schlussendlich das Ergebnis bedingt hat (Metz 2017). Ein weiterer Grund, für eine auf die Forschungsfrage zielgerichtete Abstraktion der Realität, sind Hardware-Ressourcen. Durch die explizite Modellierung von Agenten und deren Interaktionen auf der Mikroebene werden hohe Anforderungen an die Rechen- und Speicherkapazitäten der verwendeten Rechner gestellt. Für jeden Agenten müssen in jeder durchzuführenden Iteration Berechnungen und Wertänderungen vorgenommen werden.

Das Verständnis wie genau soziale Mechanismen eine Reduktion von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten bewirken können, lässt sich nicht durch Assoziationsanalysen erklären. Es ist notwendig, das Verhalten von einzelnen Individuen auf der Mikroebene zu betrachten, die zu einer Reduktion der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten auf der Makroebene führen können. Aus diesem Grund wurden agentenbasierte Simulationen als Methodik der vorliegenden Arbeit gewählt. Die Abstraktion der Realität wurde dabei auf die Forschungsfrage zielgerichtet und nur die notwendigen Aspekte in das Modell integriert. Die untersuchten, sozialen Mechanismen wirken über die Verhaltensadaption auf kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten. Diese Modellierung lässt sich nicht eindeutig einer sozialen Kapital Theorie mit Fokus auf dem Individuum (Bourdieu 1986) oder dem Kollektiv (Putnam 2000) zuordnen. Vielmehr werden beide Aspekte gleichermaßen miteinbezogen und betrachtet.

Im nächsten Abschnitt werden mögliche Einflüsse auf die Verhaltensadaption und Gesundheit, die in den durchgeführten, agentenbasierten Simulationen nicht oder nur geringfügig berücksichtigt werden, dargelegt.

Diese Einflüsse werden nicht integriert, um einerseits die Laufzeit der agentenbasierten Simulationen für diese Arbeit durchführbar zu gestalten und um andererseits nur die für die Forschungsfrage relevanten Aspekte der Realität in das Modell mitaufzunehmen. Weiterhin wird erläutert, wie diese Einflüsse in weiterführende, agentenbasierte Simulationen integriert werden könnten.

## **Mögliche Einflüsse auf die Verhaltensadaption und Gesundheit**

Mögliche Einflüsse auf das Verhalten, die Verhaltensadaption und die Gesundheit, die in den agentenbasierten Simulationen durch den unbekanntem Einfluss  $\varepsilon$  ausgedrückt, aber nicht explizit modelliert werden, können u.a. folgende sein:

- Ausprägungen von Verhalten
- Alter
- Geschlecht
- Sozioökonomischer Status
- Kultur
- Soziales Netzwerk
- Zeitraum
- Lebensereignisse
- Globale Einflüsse

### **Ausprägungen von Verhalten**

In den agentenbasierten Simulationen wird ein allgemeines Gesundheitsverhalten ohne spezifische Ausprägungen modelliert. Für eine allgemeine erste Analyse des Einflusses sozialer Mechanismen auf die Reduzierung kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten ist diese Vereinfachung unausweichlich. In der Realität gibt es allerdings nicht nur ein allgemeines Gesundheitsverhalten, sondern viele verschiedene Aspekte des Gesundheitsverhaltens. Laut der Literatur gibt es fünf Verhaltensweisen, die maßgeblich für Krankheiten und Sterbefälle in der Bevölkerung verantwortlich sind: Körperliche Aktivität, Ernährung, Schlafverhalten, Tabak- und Alkoholkonsum (Fuchs, Bolliger et al. 2012). Um herauszufinden, ob die analysierten Mechanismen auch für die spezifischen Verhaltensweisen angewendet werden können, müssten die agentenbasierten Simulationen mit realen Daten zu dem jeweiligen Verhalten modelliert werden und für jede Verhaltensweise zunächst einzeln überprüft werden. Falls die sozialen Mechanismen weiterhin angewendet werden können, müssten die Verhaltensweisen im nächsten Schritt kombiniert analysiert werden.

Schwierigkeiten bei der Integration mehrerer Verhaltensweisen in agentenbasierte Simulationen wären dabei, einerseits die Interaktionen zwischen den verschiedenen Verhaltensweisen und andererseits welche Verhaltensweisen bei welchen Individuen einen stärkeren Einfluss auf die Gesundheit aufweisen könnten. Weiterhin müsste geprüft werden, ob die sozialen Mechanismen noch wirken, wenn für ein Individuum gegensätzliche, die Gesundheit beeinflussende Verhaltensweisen vorliegen. Es kann beispielsweise vorkommen, dass ein Individuum einige gesundheitsschädliche Verhaltensweisen ausübt (z.B. ein hoher Tabak- oder Alkoholkonsum), sich die restlichen Verhaltensweisen dafür aber positiv auf die Gesundheit auswirken (z.B. gesunde Ernährung und hohe körperliche Aktivität). Weiterhin wird die Verhaltensadaptation so modelliert, dass gesundheitsförderndes und gesundheitsschädigendes Verhalten gleich stark übernommen wird. Es müsste überprüft werden, ob das der Realität entspricht oder ob gesundheitsschädigendes Verhalten schneller bzw. langsamer übernommen wird. Wenn in der Realität Analysen diesbezüglich durchgeführt würden, könnten diese Erkenntnisse anschließend in agentenbasierten Simulationen integriert werden.

### **Alter**

Das Alter wird in den durchgeführten, agentenbasierten Simulationen mit einer Konstante berücksichtigt. Mit jeder Iteration nimmt die Gesundheit bei jedem Agenten gleich stark ab. Damit fließt, neben dem unbekanntem, individuellen Einfluss  $\varepsilon$ , ein zusätzlicher individueller Einfluss in die Berechnung der Gesundheit ein. In der Realität können unterschiedlichen Lebensstadien einen Einfluss auf die Verhaltensübernahme haben. Ebenso können spezifische Verhaltensweisen die Gesundheit von Menschen bestimmter Altersstufen maßgeblich bestimmen und die Abnahme der Gesundheit ist nicht zwangsläufig konstant für den Faktor Alter.

In den ersten Lebensjahren (bis ca. 18 Jahren) ist der elterliche und familiäre Einfluss für die Ausbildung der ersten Verhaltensmuster der Kinder zuständig (Galster 2012). Zu Beginn des Lebens besteht das soziale Netzwerk damit fast ausschließlich aus der Familie. Mit der Zeit kommen neue Kontakte (z.B. aus Nachbarschaft, durch Freizeitaktivitäten und Schule) hinzu. In einem Alter von 18-34 Jahren ist das soziale Netzwerk mit durchschnittlich 11 Personen am größten, mit zunehmendem Alter nimmt die Netzwerkgröße wieder ab (Wolf 2010). Die altersbedingte Netzwerkgröße könnte in agentenbasierten Simulationen integriert werden.

Dementsprechend würden Agenten unter einem definierten Alter das Verhalten der Familie übernehmen und dadurch nur indirekt über die Nachbarschaft. Dadurch könnte der soziale Mechanismus *elterliche Mediation* (Galster 2012) in agentenbasierten Simulationen integriert und analysiert werden. Er wurde in das Modell dieser Arbeit nicht integriert, weil der Fokus auf nachbarschaftlichen Einflüssen und nicht auf familiären Verbindungen liegt.

Verhaltensweisen können unterschiedlich stark in verschiedenen Lebensstadien auftreten. Schlechter Schlaf, schlechte Ernährung und wenig körperliche Aktivität sind die stärksten Risikofaktoren für schlechte Gesundheit und vorzeitige Mortalität bei Menschen über 65 Jahren (Renner & Staudinger 2008). Für jüngere Menschen haben die Verhaltensweisen Tabak- und Alkoholkonsum einen stärkeren Einfluss. Die Stärke des Einflusses der unterschiedlichen Verhaltensweisen auf die Gesundheit in verschiedenen Lebensstadien könnte in agentenbasierten Simulationen berücksichtigt werden, wenn diese als separate Ausprägungen des Verhaltens als eigene Entitäten definiert worden wären. Außerdem könnten den Agenten bei ihrer Initialisierung dem Alter entsprechende Verhaltensweisen zugeordnet werden, die sich im Laufe der agentenbasierten Simulationen im Zusammenhang mit dem Altersprozess verändern könnten.

Weiterhin bleibt der Einfluss des Alters auf die Gesundheit über die verschiedensten Lebensstadien nicht konstant. Vielmehr nimmt die Gesundheit mit fortschreitendem Alter während eines Lebens durchschnittlich ab (Robert Koch-Institut 2009; Wurm, Wiest et al. 2010; Kuh & Shlomo 2004). Wenn der Einfluss des Alters möglichst realitätsgetreu in agentenbasierten Simulationen dargestellt werden soll, müsste in jungen Jahren der Einfluss des Alters auf die Gesundheit geringer sein, als in mittleren Jahren. Mit fortschreitendem Alter, müsste der Effekt des Alterns stärker werden.

## **Geschlecht**

Auch das Geschlecht wurde nicht in die durchgeführten, agentenbasierten Simulationen integriert. Allerdings kann es eine Rolle bei der Ausübung bestimmter Verhaltensweisen und der Verhaltensadaption spielen. Bestimmte Verhaltensweisen sind mit dem Geschlecht assoziiert. Beispielsweise sind Männer durchschnittlich körperlich aktiver als Frauen (Giles-Corti & Donovan 2002; Biddle & Mutrie 2007), wohingegen Frauen durchschnittlich eine gesündere Ernährung, im Vergleich zu Männern, vorweisen können (Wardle, Haase et al. 2004; Nayga Jr 2000).



In agentenbasierten Simulationen, die nicht nur ein allgemeines Gesundheitsverhalten, sondern spezifische Verhaltensweisen untersuchen, könnten diese in der Initialisierung dem Geschlecht, gemäß den Erkenntnissen aus der Literatur angepasst werden. Weiterhin ist es möglich, dass Frauen Verhalten anders übernehmen als Männer. Diese Unterschiede in der Verhaltensadaptation müssen nicht zwangsläufig im biologischen Geschlecht begründet sein. Vielmehr können die eigene Wahrnehmung, Persönlichkeit und eigene Überzeugungen eine Rolle bei der Verhaltensübernahme spielen (Champion & Skinner 2008). In agentenbasierten Simulationen könnten analysiert werden, ob und wie das biologische Geschlecht oder Überzeugungen auf die Verhaltensadaptation wirken. Für jeden Agenten könnten eigene Überzeugungen modelliert werden, die erst dann verändert werden, wenn der soziale Druck (z.B. 90% des eigenen sozialen Netzwerkes weisen ein anderes Verhalten auf) zu groß wird. Weitere Aspekte der Persönlichkeit individuell für jeden Agenten zu integrieren ist prinzipiell auch möglich. Dadurch würde die Komplexität der agentenbasierten Simulationen jedoch sehr stark zunehmen. Weiterhin wären dafür fundierte Kenntnisse der Psychologie notwendig.

### **Sozioökonomischer Status**

Im Hintergrund dieser Arbeit wird der Zusammenhang zwischen dem sozioökonomischen Status und bestimmten Verhaltensweisen dargelegt (vgl. Kapitel 1.2) Mit einem niedrigen sozioökonomischen Status gehen tendenziell mehr gesundheitsschädigende Verhaltensweisen einher, als bei einem hohen sozioökonomischen Status (Mielck & Helmert 2016). Dementsprechend könnten die agentenbasierten Simulationen bei der Initialisierung die entsprechenden Verhaltensweisen für bestimmte sozioökonomische Status modellieren. In dem Fall müssten vorerst der sozioökonomische Status in das Modell aufgenommen werden. Weiterhin gibt es auch einen Zusammenhang mit der Größe des sozialen Netzwerkes und der Bildung. Eine hohe Bildung geht durchschnittlich mit einem größeren sozialen Netzwerk einher (Wolf 2010). Sowohl die Größe des Netzwerkes, als auch der direkte Einfluss des sozioökonomischen Status auf die Gesundheit könnten in weiterführenden, agentenbasierten Simulationen berücksichtigt werden.

### **Kultur**

Auch kulturelle Aspekte können einen Einfluss auf die Verhaltensübernahme haben. Beispielsweise können in der Religion feste Glaubenssätze verankert sein, die zu einer generellen Ablehnung eines bestimmten Verhaltens führen können.

Der lateinamerikanische Glaube an die Jungfrau von Guadeloupe führt beispielsweise dazu, dass Frauen diesen Glaubens Zigaretten- Drogen- und Alkoholkonsum stärker ablehnen, als Frauen anderen Glaubens (Magaña & Clark 1995). In weiterführenden, agentenbasierten Simulationen könnten bestimmte kulturelle Hintergründe mit dementsprechenden Glaubenssätzen modelliert werden, die entweder gar nicht oder nur bei sehr hohem sozialen Druck durchbrochen werden könnten.

### **Soziales Netzwerk**

Das soziale Netzwerk wird in die Simulationsszenarien miteinbezogen, aber nicht in allen möglichen Aspekten berücksichtigt. In den durchgeführten, agentenbasierten Simulationen besteht das soziale Netzwerk jedes Agenten aus seinen maximal acht, unmittelbaren NachbarInnen.

In der Realität gehören zum sozialen Netzwerk eines Menschen nicht nur die direkt angrenzenden NachbarInnen. Vielmehr können andere schwache Verbindungen (z.B. ArbeitskollegInnen) oder starke Verbindungen (z.B. Familie oder FreundInnen) eine wichtige Rolle bei der Beeinflussung der Verhaltensweisen spielen (Galster 2012). Wenn die durchgeführten, agentenbasierten Simulationen abstrakt betrachtet werden, müssen die maximal acht Einflüsse auf das eigene Verhalten nicht zwangsläufig NachbarInnen sein. Sie können auch als beliebige soziale Kontakte aufgefasst werden.

In der Realität muss nicht zwingend eine *soziale Ansteckung* mit allen angrenzenden NachbarInnen bzw. sozialen Kontakten stattfinden. In den agentenbasierten Simulationen wird von maximal acht Einflüssen (acht angrenzende NachbarInnen) ausgegangen. Dabei wird ein Agent als ein Haushalt modelliert. Wohingegen in der Realität, selbst wenn die maximal acht angrenzenden Wohneinheiten betrachtet würden, mehr als acht Einflüsse vorhanden sein könnten. Die Anzahl der Einflüsse ist dabei u.a. von Bildung und Alter abhängig (Wolf 2010). Acht Wohneinheiten in der Realität können acht andere Individuen bedeuten, wenn in jeder Wohneinheit ein Individuum lebt. Allerdings kann in einer Wohneinheit auch eine fünfköpfige Familie wohnen oder aus mehreren Wohnungen mit vielen Individuen bestehen. Dazu kommen in der Realität noch die sozialen Kontakte außerhalb der unmittelbaren Wohngegend. Eine Miteinbeziehung dieser Einflüsse in die agentenbasierten Simulationen, würde die Verhaltensadaption durch die höhere Diversität, verlangsamen und zu einer deutlich erhöhten Laufzeit führen.

In agentenbasierten Simulationen könnten mehrschichtige soziale Netzwerke analysiert werden. Dafür könnten die Erkenntnisse anderer Forschungsfelder und unterschiedlicher Lebensstadien miteinbezogen werden. Insbesondere die soziale Netzwerkforschung, die den Einfluss sozialer Netzwerke von verschiedenen Internetplattformen auf individuelle Meinung und Verhalten erforscht, könnte für agentenbasierte Simulationen, basierend auf einer Verhaltensadaption, die eine Reduzierung kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten untersucht, relevant sein (Tikhonova 2016; Rashidi, Abbasi et al. 2017).

In dieser Arbeit wird das soziale Netzwerk nicht als ein Mechanismus, sondern als ein Mediator betrachtet, über den die Mechanismen *soziale Ansteckung* und *sozialer Zusammenhalt* wirken können. Allerdings könnten das soziale Netzwerk, wie in Galsters Typologie von sozialen Mechanismen, auch als sozialer Mechanismus interpretiert werden (Galster 2012). Dabei könnte allein das Vorhandensein einer gewissen Anzahl von sozialen Kontakten sich, durch beispielsweise soziale Unterstützungen, positiv auf sowohl die physische, als auch die psychische Gesundheit auswirken (Galster 2012). Dabei könnte die medierende Rolle des sozialen Netzwerkes vorhanden bleiben und um die direkte Auswirkung auf die Gesundheit ergänzt werden.

### **Zeitraum**

Der gewählte Zeitraum kann einen Einfluss auf die Verhaltensadaption haben. Die beobachtete, nahezu vollständige Verhaltensadaption ab  $\alpha = 0,4$  deutet auf ein unrealistisches Simulationsszenario hin. In der Realität ist es sehr unwahrscheinlich, dass sich in einer Stadt das Verhalten so stark angleicht, dass eine vollständige Korrelationsstruktur ohne Nuggeteffekt vorliegt. Dafür müsste das Verhalten in einer Stadt bei allen Individuen nahezu identisch sein. Daher können die agentenbasierten Simulationen ab  $\alpha = 0,4$  als unrealistisch angesehen werden. Dennoch konnte aus diesen unrealistischen Simulations-szenarien etwas gelernt werden. Durch solche Extremsituationen kann gezeigt werden, ab welcher Grenze sich eine unrealistische Situation ergibt und was für deren Entstehung notwendig ist.

Die durchgeführten, agentenbasierten Simulationen sind auf einen Zeitraum von 10 Iterationen beschränkt. Diese Anzahl an Iterationen erlaubt, über einen Zeitraum die Entwicklung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten zu betrachten und die gewählte Forschungsfrage zu beantworten. Mit einem längeren Simulationszeitraum wäre die Laufzeit der agentenbasierten Simulationen deutlich gestiegen.

Es ist anzunehmen, dass bei einem längeren Simulationszeitraum auch für kleinere  $\alpha$  ( $0,1 \leq \alpha \leq 0,4$ ) irgendwann eine vollständige Verhaltensadaption vorgelegen hätte und das Ergebnis ähnlich zu denen von  $\alpha \geq 0,6$  wäre. In agentenbasierten Simulationen mit einer kleineren Fallzahl konnte dies bestätigt werden.

### **Lebensereignisse**

In den agentenbasierten Simulationen dieser Arbeit werden individuelle Lebensereignisse nicht modelliert. Zu solchen Lebensereignissen zählen beispielsweise Geburten, Sterbefälle und Umzüge. Zufällige Umzüge sind in den agentenbasierten Simulationen enthalten, um die Diversität zu erhöhen, allerdings sind Umzüge in der Realität selten zufällig. Soziale Gruppen verteilen sich unterschiedlich in verschiedene Stadtgebiete. Solche Gruppen können sich beispielsweise hinsichtlich Religion, Alter, sozioökonomischem Status, Migrationshintergrund oder Lebensstil voneinander unterscheiden (Alisch 2018). Diese sozialräumliche Konzentration spezifischer, sozialer Gruppen im urbanen Raum wird Segregation genannt (Reardon & Bischoff 2011). Es gibt zwei Hypothesen, die den Zusammenhang zwischen Umzügen und gesundheitlichen Ungleichheiten thematisieren. Die erste Hypothese („health selection“) bezieht sich auf die Segregation. Demnach kann die Gesundheit eine Ursache für den Umzug sein und dadurch zu Segregation und gesundheitlichen Ungleichheiten führen (Ham, Manley et al. 2012). Die zweite Hypothese („health causation“) besagt, dass die Nachbarschaften, in denen die Individuen wohnen, für gesundheitliche Ungleichheiten verantwortlich sind und die Umzüge nicht zwangsläufig von der Gesundheit abhängig sein müssen (Mackenbach 2006). In einem Review von Zolitschka, Kress et al. wurde der Zusammenhang zwischen Umzügen und Gesundheit untersucht. Dabei können die beiden Hypothesen anhand der nicht einheitlichen Studienlage weder verifiziert noch falsifiziert werden. Allerdings können Zusammenhänge zwischen Umzügen und Gesundheit identifiziert werden. Generell verschlechtern Umzüge die Gesundheit und das Gesundheitsverhalten. Mit zunehmender Häufigkeit von Umzügen verstärken sich die negativen Effekte auf die Gesundheit. Weiterhin haben Umzüge in bestimmten Lebensstadien (Kindes- und Jugendalter) einen besonders negativen Einfluss auf die Gesundheit (Zolitschka, Kress et al. noch unveröffentlicht). Diese Erkenntnisse über Umzüge könnten in agentenbasierten Simulationen integriert werden.

Durch eine Erweiterung des sozialen Netzwerkes, vom sozioökonomischen Status abhängige Umzüge und auch andere Lebensereignisse (z.B. Geburt oder Tod), entstehen in der Realität komplexe Strukturen, die zu einer höheren Diversität beitragen, als die agentenbasierten Simulationen dieser Arbeit abbilden können. Eine höhere Diversität könnte in den agentenbasierten Simulationen zu einer veränderten Verhaltensadaptation führen.

### **Globale Einflüsse**

In den agentenbasierten Simulationen werden nur individuelle und kleinräumige Einflüsse aus der unmittelbaren, nachbarschaftlichen Wohnumgebung eines Individuums modelliert. Allerdings können auch Einflüsse die nicht auf die unmittelbare, nachbarschaftliche Umgebung beschränkt sind (globale Einflüsse) auf Gesundheit und Verhaltensübernahme wirken. Dazu zählen beispielsweise die Wirtschaft und die Politik. Diese wirken auf der strukturellen Ebene und können durch die Planung und den Ausbau der Infrastruktur einen direkten Einfluss auf die Gesundheit haben. Zu einem solchen politischen oder wirtschaftlichen Einfluss zählen beispielsweise Faktoren wie Wohnqualität, Kriminalitätsrate, Grünflächen, Erholungsmöglichkeiten, Bildung-, Kultur-, Sport- und Weiterbildungsangebote (Franzini, Caughy et al. 2005; Mohnen & Schneider 2014). Bei schlechter Ausprägung bzw. wenigen Angeboten der genannten Faktoren liegt ein schlechterer, selbst berichteter Gesundheitszustand vor (Lampert, Richter et al. 2016). Um den globalen Einfluss in agentenbasierte Simulationen integrieren zu können, müsste zunächst eine strukturelle Ebene mit Einfluss auf Verhaltensübernahme und Gesundheit modelliert werden, die räumlich über eine unmittelbare, nachbarschaftliche Umgebung hinausgeht. Anschließend könnten die verschiedenen globalen Einflüsse miteinbezogen werden. Dabei müsste auch modelliert werden, welche Individuen mit welcher Wahrscheinlichkeit bestimmte Einrichtungen aufsuchen oder in welcher Wohnqualität mit welcher Kriminalitätsrate leben. Ebenso müssten die Effekte der jeweiligen Aktionen bzw. Lebensverhältnisse auf die Gesundheit und das Verhalten der Individuen basierend auf der Literatur definiert werden.

Die durchgeführten, agentenbasierten Simulationen sind eine vereinfachte Abstraktion der Realität und explizit auf die Forschungsfrage angepasst. Das entwickelte Modell ist in der Lage, die Mechanismen *soziale Ansteckung* und *sozialer Zusammenhalt* hinsichtlich ihrer Wirkung als Prozess zur Reduzierung bzw. Aufhebung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten zu analysieren.

Die genannten Aspekte, die in der Realität bestehen und theoretisch die Verhaltensadaption modifizieren oder die Gesundheit direkt beeinflussen könnten, sind für die in dieser Arbeit gewählte Fragestellung nicht vorrangig. Wenn alle Aspekte miteinbezogen worden wären, wäre das Modell zu komplex gewesen, um die gewählte Fragestellung zu beantworten. Weiterhin wäre die Laufzeit zu hoch gewesen, um die Simulationsszenarien über 10 Iterationen mit jeweils 100 Wiederholungen durchzuführen.

### 5.2.2 Modellierung der sozialen Mechanismen

Die agentenbasierten Simulationen werden mit der Annahme initialisiert, dass die Umweltbedingungen, in dieser Arbeit auch Stressor genannt, räumlich korreliert und für die Ausbildung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten verantwortlich sind. Es wird analysiert, ob die Sozialstrukturen den Effekt des Stressors auf die Korrelationsstrukturen der Gesundheit verringern und diese dadurch reduzieren oder auflösen können.

In den agentenbasierten Simulationen werden kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten über Korrelationsstrukturen modelliert. Bei diesem Ansatz wird gemessen, wie stark das gesundheitliche Outcome eines Individuums mit den gesundheitlichen Outcomes seiner NachbarInnen korreliert ist. Wenn es keine kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten gibt, sollte die Gesundheit der beteiligten Individuen unabhängig von der Gesundheit ihrer jeweiligen NachbarInnen sein. In dem Fall hat der kleinräumige Kontext keinen Einfluss auf die Gesundheit eines Individuums. Wenn kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten vorliegen, ist die individuelle Gesundheit abhängig vom kleinräumigen Kontext und Individuen, die in einer räumlichen Nähe zueinander wohnen, haben korrelierte gesundheitliche Outcomes (Sauzet, Zolitschka et al. noch unveröffentlicht). Die Korrelationsstrukturen zwischen den gesundheitlichen Outcomes wird mittels Semivariogrammen berechnet und visualisiert. Eine Reduzierung der Korrelationsstrukturen ist mit einer Reduzierung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten gleichzusetzen und eine Erhöhung der Korrelationsstrukturen dementsprechend mit einer Erhöhung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten (Sauzet, Zolitschka et al. noch unveröffentlicht). Ob die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten reduziert, aufgehoben oder nicht verändert werden, hängt dabei von der Stärke des Einflusses der Verhaltensadaption ab, über welche die sozialen Mechanismen wirken können.

Für den Mechanismus *soziale Ansteckung* wird die Verhaltensadaption über die Differenz des Mittelwertes des Verhaltens der unmittelbar umgebenden NachbarInnen und des eigenen Verhaltens modelliert (vgl. Gradientenbestimmung in Abbildung 53).

Die Stärke der *sozialen Ansteckung* wird dabei über den Parameter  $\alpha$  realisiert. Das eigene Verhalten wird mit der, durch  $\alpha$  und unbekanntem Einflüssen gewichteten, Differenz addiert (vgl. Anwendung von Einflüssen und Aktualisierung des Verhaltens in Abbildung 53). Die Differenz aus dem angepassten Verhalten und dem alten Verhalten fließt in die Berechnung der Gesundheit (vgl. Verhaltensadaption in Abbildung 53) mit ein. Eine mögliche Änderungen der Gesundheit äußert sich in Veränderungen der Korrelationsstruktur auf der Makroebene (vgl. Abbildung 53).

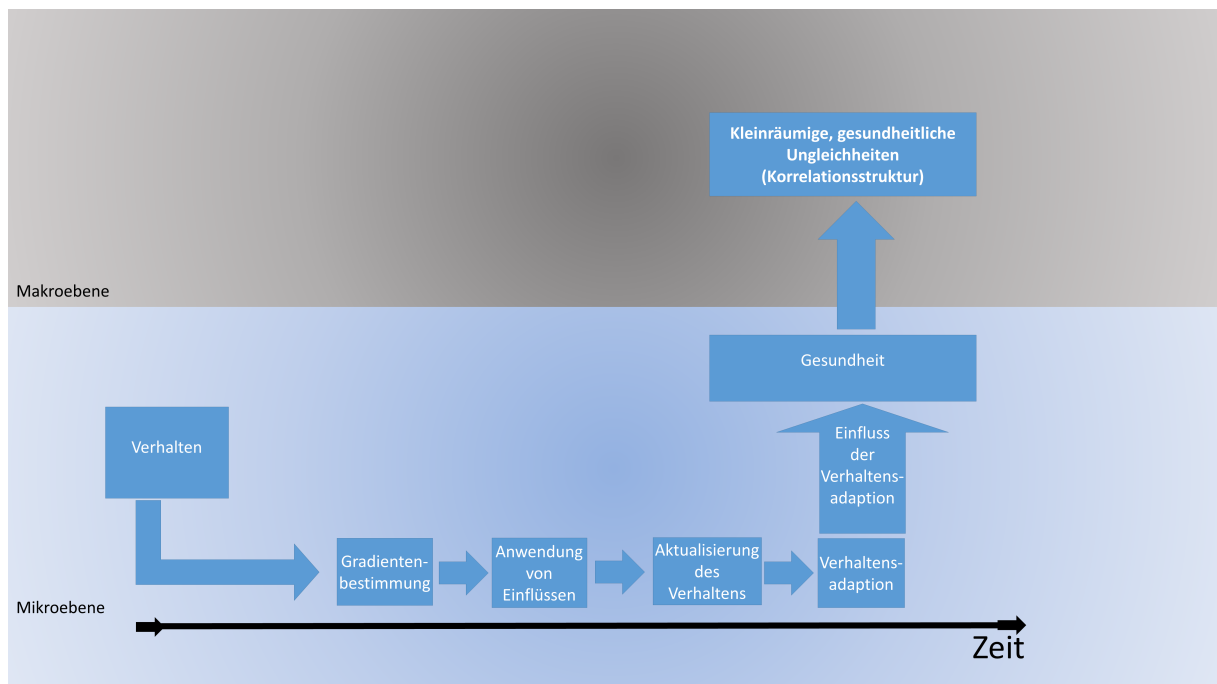


Abbildung 53: Modellierung des Mechanismus *sozialen Ansteckung*.

Für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* wird der Mechanismus *soziale Ansteckung* um das Zusammengehörigkeitsgefühl erweitert. Bei der Gewichtung der Differenz des eigenen Verhaltens zum mittleren Verhalten der NachbarInnen wird  $\alpha = 0,1$  als konstant gewählt und das Zusammengehörigkeitsgefühl berücksichtigt. Weiterhin hat das Zusammengehörigkeitsgefühl einen direkten Einfluss auf die Gesundheit (vgl. Einflussgewichtung in Abbildung 54) auf der Mikroebene und die Veränderungen können durch die Korrelationsstruktur auf der Makroebene gezeigt werden (vgl. Abbildung 54). Die expliziten Formeln zur Modellierung der sozialen Mechanismen sind in Kapitel 3.3 und den Abbildungen 23 und 24 dargestellt.

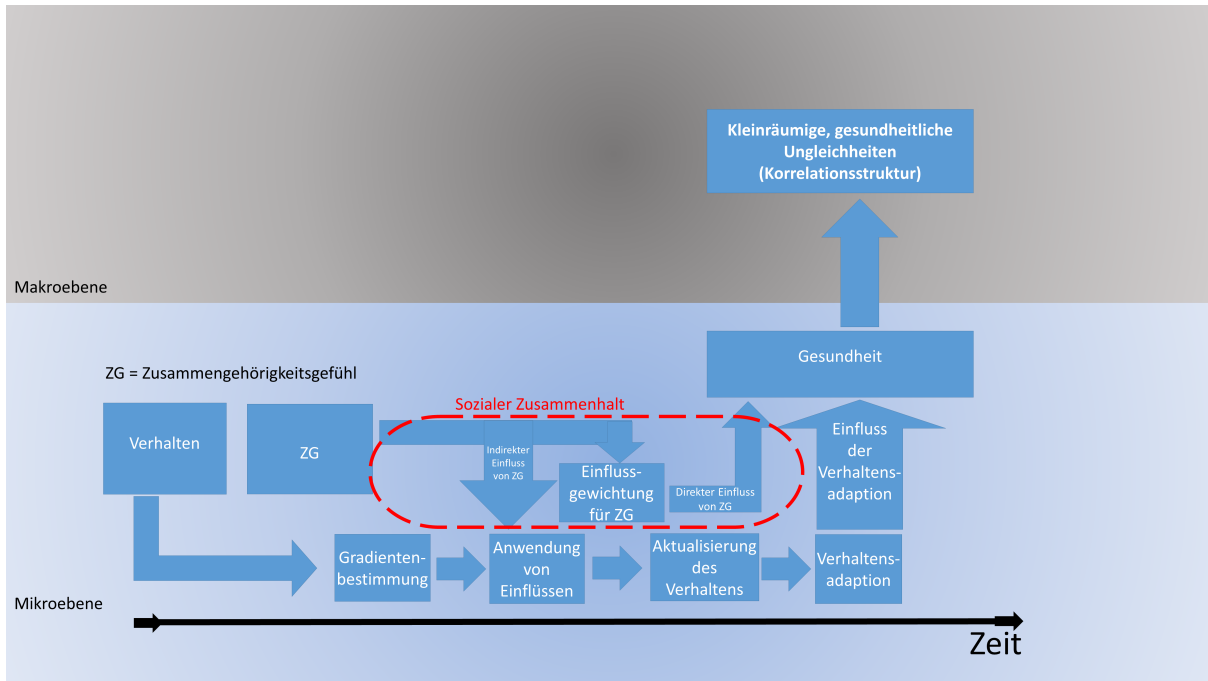


Abbildung 54: Modellierung des Mechanismus *sozialer Zusammenhalt*.

Die Ergebnisse der durchgeführten, agentenbasierte Simulationen zeigen, dass soziale Mechanismen in der Lage sind von der Umwelt induzierte, kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten zu reduzieren oder aufzuheben. Für die oben dargestellte Modellierung der beiden sozialen Mechanismen können sechs Modelle festgestellt werden. Dabei werden die Simulationsszenarien, die ähnliche Tendenzen, hinsichtlich der Korrelationsstrukturen nach 10 Iterationen, haben zusammengefasst:

1. Positivkontrolle ( $\alpha = 0$ ): Keine Reduzierung oder Aufhebung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten
2. Niedrige *soziale Ansteckung* ( $\alpha = 0, 1$ ): Reduzierung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten
3. Mittlere *soziale Ansteckung* ( $0, 2 \leq \alpha \leq 0, 4$ ): Aufhebung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten
4. Hohe *soziale Ansteckung* ( $0, 6 \leq \alpha \leq 1$ ): Ausbildung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten, basierend auf dem Einfluss des Stressors
5. Niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl ( $\overline{ZG} = 0, 5$  und  $\alpha = 0, 1$ ): Reduzierung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten



6. Hohes Zusammengehörigkeitsgefühl ( $\overline{ZG} = 1,5$  und  $\alpha = 0,1$ ): Aufhebung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten

### **Positivkontrolle**

Das erste Modell beschreibt die Positivkontrolle für den Mechanismus *soziale Ansteckung*. Bei der Positivkontrolle wird der Mechanismus *soziale Ansteckung* ausgeschaltet. Hierbei findet keine Verhaltensadaption an die unmittelbaren NachbarInnen statt. Das Verhalten verändert sich nur durch den Zufallsfaktor  $\varepsilon$ , der die unbekannt Einflüsse repräsentiert. Die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten bleiben erhalten (RSV: 43% bei einer Standardabweichung von 0,002). Im Vergleich zur Ausgangssituation ist dennoch eine Abnahme von 11,1% in der Stärke der Korrelationsstruktur zu erkennen. Diese Veränderungen resultieren in den anderen Einflüssen auf die Gesundheit (Alter und unbekannte Einflüsse  $\varepsilon$ ). In der Realität entspräche dieses Szenario einer Stadt, in der kein soziales Netzwerk existiert, über das die soziale Mechanismen wirken können. Jedes Individuum lebt isoliert für sich und das eigene Verhalten wäre nicht vom Verhalten der unmittelbaren NachbarInnen, sondern ausschließlich von den unbekannt Faktoren  $\varepsilon$  abhängig. Die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten resultieren aus den Umweltbedingungen und den anderen individuellen Einflüssen.

### **Niedrige *soziale Ansteckung***

Das zweite Modell beschreibt den Mechanismus *soziale Ansteckung* für den kleinsten Einfluss der Verhaltensübernahme ( $\alpha = 0,1$ ). Dabei können die gesundheitlichen Ungleichheiten reduziert werden (RSV: 10,4% bei einer Standardabweichung von 0,002). Der Einfluss des sozialen Mechanismus ist zu gering, um eine Aufhebung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten zu bewirken. Allerdings kann durch den geringen Einfluss der *sozialen Ansteckung* eine Reduzierung bewirkt werden. Weiterhin ist der Practical Range angestiegen. Das bedeutet, dass die Verhaltensadaption zwar die Stärke der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten reduzieren kann, die Bereiche, in denen diese herrschen jedoch vergrößert werden. Die wechselseitige Beeinflussung der unmittelbar umgebenden NachbarInnen führt zu dieser Vergrößerung. Das Verhalten gleicht sich in einem größeren Bereich an, damit passt sich auch die Gesundheit auf der Mikroebene an, was zu einer Reduzierung der Korrelationsstruktur auf der Makroebene führt.

### **Mittlere soziale Ansteckung**

Das dritte Modell ( $0,2 \leq \alpha \leq 0,4$ ) stellt die Situationen dar, bei denen es zu einer Aufhebung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten durch den Mechanismus *soziale Ansteckung* kommt. Bei diesen beiden Simulationsszenarien kann die stärkste Reduzierung für den Mechanismus *soziale Ansteckung* erreicht werden. Die Kurven der Semivariogramme entsprechen nahezu einer Geraden mit Ursprung 1. Es kann von einer Aufhebung gesprochen werden, obwohl die Werte des Semivariogramms nicht, wie bei einer vollständigen Aufhebung zu erwarten wäre, einer RSV von 0% entsprechen. Die Korrelationsstärke beträgt 4,1% bei einer Standardabweichung von 0,002 ( $\alpha = 0,2$ ) bzw. 0,006 ( $\alpha = 0,4$ ). Diese Restkorrelation basiert auf den nicht vermeidbaren Faktoren (inklusive dem Stressor) für kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten und kann nicht reduziert werden. Auch in der Realität wird es immer einen Anteil gesundheitlicher Ungleichheiten geben, der nicht aufgehoben werden kann. Beispielsweise können kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten bedingt durch das Alter oder bestimmte Umweltbedingungen nicht aufgehoben werden. Durch die Verhaltensadaption hat sich der Practical Range bei diesen beiden Simulationsszenarien, wie bei dem Szenario mit  $\alpha = 0,1$  erhöht und die wechselseitige Beeinflussung der unmittelbar umgebenden NachbarInnen führt ebenso zu einer Erhöhung des Practical Range.

### **Hohe soziale Ansteckung**

Das vierte Modell ( $0,6 \leq \alpha \leq 1$ ) beschreibt die Simulationsszenarien, bei denen sich eine neue Korrelationsstruktur aufgebaut hat. Der Einfluss des Mechanismus *soziale Ansteckung* ist bei diesen Szenarien so groß, dass es zu einer vollständigen Verhaltensadaption kommt (der Nuggeteffekt des Verhaltens ist 0 mit einer Standardabweichung von 0). Das entspricht einer, mit geringen auf  $\varepsilon$  beruhenden Schwankungen, gleichen Ausprägung des Verhaltens bei allen Agenten. Wenn es keine bzw. nur eine geringe Verhaltensadaption gibt, kann der Mechanismus nicht wirken und hat keinen Einfluss mehr auf die Gesundheit. In diesem Fall ist der Einfluss der anderen Einflüsse dominant. Der Stressor ist der einzige Einfluss mit einer eigenen Korrelationsstruktur und daher müssen die Umweltbedingungen verantwortlich für die Ausprägung der neuen, kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten sein. Mit zunehmender Größe des Einflusses vom sozialen Mechanismus steigt die Stärke der Korrelationsstruktur an und der Practical Range sinkt. Die Bereiche, in denen kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten vorhanden sind, werden kleiner und basieren immer stärker auf den kleinräumigen Umweltbedingungen.

Diese Modelle zeigen Extremsituationen, die in dieser ausgeprägten Form in der Realität nicht vorkommen. In der Realität gibt es keine Stadt, in der sämtliche EinwohnerInnen ein nahezu identisches Verhalten aufweisen. Dennoch können Extremsituationen in agentenbasierten Simulationen sinnvoll sein, um herauszufinden, ab welchen Werten solche extremen Situationen entstehen.

Die ersten vier Modelle beziehen sich auf den Mechanismus *sozialer Ansteckung*. In der Literatur kann keine Studie identifiziert werden, die analysierte, wie *soziale Ansteckung* als Prozess auf kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten wirken kann (Zolitschka, Razum et al. 2019). Allerdings können Studien identifiziert werden, die *soziale Ansteckung* in einem anderen Kontext analysierten. Beispielsweise zeigten Hedström, Sandell et al., wie die *soziale Ansteckung* in sozialen Netzwerken bei politischen Interessen ablaufen kann (Hedström, Sandell et al. 2000). Pan, Han et al. analysierten wie Verhalten sich in Menschenmassen und Notfalleвакуierungen ausbreiten kann. Beide Studien haben computergestützte Simulationen angewandt und ähnliche Ergebnisse gezeigt. Die *soziale Ansteckung* folgte dabei dem Diffusionsmodell für Innovationen von Rogers. Bei diesem Ansatz wird die *soziale Ansteckung* als eine S-förmige Kurve beschrieben. Demnach ist die *soziale Ansteckung* am Anfang einer Innovation gering und wächst langsam. Anschließend steigt die Kurve exponentiell und flacht danach ab (Rogers 2010). Das bestätigen die Ergebnisse dieser Arbeit für *soziale Ansteckung*. Bei einem kleinen Einfluss der *sozialen Ansteckung* (Modell 2) ist die Ansteckung gering (Reduzierung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten), bei einem mittleren Einfluss (Modell 3) ist die Ansteckung stärker (Aufhebung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten) und bei einem hohen Einfluss (Modell 4) ist die Ansteckung vollständig abgelaufen und hat den maximalen Einfluss erreicht (Ausbildung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten basierend auf dem Stressor).

### **Niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl**

Das fünfte Modell beschreibt den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl ( $\overline{ZG} = 0,5$ ). Bei einer Erweiterung des Mechanismus *soziale Ansteckung* um den *sozialen Zusammenhalt* resultiert schon ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl in einer Reduzierung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten (RSV: 8,8% bei einer Standardabweichung von 0,002).

Damit liegt eine stärkere Reduzierung vor, als bei einer alleinigen Wirkung des Mechanismus *soziale Ansteckung* (RSV: 10,4% bei einer Standardabweichung von 0,002). Folglich kann schon ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl den Effekt der *sozialen Ansteckung* erhöhen. Auf die Realität übertragen bedeutet dies, dass eine *soziale Ansteckung* ohne ein Zusammengehörigkeitsgefühl das Verhalten zwar verändern kann, jedoch schon durch ein geringes Zusammengehörigkeitsgefühl verstärkt wird.

### **Hohes Zusammengehörigkeitsgefühl**

Das sechste Modell stellt das Simulationsszenario mit einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl für den Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* dar. Durch ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl ( $\overline{ZG} = 1,5$ ) können kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten aufgehoben werden. Die Stärke der Korrelationsstruktur ist mit 2,3% (Standardabweichung = 0,006) der niedrigste Wert aller Simulationsszenarien. Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Stärke des Zusammengehörigkeitsgefühl und der Verhaltensübernahme: Je stärker das Zusammengehörigkeitsgefühl, desto stärker die Verhaltensübernahme.

Die letzten beiden Modelle beziehen sich auf die Analyse des *sozialen Zusammenhaltes*. In der Literatur können keine, zu der durchgeführten Modellierung, äquivalente Studien identifiziert werden. Alvarez-Galvez wandte zur Analyse des *sozialen Zusammenhaltes* agentenbasierte Simulationen an und zeigte, dass der Erfolg von Meinungsminderheiten von der Struktur des Netzwerkes und Massenmedien abhängen kann. Wenn Individuen sich mit ihrem sozialen Netzwerk verbunden fühlen, tendieren sie dazu, ihre Meinungsminderheit kundzutun und andere damit anzustecken. Externe Bestätigungen, wie Massenmedien mit derselben Meinung, verstärken diesen Effekt (Alvarez-Galvez 2016). Obwohl kein nachbarschaftliches Netzwerk und kein gesundheitliches Outcome betrachtet wurde, kann die Studie von Alvarez-Galvez bestätigen, dass die Verbundenheit mit dem sozialen Netzwerk die *soziale Ansteckung* generell verstärken kann. Damit können die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit untermauert werden. In dieser Arbeit können durch das Zusammengehörigkeitsgefühl kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten stärker reduziert bzw. aufgehoben werden, als bei einer Modellierung ohne dieses.

Franzini, Caughy et al. 2005 analysierten als Mechanismus wie eine verarmte Nachbarschaft, mediiert über die soziale Unterstützung, zu einem geringen, selbst berichteten Gesundheitszustand führen kann.

Dabei operationalisierten sie die soziale Unterstützung über die Anzahl von engen Freunden und Verwandten und die Häufigkeit der Kontakte. Eine höhere Anzahl an sozialen Kontakten und Kontakthäufigkeiten führte dabei zu einer besseren Gesundheit (Franzini, Caughey et al. 2005). Diese Studie untersuchte den sozialen Mechanismus als Prozess und ein gesundheitliches Outcome. Sie abstrahierte jedoch nicht auf gesundheitliche Ungleichheiten auf der Makroebene und bietet keine Vergleiche zu der dieser Arbeit. Generell kann in der Literatur keine Studie identifiziert werden, die die beiden sozialen Mechanismen und gesundheitliche Ungleichheiten nicht nur als Einebenemechanismus (vgl. Kapitel 2.2, Abbildung 9), sondern als Mehrebenenmechanismus (vgl. Kapitel 2.2, Abbildung 8), wie in dieser Arbeit, analysierte.

Die sechs aufgestellten Modelle bestätigen die in Kapitel 4.3 aufgestellten Erklärungsmodelle. Weiterhin können durch die Modelle über die Reduzierung kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten Rückschlüsse darauf gezogen werden, wie die untersuchten Mechanismen zur Entstehung von gesundheitlichen Ungleichheiten beitragen könnten. Zur Reduzierung kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten ist das soziale Netzwerk notwendig, über das die sozialen Mechanismen wirken können. Das bedeutet, wenn es kein oder ein wenig ausgeprägtes, soziales Netzwerk innerhalb einer Nachbarschaft gibt, kann das die Entstehung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten begünstigen. Ebenso kann ein fehlendes oder niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl die Entstehung gesundheitlicher Ungleichheiten begünstigen. In der Literatur können Studien identifiziert werden, welche diese Vermutung untermauern. Eine Übersichtsarbeit beschränkte sich auf die individuelle Ebene und bestätigte, dass soziale Isolation eine schlechte mentale Gesundheit bedingen kann (Kawachi & Berkman 2001). Drei Studien statuierten, dass soziale Isolation zur Entstehung von mentalen (Hatzenbuehler, Phelan et al. 2013; Henderson, Thornicroft et al. 1998) oder allgemeinen (Heritage 2009) gesundheitliche Ungleichheiten beitragen kann. Studien, die einen geringen *sozialen Zusammenhalt* für gesundheitliche Ungleichheiten verantwortlich machen, werden in der in dieser Arbeit durchgeführten Literaturrecherche herausgestellt (Zolitschka, Razum et al. 2019). Die in der Literatur identifizierten Studien haben allerdings eine eingeschränkte Aussagekraft, da sie keine Prozesse analysierten. Weitere komplexe Systemmodellierungen mit Fokus auf der Forschungsfrage, wie kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten entstehen, wären notwendig, um die in dieser Arbeit aufgestellte Vermutung zu bestätigen.

## Verhaltensadaption

Die Mittelwerte des Verhaltens unterliegen über alle Simulationsszenarien nur sehr geringen Schwankungen und die Varianzen ändern sich im Zusammenhang mit der Stärke der Verhaltensadaption. Dabei führt eine starke Verhaltensadaption zu einer kleineren Varianz. Die Verhaltensadaption sinkt mit einem steigenden  $\alpha$  und ist für ein niedriges Zusammengehörigkeitsgefühl höher als für ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl.

### 5.2.3 Limitationen

Die durchgeführten, agentenbasierten Simulationen können zeigen, dass die Mechanismen *soziale Ansteckung* und *sozialer Zusammenhalt* zur Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten beitragen können. Für die agentenbasierten Simulationen wird von der Realität abstrahiert und explizit nur die benötigten Aspekte der Realität in die Modellierung integriert. Dadurch können viele Aspekte der Realität nicht berücksichtigt werden. Die nicht berücksichtigten Einflüsse, die einen Einfluss auf die Verhaltensadaption oder die Gesundheit haben können, werden in Kapitel 5.2.1 dargestellt und erläutert. Weiterhin ist es aufgrund der hohen Laufzeit und Fallzahl nicht möglich, alle Werte für  $\alpha$  zu testen. Die Ergebnisse weisen allerdings darauf hin, dass die nicht getesteten Werte für  $\alpha$  zu keinen anderen Erkenntnissen geführt hätten.

Die durchgeführten, agentenbasierten Simulationen zeigen lediglich eine Möglichkeit, wie kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten, durch mögliche Operationalisierungen der sozialen Mechanismen als Prozesse, reduziert werden können. Es kann nicht evaluiert werden, ob die analysierten, sozialen Mechanismen tatsächlich zu einer solchen Reduktion führen. Dafür müsste eine Evaluation der Mechanismen in Theorie und/oder Praxis durchgeführt werden. Ebenso muss die, in dieser Arbeit gewählte Möglichkeit der Operationalisierung nicht zwangsläufig die einzige bzw. beste Operationalisierungsmöglichkeit sein. Es könnte andere Möglichkeiten geben, die sozialen Mechanismen als Prozesse zu operationalisieren und zu analysieren. Weiterhin werden die Variablen Stressor, Verhalten und Zusammengehörigkeitsgefühl nicht mit echten, sondern für diese Arbeit generierten Werten initialisiert. Gründe dafür sind sowohl Datenmangel, als auch Abstraktion. Für das Zusammengehörigkeitsgefühl gibt es im verwendeten Datensatz (SOEP) keine Variable, die für diese Arbeit angepasst oder verwendet werden kann. Für Verhalten werden keine echten Daten zur Kalibrierung herangezogen, weil in dieser Arbeit keine explizite Verhaltensweise analysiert wird, sondern vielmehr ein allgemeines, unspezifisches Gesundheitsverhalten. Ähnlich verhält es sich mit dem Stressor.

Es wäre möglich echte Daten für die Umweltbedingungen, wie beispielsweise Luftverschmutzung, zu initialisieren. Dafür müssten in der Stadt durch diese Umweltbedingungen kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten entstanden sein. Ansonsten könnte die gewählte Forschungsfrage nicht beantwortet werden. Das Ziel dieser Arbeit ist es nicht, explizit eine bestimmte Stadt mit einer expliziten Umweltbelastung zu simulieren, sondern zu verstehen, wie soziale Mechanismen kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren können. Dafür ist es nicht notwendig, die Simulationen so realitätsnah wie möglich zu modellieren oder eine bestimmte Umweltbelastung zu betrachten. Die Abstraktion von der Realität hat die Beantwortung der Forschungsfrage erst ermöglicht.

In dieser Arbeit werden explizit nur die auf der Ebene der NachbarInnen wirkenden Mechanismen *soziale Ansteckung* und *sozialer Zusammenhalt*, mediiert über das soziale Netzwerk, untersucht. Andere soziale Mechanismen, die nicht direkt über NachbarInnen wirken können, werden nicht miteinbezogen. Diese anderen sozialen Mechanismen (*soziale Netzwerke*, *kollektive Sozialisierung*, *Wettbewerb*, *relative Deprivation* und *elterliche Mediation* (Galster 2012)) könnten jedoch mit den untersuchten Mechanismen interagieren und dadurch eine Auswirkung auf kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten haben. Ebenso ist es möglich, dass die nicht untersuchten, sozialen Mechanismen einen direkten, nicht nachbarschaftlichen Einfluss auf die Reduzierung kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten haben und das Ergebnis durch eine Integration modifiziert hätten.

Insgesamt gibt es bei der Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten eine hohe Anzahl an Prozessen und Faktoren, die miteinander interagieren und sich gegenseitig beeinflussen können. Aufgrund dieser beträchtlichen Komplexität, wurde diese Arbeit auf zwei soziale Prozesse fokussiert. Eine weitere Limitation dieser Arbeit ist daher, dass sie nur für einen Teilbereich eines komplexen Systems neue Erkenntnisse liefern kann. Der in dieser Arbeit erforschte Teilbereich, soziale Mechanismen mediiert durch die unmittelbar umgebenden NachbarInnen, liefert jedoch Evidenz dafür, dass soziale Einflüsse bei der Erforschung von gesundheitlichen Ungleichheiten eine wichtige Rolle spielen und auch in der Praxis zu deren Reduktion eingesetzt werden können. Mögliche Empfehlungen für die Praxis, die sich aus dieser Arbeit ergeben, werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

#### 5.2.4 Public-Health-Relevanz

In der Ausgangssituation der agentenbasierten Simulationen liegt eine Stadt mit unterschiedlichen Bereichen vor, in denen die Gesundheit eine Korrelationsstruktur aufweist. Das bedeutet, dass es Bereiche mit unterschiedlicher Sozialstruktur hinsichtlich Gesundheit und Verhalten gibt. Innerhalb dieser Bereiche sind die Unterschiede der Gesundheit und des Verhaltens geringer und dementsprechend liegt eine andere Sozialstruktur vor als in den übrigen Bereichen. Am Ende der agentenbasierten Simulationen, bei denen die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten aufgehoben sind, liegt eine Stadt ohne Korrelationsstruktur der Gesundheit vor. Diese Änderungen, die von der Sozialstruktur initiiert werden, deuten darauf hin, dass eine ähnliche Gesundheit und ein ähnliches Verhalten in allen Bereichen dieser Stadt vorliegen. Eine Reduzierung bzw. Aufhebung der kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten geht in den agentenbasierten Simulationen mit einer Verhaltensadaption, dem Einfluss der Verhaltensadaption auf die Gesundheit und damit auch auf die Korrelationsstrukturen einher. Es gibt keine sehr gute oder sehr schlechte Gesundheit mehr, sondern es stellt sich eine mittlere Gesundheit ein. In der Realität ist es zwar wünschenswert kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten zu reduzieren, allerdings sollten Menschen mit einer guten Gesundheit auch weiterhin eine gute Gesundheit behalten und sich ihre Gesundheit nicht verschlechtern. Die durchgeführten, agentenbasierten Simulationen zeigen, dass die sozialen Mechanismen *soziale Ansteckung* und *sozialer Zusammenhalt* zur Reduzierung kleinräumiger, gesundheitlicher Ungleichheiten beitragen können. Daraus ergeben sich, unter der Annahme, dass die Abläufe der analysierten Mechanismen korrekt sind, für die Praxis folgende Empfehlungen:

1. Gesundheitsförderndes Verhalten von einigen Individuen in Nachbarschaften fördern
2. Stärkung des Zusammengehörigkeitsgefühls

Wenn das Gesundheitsverhalten in einer Nachbarschaft geändert werden soll, dann muss nicht für jedes dort lebende Individuum eine Intervention zur Verhaltensänderung durchgeführt werden. Es genügt, wenn einige Individuen eine Verhaltensänderung durch Interventionen durchleben. Über *soziale Ansteckung* kann das gesundheitsfördernde, neu erlernte Verhalten die restlichen Individuen erreichen. In der Literatur können Studien identifiziert werden, welche die *soziale Ansteckung* in verschiedenen gesundheitlichen Outcomes analysierten.



Dabei konnten *soziale Ansteckungen* für die Outcomes Fettleibigkeit (Christakis & Fowler 2007), Rauchen (Christakis & Fowler 2008), Alkoholkonsum (Rosenquist, Murabito et al. 2010) und allgemeines Wohlbefinden (operationalisiert als Glück) (Fowler & Christakis 2008) nachgewiesen werden. Diese Studien waren auf die Mikroebene beschränkt, untersuchten als Outcome keine gesundheitlichen Ungleichheiten und waren nicht auf ein nachbarschaftliches, soziales Netzwerk fokussiert. Allerdings bestätigen sie, dass für bestimmte gesundheitliche Verhaltensweisen und Outcomes eine *soziale Ansteckung* stattfinden kann.

Damit die *soziale Ansteckung* möglichst effizient ablaufen kann, sollte in der Nachbarschaft entweder ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl vorliegen oder dieses gefördert werden. In der Literatur gibt es Interventionen, die eine Erhöhung des *sozialen Zusammenhaltes* durch Maßnahmen, wie beispielsweise gemeinsame Aktivitäten erreichen konnten (Levine & Crowther 2008; Kelly 2011; Parker, Meek et al. 2014). Durch gemeinsame Aktivitäten können gemeinsame Werte und Normen geschaffen werden, die das Zusammengehörigkeitsgefühl stärken. Weiterhin sollten Individuen für die Interventionen ausgewählt werden, die Schlüsselrollen im sozialen Netzwerk in der Nachbarschaft repräsentieren und gegenüber denen viele andere Individuen bereits ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl besitzen.

In der Literatur können Studien identifiziert werden, die aufzeigen, dass ein Zusammenhang zwischen *sozialem Zusammenhalt* und gesundheitlichen Outcomes besteht. Echeverria, Diez-Roux et al. wiesen nach, dass Individuen in Nachbarschaften mit niedrigem *sozialem Zusammenhalt* sowohl ein verstärktes Auftreten von Depressionen und Rauchen als auch verminderte sportliche Betätigungen, verglichen mit Individuen in Nachbarschaften mit einem hohen *sozialem Zusammenhalt*, hatten (Echeverria, Diez-Roux et al. 2008). Die Arbeit von Lavis & Stoddart beschreibt den Zusammenhang zwischen *sozialem Zusammenhalt* und Gesundheit. Auch hierbei konnte ein hoher *sozialer Zusammenhalt*, im Vergleich zu einem niedrigen *sozialem Zusammenhalt*, mit besseren gesundheitlichen Outcomes assoziiert werden (Lavis & Stoddart 2003). Weitere Assoziationen zwischen *sozialem Zusammenhalt* und Gesundheit werden in der Literaturrecherche in dieser Arbeit aufgezeigt (Zolitschka, Razum et al. 2019). Diese Studien bestätigen, dass generell ein hoher *sozialer Zusammenhalt* zu besseren gesundheitlichen Verhaltensweisen und Outcomes führen kann. Eine Verstärkung der *sozialen Ansteckung* durch ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl kann dadurch noch nicht bestätigt werden.

Baumeister & Leary erklären, dass ein Individuum ein Verhalten von einem anderen Individuum mit steigendem Zusammengehörigkeitsgefühl wahrscheinlicher übernimmt (Baumeister & Leary 1995). Studien, die *soziale Ansteckung* und gesundheitliche Verhaltensweisen oder Outcomes untersuchten, analysierten zwar verschiedene soziale Kontakte, wie beispielsweise FreundInnen, EhepartnerInnen, ArbeitskollegInnen oder Geschwister, erhoben allerdings nicht das Zusammengehörigkeitsgefühl (Christakis & Fowler 2007; Christakis & Fowler 2008; Rosenquist, Murabito et al. 2010). Aus diesem Grund ist es, schwierig Aussagen dazu zu treffen, ob das Zusammengehörigkeitsgefühl und damit der *soziale Zusammenhalt* eine Rolle bei der *sozialen Ansteckung* gespielt hat. Drei Studien konnten für Kontakte zu FreundInnen, EhepartnerInnen und Geschwistern eine *soziale Ansteckung* feststellen und für NachbarInnen und ArbeitskollegInnen nicht (Christakis & Fowler 2007; Christakis & Fowler 2008; Rosenquist, Murabito et al. 2010). Laut Granovetter 1977 zählen FreundInnen, EhepartnerInnen und Geschwister zu den starken Verbindungen, wobei NachbarInnen und ArbeitskollegInnen zu den schwachen Verbindungen gehören. Diese Einteilung ist nicht absolut. Durch eine hohe Kontakthäufigkeit und Zeitdauer können schwache Verbindungen zu starken Verbindungen werden. Starke Verbindungen sind durch ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl gekennzeichnet (Granovetter 1977). Demnach können die Studien bestätigen, dass ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl (starke Verbindungen) die *sozialen Ansteckung*, verglichen mit einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl (schwache Verbindungen), verstärken kann (Christakis & Fowler 2007; Christakis & Fowler 2008; Rosenquist, Murabito et al. 2010).

Die Individuen, die bereits ein gesundheitsförderndes Verhalten aufweisen bzw. an den Interventionen teilnehmen, sollten in ihrem positiven Verhalten bestärkt werden. Externe Bestätigungen wie beispielsweise Massenmedien könnten dafür genutzt werden (Alvarez-Galvez 2016). Durch solche externe Bestätigungen der eigenen Verhaltensweisen kann ihr gesundheitsförderndes Verhalten erhalten bleiben und es findet keine Angleichung an ein mittleres Verhalten statt, sodass sich für alle Individuen über die Zeit ein gesundheitsförderndes Verhalten etablieren kann. Dieses Verhalten bewirkt dann eine gute Gesundheit in der Nachbarschaft, was wiederum zu reduzierten, kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten führen kann. Für solche Interventionen müssten Instrumente zur Erhebung der *sozialen Ansteckung* bzw. eine Möglichkeit, wie die Ausbreitung der *soziale Ansteckung* nachverfolgt werden kann, verwendet werden. Aufgrund der Dynamik und Komplexität der *sozialen Ansteckung* ist es schwierig diese zu messen.

Eine Möglichkeit diese messbar zu machen ist, das interessierende Verhalten, alle sozialen Interaktionen und das Zusammengehörigkeitsgefühl zu jeder Interaktion über einen Zeitraum für jedes Individuum in einer Nachbarschaft zu erheben und anschließende Änderungen über das dadurch entstandene Netzwerkmodell zu erklären. Solche Ansätze werden Netzwerkanalysen genannt und finden vor allem bei der Analyse von digitalen sozialen Netzwerken eine hohe Anwendung (Jansen 2006). In der Literatur können keine Interventionen ausfindig gemacht werden, die die *soziale Ansteckung* bezüglich Gesundheit oder gesundheitlicher Ungleichheiten beinhalten.

Für den *sozialem Zusammenhalt* gibt es in der Literatur standardisierte Instrumente zur Erhebung, wie beispielsweise Buckners „Neighbourhood Cohesion Scala“ (Fone, Farewell et al. 2006) oder „VALCOS-Index of social cohesion“ (Acket, Borsenberger et al. 2011). Diese Instrumente setzen sich aus mehreren Fragen zusammen, die den *sozialen Zusammenhalt* betreffen.

Eine Kombination von Interventionen für beide soziale Mechanismen, wäre, laut den Ergebnissen dieser Arbeit, am effektivsten für eine erfolgreiche Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten.

### 5.2.5 Ausblick

Durch diese Arbeit kann eine Möglichkeit aufgezeigt werden, wie die beiden Mechanismen *soziale Ansteckung* und *sozialer Zusammenhalt* kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren können. Als nächster Schritt müsste eine Evaluation der simulierten Prozesse durchgeführt werden. Dazu würde ein entsprechender Datensatz benötigt. Dieser müsste einen Zeitraum von mindestens 10 Jahren abbilden, Informationen über die Gesundheit der Individuen, das Gesundheitsverhalten der Individuen und die unmittelbaren NachbarInnen jedes Individuums enthalten. Weiterhin sollten in der Ausgangssituation des Datensatzes kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten vorliegen, die durch die unterschiedlichen Umweltbedingungen hervorgerufen worden wären und auch die Gesundheit beeinflusst haben. Wenn ein solcher Datensatz vorläge, könnte die agentenbasierten Simulationen mit den relevanten Daten kalibriert werden und das Ergebnis nach 10 Iterationen mit den Daten des Datensatzes 10 Jahre nach der Ausgangssituation verglichen werden. Dadurch könnte evaluiert werden, ob bzw. wie gut die agentenbasierten Simulationen die Realität abbilden können. So einen explizit auf die durchgeführten, agentenbasierten Simulationen passenden Datensatz zu erhalten, dürfte sich als schwierig erweisen. Deswegen sollten anderen Möglichkeiten der Evaluation herangezogen werden.

Beispielsweise könnte anstatt das gesamte Modell zu evaluieren nur der Prozess der Verhaltensadaption für entweder ein explizites Gesundheitsverhalten oder ein anderes Verhalten evaluiert werden.

Nachdem diese Arbeit gezeigt hat, dass soziale Mechanismen tendenziell in der Lage sind kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten zu reduzieren, könnten neue Fragestellungen erarbeitet werden. Diese könnten in dieser Arbeit unberücksichtigten Einflüsse (vgl. Kapitel 5.2.1), andere soziale Mechanismen (vgl. Kapitel 2.2.3) oder, wie in den Limitationen (vgl. Kapitel 5.2.3) beschrieben, echte Umweltbedingungen miteinbeziehen. Diese Aspekte sollten dabei stets einzeln, mit einer expliziten Forschungsfrage und auf der Literatur basierenden Annahmen, in das Modell integriert werden, um die Wirkung des Prozesses verstehen zu können. Wenn die Modellierung an Komplexität zunimmt, muss darauf geachtet werden, dass auch die entsprechende Rechenleistung zur Verfügung steht. Für komplexere agentenbasierte Simulationen, als die in dieser Arbeit durchgeführten, reicht ein normaler Rechner nicht aus. Dafür sollten am besten Rechnerserver oder Rechencluster verwendet werden. Die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen könnten auch in Interventionen eingesetzt werden, um kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten zu reduzieren (vgl. Kapitel 5.2.4).

## 6 Fazit

Die durchgeführte Literaturrecherche hat die aufgestellte Vermutung der ersten Forschungsfrage dieser Arbeit bestätigt. In epidemiologischen Publikationen wurden soziale Mechanismen bei der Analyse von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten nicht als Prozesse, sondern als Faktoren operationalisiert. In den eingeschlossenen Studien lag der Fokus auf der Analyse von Assoziationen zwischen individueller Wahrnehmung von sozialen Faktoren und gesundheitlichen Outcomes. Für eine erfolgreiche Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten sollten soziale Mechanismen als Prozesse analysiert werden. Dafür sollten komplexe Systemmodellierungen, wie beispielsweise agentenbasierte Simulationen, verwendet werden.

Um die sozialen Mechanismen bei der Reduzierung von kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten als Prozesse zu analysieren, können agentenbasierte Simulationen für die Mechanismen *soziale Ansteckung* und *sozialer Zusammenhalt* verwendet werden. Dadurch kann in dieser Arbeit die Vermutung der zweiten Forschungsfrage unter bestimmten Bedingungen bestätigt werden.

Soziale Mechanismen können, wenn die Verhaltensadaption nicht zu stark abläuft, durch Umwelteinflüsse bedingte, kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduzieren oder aufheben.

Für den Mechanismus *soziale Ansteckung* sind kleine Einflüsse ( $\alpha = 0,1$ ) in der Lage kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten zu reduzieren. Bei  $0,2 \leq \alpha \leq 0,4$  können die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten aufgehoben werden. Bei einem hohen Einfluss von *sozialer Ansteckung* ( $\alpha > 0,6$ ) kann die Verhaltensadaption vollständig ablaufen (nahezu einheitliches Verhalten der Agenten nach 10 Iterationen) und sich unter dem nun dominierenden Einfluss der Umweltbedingungen wieder kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten ausbilden.

Die Ergebnisse der agentenbasierten Simulationen zeigen, dass durch *soziale Ansteckung* kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduziert werden können. Dabei ist die Stärke der Reduzierung abhängig von der Stärke der *sozialen Ansteckung*. In der Realität kann die Stärke der *sozialen Ansteckung* mit einem Zusammengehörigkeitsgefühl verglichen werden. Ein starker *sozialer Zusammenhalt* kann dabei zu einer stärkeren Verhaltensübernahme führen. In dieser Arbeit wird daher der Mechanismus *sozialer Zusammenhalt* analysiert. Dafür wird das Simulationsszenario aus den vorherigen Durchläufen gewählt, bei dem die Korrelationsstrukturen zwar reduziert, aber nicht aufgehoben ist ( $\alpha = 0,1$ ) und sowohl ein niedriges als auch ein hohes Zusammengehörigkeitsgefühl modelliert. Bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl können die kleinräumigen, gesundheitlichen Ungleichheiten aufgehoben werden und bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl nicht. Die Ergebnisse der agentenbasierten Simulationen zeigen, wie eine mögliche Operationalisierung von sozialen Mechanismen funktionieren kann und wie durch diese Prozesse kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten reduziert werden können. *Soziale Ansteckung* ist der Grundmechanismus, durch den die Verhaltensadaption ermöglicht wird und der *soziale Zusammenhalt* führt dazu, dass eine Reduktion der gesundheitlichen Ungleichheiten unabhängig von der Stärke der *sozialen Ansteckung* möglich ist.

Unter der Annahme, dass die Abläufe und Operationalisierung der analysierten Mechanismen korrekt sind, ergeben sich vielseitige Interventionsmöglichkeiten, um kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten zu reduzieren. In benachteiligten Nachbarschaften müssten die unzureichend ausgeprägten, gesundheitsfördernden Verhaltensweisen gefördert werden. Es müssten jedoch nicht alle Individuen das gewünschte Verhaltensmuster aufweisen.

Wenn bereits ein starkes Zusammengehörigkeitsgefühl in der Nachbarschaft vorherrscht, ist es ausreichend eine Verhaltensänderung bei einigen Individuen zu erzielen. Durch *soziale Ansteckung* kann sich das gewünschte Verhaltensmuster über die Zeit etablieren. Andersherum müsste, wenn das gewünschte Verhalten bereits von Individuen in der Nachbarschaft ausgeführt wird und trotzdem kleinräumige, gesundheitliche Ungleichheiten bestehen, gezielt das Zusammengehörigkeitsgefühl in der Nachbarschaft durch beispielsweise gemeinsame Aktivitäten gestärkt werden, damit der Mechanismus der *sozialen Ansteckung* wirken kann.

Diese Arbeit zeigt, dass in der Epidemiologie bisher zu wenig über soziale Mechanismen als Prozesse geforscht wird und eine theoretische Fokussierung auf ausschließlich die individuelle (Mikro) oder die kollektive (Makro) Ebene, wie bei den sozialen Kapital Ansätzen von Bourdieu und Putnam nicht zielführend ist. Vielmehr sollte ein theoretischer Ansatz gewählt werden, der eine Analyse und Interaktion beider Ebenen berücksichtigt, wie beispielsweise den Mehrebenenansatz (vgl. Kapitel 2.2, Abbildung 8). Für die identifizierte Forschungslücke wurde mittels komplexer Systemmodellierung ein Anfang zu deren Schließung unternommen und aufgezeigt, wie soziale Mechanismen, über diese Methodik operationalisiert, in der Epidemiologie analysiert werden können. Diese Pionierarbeit ebnet damit den Weg für weitere komplexe Systemmodellierungen in der Epidemiologie.

# Literaturverzeichnis

- Sylvain **Acket**, Monique **Borsenberger**, Paul **Dickes** & Francesco **Sarracino** (2011). „Measuring and validating social cohesion: a bottom-up approach“. In: *International Conference on Social Cohesion and Development, OECD, Development Center, Paris*.
- Monika **Alisch** (2018). „Sozialräumliche Segregation: Ursachen und Folgen“. In: *Handbuch Armut und soziale Ausgrenzung*. Springer.
- Javier **Alvarez-Galvez** (2016). „Network models of minority opinion spreading: Using agent-based modeling to study possible scenarios of social contagion“. In: *Social Science Computer Review* 34.5.
- Kerry **Ard**, Cynthia **Colen**, Marisol **Becerra** & Thelma **Velez** (2016). „Two mechanisms: The role of social capital and industrial pollution exposure in explaining racial disparities in self-rated health“. In: *International journal of environmental research and public health* 13.10.
- Karen **Atzpodien** et al. (2009). *20 Jahre nach dem Fall der Mauer: Wie hat sich die Gesundheit in Deutschland entwickelt?*
- Gerhard **Bäcker**, Reinhard **Bispinck**, Klaus **Hofemann**, Gerhard **Naegele** & Jennifer **Neubauer** (2008). „Sozialpolitik und soziale Lage in Deutschland: Vol. 2. Gesundheit, Familie, Alter und Soziale Dienste“. In: *Social policy and social situation in Germany* 2.
- Olaf **Badura** Bernhard und von dem **Knesebeck** (2016). „Soziologische Grundlagen der Gesundheitswissenschaften“. In: *Handbuch Gesundheitswissenschaften*. Hrsg. von Klaus **Hurrelmann** & Oliver **Razum**. 6. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Fran E. **Baum**, Anna M. **Ziersch**, Guangyu **Zhang** & Katy **Osborne** (2009). „Do perceived neighbourhood cohesion and safety contribute to neighbourhood differences in health?“ In: *Health & place* 15.4.
- Roy F. **Baumeister** & Mark R. **Leary** (1995). „The need to belong: desire for interpersonal attachments as a fundamental human motivation.“ In: *Psychological bulletin* 117.3.
- Jan van **Bavel** & André **Grow** (2017). „Introduction: Agent-based modelling as a tool to advance evolutionary population theory“. In: *Agent-based modelling in population studies*. Springer.
- Fabio **Bellifemine**, Agostino **Poggi** & Giovanni **Rimassa** (1999). „JADE–A FIPA-compliant agent framework“. In: *Proceedings of PAAM*. Bd. 99. 97-108. London.

- Stuart J. H. **Biddle** & Nanette **Mutrie** (2007). *Psychology of physical activity: Determinants, well-being and interventions*. Routledge.
- Eileen E. S. **Bjornstrom** (2011). „The neighborhood context of relative position, trust, and self-rated health“. In: *Social Science & Medicine* 73.1.
- Jason D. **Boardman** (2004). „Stress and physical health: the role of neighborhoods as mediating and moderating mechanisms“. In: *Social science & medicine* 58.12.
- Lutz **Bornmann** (2010). „Die analytische Soziologie: Soziale Mechanismen, DBO-Theorie und Agentenbasierte Modelle“. In: *Österreichische Zeitschrift für Soziologie* 35.4.
- Andrei **Borshchev** & Alexei **Filippov** (2004). „From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools“. In: *Proceedings of the 22nd international conference of the system dynamics society*. Bd. 22. Citeseer.
- Hartmut **Bossel** (2013). *Modellbildung und Simulation: Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme*. Springer-Verlag.
- Raymond **Boudon** (1998). „Social mechanisms without black boxes“. In: *Social Mechanisms: An Analytical Approach to Social Theory*. Hrsg. von Peter **Hedström** & Richard **Swedberg**. Studies in Rationality and Social Change. Cambridge University Press.
- Pierre **Bourdieu** (1986). *Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education. The Forms of Capital*. Hrsg. von J. G. **Richardson**. New York: Greenwood Press.
- Jürgen **Breckenkamp**, Andreas **Mielck** & Oliver **Razum** (2007). „Health inequalities in Germany: do regional-level variables explain differentials in cardiovascular risk?“ In: *BMC Public Health* 7.1.
- Monika **Bullinger** & Inge **Kirchberger** (1998). „Der SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand (SF-36)“. In: *Handbuch für die deutschsprachige Fragebogenversion. Göttingen, Hogrefe*.
- Christoph **Butterwegge** (2018). *Krise und Zukunft des Sozialstaates*. 6. Aufl. 2018. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Radovan **Cervenka**, Ivan **Trencansky** & Monique **Calisti** (2005). „Modeling social aspects of multi-agent systems: The AML approach“. In: *International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering*. Springer.
- Victoria L. **Champion** & Celette Sugg **Skinner** (2008). „The health belief model“. In: *Health behavior and health education: Theory, research, and practice* 4.
- Tarani **Chandola** (2001). „The fear of crime and area differences in health“. In: *Health & place* 7.2.



- Nicholas A. **Christakis** & James H. **Fowler** (2007). „The spread of obesity in a large social network over 32 years“. In: *New England journal of medicine* 357.4.
- Nicholas A. **Christakis** & James H. **Fowler** (2008). „The collective dynamics of smoking in a large social network“. In: *New England journal of medicine* 358.21.
- Bart de **Clercq**, Veerle **Vyncke**, Anne **Hublet**, Frank J. **Elgar**, Ulrike **Ravens-Sieberer**, Candace **Currie**, Marc **Hooghe**, Aagje **Ieven** & Lea **Maes** (2012). „Social capital and social inequality in adolescents’ health in 601 Flemish communities: A multilevel analysis“. In: *Social Science & Medicine* 74.2.
- James S. **Coleman** (1986). „Social theory, social research, and a theory of action“. In: *American journal of Sociology* 91.6.
- Nick **Collier** (2003). „Repast: An extensible framework for agent simulation“. In: *The University of Chicago’s Social Science Research* 36.
- Carl **Craver** & James **Tabery** (2019). „Mechanisms in Science“. In: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Hrsg. von Edward N. **Zalta**. Summer 2019. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Espen **Dahl** & Ira **Malmberg-Heimonen** (2010). „Social inequality and health: the role of social capital“. In: *Sociology of Health & Illness* 32.7.
- Göran **Dahlgren** & Margaret **Whitehead** (1991). „Policies and strategies to promote social equity in health“. In: *Stockholm: Institute for future studies*.
- Paul **Davidsson** (2000). „Multi agent based simulation: Beyond social simulation“. In: *International workshop on multi-agent systems and agent-based simulation*. Springer.
- Paul **Davidsson** (2002). „Agent based social simulation: A computer science view“. In: *Journal of artificial societies and social simulation* 5.1.
- Rosemary **Day** (2007). „Place and the experience of air quality“. In: *Health & Place* 13.1.
- Martin **Diewald** & Thomas **Faist** (2011). „From heterogeneities to inequalities: Social mechanisms in the genesis of social inequalities“. In: *Berliner Journal für Soziologie* 21.1.
- Eduard J. **Dijksterhuis** (1969). *The mechanization of the world picture*. Bd. 298. Oxford paperbacks ; 298. London: Oxford Univ. Pr.
- Matt **Dowle** & Arun **Srinivasan** (2019). *data.table: Extension of ‘data.frame’*. R package version 1.12.2.
- Sandra **Echeverria**, Ana V. **Diez-Roux**, Steven **Shea**, Luisa N. **Borrell** & Sharon **Jackson** (2008). „Associations of neighborhood problems and neighborhood social cohesion with mental health and health behaviors“. In: *Health & place* 14.4.

- Jon **Elster** (1998). „A plea for mechanisms“. In: *Social Mechanisms: An Analytical Approach to Social Theory*. Hrsg. von Peter **Hedström** & Richard **Swedberg**. Studies in Rationality and Social Change. Cambridge University Press.
- Joshua M. **Epstein** (2006). *Generative social science: Studies in agent-based computational modeling*. Princeton University Press.
- Jolyon J. **Faria**, Stefan **Krause** & Jens **Krause** (2010). „Collective behavior in road crossing pedestrians: the role of social information“. In: *Behavioral ecology* 21.6.
- David L. **Fone**, Daniel M. **Farewell** & Frank D. **Dunstan** (2006). „An econometric analysis of neighbourhood cohesion“. In: *Population health metrics* 4.1.
- David L. **Fone**, James **White**, Daniel M. **Farewell**, Megan **Kelly**, Gareth **John**, Keith **Lloyd** & Frank **Dunstan** (2014). „Effect of neighbourhood deprivation and social cohesion on mental health inequality: a multilevel population-based longitudinal study“. In: *Psychological medicine* 44.11.
- James H. **Fowler** & Nicholas A. **Christakis** (2008). „Dynamic spread of happiness in a large social network: longitudinal analysis over 20 years in the Framingham Heart Study“. In: *Bmj* 337.
- Luisa **Franzini**, Margaret **Caughy**, William **Spears** & Maria E. F. **Esquer** (2005). „Neighborhood economic conditions, social processes, and self-rated health in low-income neighborhoods in Texas: A multilevel latent variables model“. In: *Social science & medicine* 61.6, S. 1135–1150.
- Reinhard **Fuchs**, Heinz **Bolliger** & Thomas **Abel** (2012). „Gesundheitsverhalten und Lebensstile“. In: *Public Health: Sozial- und Präventivmedizin kompakt*. Hrsg. von Matthias **Egger** & Oliver **Razum**.
- George C. **Galster** (2012). „The mechanism(s) of neighbourhood effects: Theory, evidence, and policy implications“. In: *Neighbourhood effects research: New perspectives*. Springer.
- Diego **Gambetta** (1998). „Concatenations of mechanisms“. In: *Social Mechanisms: An Analytical Approach to Social Theory*. Hrsg. von Peter **Hedström** & Richard **Swedberg**. Studies in Rationality and Social Change. Cambridge University Press.
- Anthony C. **Gatrell**, Jennie **Popay** & Carol **Thomas** (2004). „Mapping the determinants of health inequalities in social space: can Bourdieu help us?“ In: *Health & place* 10.3.
- Marc G. **Genton** (2000). „The correlation structure of Matheron’s classical variogram estimator under elliptically contoured distributions“. In: *Mathematical geology* 32.1.

- Billie **Giles-Corti** & Robert J. **Donovan** (2002). „The relative influence of individual, social and physical environment determinants of physical activity“. In: *Social science & medicine* 54.12.
- David V. **Glass** (1964). „John Graunt and his Natural and political observations“. In: *Notes and Records of the Royal Society of London* 19.1.
- Mark S. **Granovetter** (1977). „The strength of weak ties“. In: *Social networks*. Elsevier.
- Volker **Grimm**, Uta **Berger**, Finn **Bastiansen**, Sigrunn **Eliassen**, Vincent **Ginot**, Jarl **Giske**, John **Goss-Custard**, Tamara **Grand**, Simone K. **Heinz** & Geir **Huse** (2006). „A standard protocol for describing individual-based and agent-based models“. In: *Ecological modelling* 198.1-2.
- Volker **Grimm**, Uta **Berger**, Donald L. **DeAngelis**, J. Gary **Polhill**, Jarl **Giske** & Steven F. **Railsback** (2010). „The ODD protocol: a review and first update“. In: *Ecological modelling* 221.23.
- Volker **Grimm**, Gary **Polhill** & Julia **Touza** (2017). „Documenting social simulation models: the ODD protocol as a standard“. In: *Simulating Social Complexity*. Springer.
- Maarten van **Ham**, David **Manley**, Nick **Bailey**, Ludi **Simpson** & Duncan **Maclennan** (2012). „Understanding neighbourhood dynamics: New insights for neighbourhood effects research“. In: *Understanding Neighbourhood Dynamics*. Springer.
- Steffen **Harbordt** (1974). *Computersimulation in den Sozialwissenschaften*. Bd. 2. Rowohlt.
- Mark L. **Hatzenbuehler**, Jo C. **Phelan** & Bruce G. **Link** (2013). „Stigma as a fundamental cause of population health inequalities“. In: *American journal of public health* 103.5.
- Michael **Hechter** & Christine **Horne** (2003). *Theories of social order: a reader*. Stanford University Press.
- Peter **Hedström** (2006). „Experimental macro sociology: Predicting the next best seller“. In: *Science* 311.5762.
- Peter **Hedström**, Rickard **Sandell** & Charlotta **Stern** (2000). „Mesolevel networks and the diffusion of social movements: The case of the Swedish Social Democratic Party“. In: *American journal of sociology* 106.1.
- Peter **Hedström** & Richard **Swedberg** (1998). „Social mechanisms: An introductory essay“. In: *Social Mechanisms: An Analytical Approach to Social Theory*. Hrsg. von Peter **Hedström** & Richard **Swedberg**. Studies in Rationality and Social Change. Cambridge University Press.

- Dieter W. **Heermann** (1990). „Computer-simulation methods“. In: *Computer Simulation Methods in Theoretical Physics*. Springer.
- Claire **Henderson**, Graham **Thornicroft** & Gyles **Glover** (1998). „Inequalities in mental health“. In: *The British Journal of Psychiatry* 173.2.
- Zoe **Heritage** (2009). „Inequalities, social ties and health in France“. In: *Public health* 123.1.
- Gudmund **Hernes** (1998). „Real virtuality“. In: *Social Mechanisms: An Analytical Approach to Social Theory*. Hrsg. von Peter **Hedström** & Richard **Swedberg**. Studies in Rationality and Social Change. Cambridge University Press.
- Stefan **Hradil** (2013). *Sozialstrukturanalyse in einer fortgeschrittenen Gesellschaft: von Klassen und Schichten zu Lagen und Milieus*. Springer-Verlag.
- Anton **Hügli** & Poul **Lübcke** (1991). *Philosophielexikon*.
- Klaus **Hurrelmann** & Oliver **Razum** (2016). *Handbuch Gesundheitswissenschaften*. Hrsg. von Klaus **Hurrelmann** & Oliver **Razum**. 6. Julius Beltz.
- Klaus **Hurrelmann** & Matthias **Richter** (2009). *Gesundheitliche Ungleichheit: Grundlagen, Probleme, Perspektiven*. VS, Verlag für Sozialwissenschaften.
- Toshihide **Iwase**, Etsuji **Suzuki**, Takeo **Fujiwara**, Soshi **Takao**, Hiroyuki **Doi** & Ichiro **Kawachi** (2012). „Do bonding and bridging social capital have differential effects on self-rated health? A community based study in Japan“. In: *J Epidemiol Community Health* 66.6.
- Dorothea **Jansen** (2006). *Einführung in die Netzwerkanalyse*. 3., überarb. Aufl. Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss.
- Nicholas R. **Jennings** (2000). „On agent-based software engineering“. In: *Artificial intelligence* 117.2.
- George A. **Kaplan**, Ana V. **Diez Roux**, Carl P. **Simon** & Sandro **Galea** (2017). *Growing inequality: bridging complex systems, population health, and health disparities*. Westphalia Press.
- Yuri G. **Karpov** (2004). „Anylogic: A new generation professional simulation tool“. In: *VI International Congress on Mathematical Modeling, Nizni-Novgorog, Russia*.
- Ichiro **Kawachi** & Lisa F. **Berkman** (2001). „Social ties and mental health“. In: *Journal of Urban health* 78.3.
- Laura **Kelly** (2011). „‘Social inclusion’ through sports-based interventions?“ In: *Critical social policy* 31.1.

- Eva **Kibele** & Rembrandt **Scholz** (2009). „Trend der Mortalitätsdifferenzen zwischen Ost und West unter Berücksichtigung der vermeidbaren Sterblichkeit“. In: *Die Bevölkerung in Ost- und Westdeutschland*. Springer.
- Franziska **Klügl** (2001). *Multiagentensimulation: Konzepte, Werkzeuge, Anwendungen*. Addison-Wesley.
- Sara **Kress**, Oliver **Razum**, Kim A. **Zolitschka**, Jürgen **Breckenkamp** & Odile **Sauzet** (noch unveröffentlicht). „Does social cohesion mediate neighbourhood effects on mental and physical health? Longitudinal analysis using German Socio-Economic Panel data“. In: *noch unveröffentlicht*.
- Henrik **Kreutz** & Johann **Bacher** (2013). *Disziplin und Kreativität: Sozialwissenschaftliche Computersimulation: theoretische Experimente und praktische Anwendung*. Bd. 2. Springer-Verlag.
- Siegfried **Krüger** (1975). *Simulation: Grundlagen, Techniken, Anwendungen*. Walter de Gruyter.
- Diana **Kuh** & Yoav Ben **Shlomo** (2004). *A life course approach to chronic disease epidemiology*. 2. Oxford University Press.
- Jörn **Lamla**, Henning **Laux**, Hartmut **Rosa** & David **Strecker** (2014). *Handbuch der Soziologie*. UVK Verlagsgesellschaft.
- Thomas **Lampert** & Lars E. **Kroll** (2014). *Soziale Unterschiede in der Mortalität und Lebenserwartung*.
- Thomas **Lampert** & Andreas **Mielck** (2008). „ANALYSEN-Schwerpunkt: Armut und Gesundheit - Gesundheit und soziale Ungleichheit – Eine Herausforderung für Forschung und Politik“. In: *Gesundheit und Gesellschaft*.
- Thomas **Lampert**, Matthias **Richter**, Sven **Schneider**, Jacob **Spallek** & Nico **Dragano** (2016). „Social inequality and health: status and prospects of socio-epidemiological research in Germany“. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 59.2.
- John N. **Lavis** & Gregory L. **Stoddart** (2003). „Social cohesion and health“. In: *Economic implications of social cohesion*. Hrsg. von Lars **Osberg**. 1. Toronto, Canada: University of Toronto.
- Averill M. **Law** & W. David **Kelton** (2000). *Simulation modeling and analysis*. Bd. 3. McGraw-Hill New York.

- Mark **Levine** & Simon **Crowther** (2008). „The responsive bystander: How social group membership and group size can encourage as well as inhibit bystander intervention.“ In: *Journal of personality and social psychology* 95.6.
- Sean **Luke**, Claudio **Cioffi-Revilla**, Liviu **Panait**, Keith **Sullivan** & Gabriel **Balan** (2005). „Mason: A multiagent simulation environment“. In: *Simulation* 81.7.
- Peter **Machamer**, Lindley **Darden** & Carl F. **Craver** (2000). „Thinking about mechanisms“. In: *Philosophy of science* 67.1.
- Sally **Macintyre**, Anne **Ellaway** & Steven **Cummins** (2002). „Place effects on health: how can we conceptualise, operationalise and measure them?“ In: *Social science & medicine* 55.1.
- Johan P. **Mackenbach** (2006). *Health inequalities: Europe in profile*. Produced by COI for the Department of Health.
- Aizita **Magaña** & Noreen M. **Clark** (1995). „Examining a paradox: does religiosity contribute to positive birth outcomes in Mexican American populations?“ In: *Health education quarterly* 22.1.
- Michael **Marmot** & Richard **Wilkinson** (2005). *Social determinants of health*. OUP Oxford.
- Michael **Marmot**, Jessica **Allen**, Peter **Goldblatt**, Tammy **Boyce**, Di **McNeish**, Mike **Grady** & Ilaria **Geddes** (2010). „The Marmot review: Fair society, healthy lives“. In: *The Strategic Review of Health Inequalities in England Post-2010*.
- Paul **Marsden** (1998). „Memetics and social contagion: Two sides of the same coin“. In: *Journal of Memetics-Evolutionary Models of Information Transmission* 2.2.
- Norm **Matloff** (2008). „Introduction to discrete-event simulation and the simpy language“. In: *Davis, CA. Dept of Computer Science. University of California at Davis. Retrieved on August 2.2009.*
- Renate **Mayntz** (2004). „Mechanisms in the analysis of social macro-phenomena“. In: *Philosophy of the social sciences* 34.2.
- Gunther **Meinlschmidt** (2009). *Sozialstrukturatlas Berlin 2008 – Ein Instrument der quantitativen, interregionalen und intertemporalen Sozialraumanalyse und -planung – Spezialbericht 2009-1*.
- Thomas **Metz** (2017). „Agent-Based Modeling (ABM)“. In: *Neue Trends in den Sozialwissenschaften*. Springer.

- Dick **Middelkoop** & Michiel **Bouwman** (2001). „Simone: Large scale train network simulations“. In: *Proceedings of the 33rd conference on Winter simulation*. IEEE Computer Society.
- Andreas **Mielck** (2002). „Gesundheitliche Ungleichheit: Empfehlungen für Prävention und Gesundheitsförderung“. In: *Studienbuch Gesundheit. Soziale Differenz, Strategien, Wissenschaftliche Disziplinen*. Neuwied.
- Andreas **Mielck** & Uwe **Helmert** (2016). „Soziale Ungleichheit und Gesundheit“. In: *Handbuch Gesundheitswissenschaften*. Hrsg. von Klaus **Hurrelmann** & Oliver **Razum**. 6. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Gertraude **Mikl-Horke** (2012). *Soziologie: Historischer Kontext und soziologische Theorie-Entwürfe*. Walter de Gruyter.
- Richard **Mitchell**, Simon **Gleave**, Mel **Bartley**, Dick **Wiggins** & Heather **Joshi** (2000). „Do attitude and area influence health?“. In: *Health & place* 6.2.
- David **Moher**, Larissa **Shamseer**, Mike **Clarke**, Davina **Gherzi**, Alessandro **Liberali**, Mark **Petticrew**, Paul **Shekelle** & Lesley A. **Stewart** (2015). „Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement“. In: *Systematic reviews* 4.1.
- Sigrid M. **Mohnen** & Sven **Schneider** (2014). „Wohnumgebung und Gesundheit“. In: *Walkability–Bewegungsförderung in der Kommune*. Hrsg. von Jens **Buksch** & Sven **Schneider**. 1. Bern: Hans Huber.
- Edward F. **Moore** (1964). *Sequential Machines: Selected Papers*. Addison-Wesley Longman Ltd.
- Rodolfo M. **Nayga Jr** (2000). „Nutrition knowledge, gender, and food label use“. In: *Journal of Consumer Affairs* 34.1.
- Claudia **Neu** (2006). „Territoriale Ungleichheit–eine Erkundung“. In: *Aus Politik und Zeitgeschichte* 37.2006.
- Margaret A. **Oliver** & Richard **Webster** (1990). „Kriging: a method of interpolation for geographical information systems“. In: *International Journal of Geographical Information System* 4.3.
- Mathias **Oppelt**, Oliver **Drumm**, Benjamin **Lutz** & A. G. Wolf **Siemens** (2013). „Approach for integrated simulation based on plant engineering data“. In: *2013 IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*. IEEE.

- Xiaoshan **Pan**, Charles S. **Han**, Ken **Dauber** & Kincho H. **Law** (2006). „Human and social behavior in computational modeling and analysis of egress“. In: *Automation in construction* 15.4.
- Andrew **Parker**, Rosie **Meek** & Gwen **Lewis** (2014). „Sport in a youth prison: male young offenders’ experiences of a sporting intervention“. In: *Journal of youth studies* 17.3.
- Dirk **Pawlaszczyk** (2010). „Skalierbare Agentenbasierte Simulation–Verteilte Simulation agentenbasierter Modelle“. In: *KI-Künstliche Intelligenz* 24.2.
- Pawel **Pawlewski**, Paulina **Golinska** & Paul-Eric **Dossou** (2012). „Application potential of Agent Based Simulation and Discrete Event Simulation in enterprise integration modelling concepts“. In: *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal* 1.1.
- Wouter **Pinxten** & John **Lievens** (2014). „The importance of economic, social and cultural capital in understanding health inequalities: using a Bourdieu-based approach in research on physical and mental health perceptions“. In: *Sociology of health & illness* 36.7.
- Bernhard **Prosch** (2008). „Badewanne oder Schlachtschiff? Anmerkungen zur Diskussion über das Mikro-Makro-Modell“. In: Hrsg. von Karl-Siegbert **Rehberg**. Campus Verl.
- Robert D. **Putnam** (2000). „Bowling alone: America’s declining social capital“. In: *Culture and politics*. Springer.
- Polina **Putrik**, Nanne K. de **Vries**, Suhreta **Mujakovic**, Ludovic van **Amelsvoort**, IJmert **Kant**, Anton E. **Kunst**, Hans van **Oers** & Maria **Jansen** (2015). „Living environment matters: relationships between neighborhood characteristics and health of the residents in a Dutch municipality“. In: *Journal of community health* 40.1.
- Michael **Radoschewski** & Bärbel-Maria **Bellach** (1999). „Der SF-36 im Bundesgesundheits-survey-Möglichkeiten und Anforderungen der Nutzung auf der Bevölkerungsebene“. In: *Gesundheitswesen* 61.2.
- Steven F. **Railsback** & Volker **Grimm** (2019). *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction*. Princeton university press.
- Taha H. **Rashidi**, Alireza **Abbasi**, Mojtaba **Maghrebi**, Samiul **Hasan** & Travis S. **Waller** (2017). „Exploring the capacity of social media data for modelling travel behaviour: Opportunities and challenges“. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 75.



- Oliver **Razum**, Jürgen **Breckenkamp** & Patrick **Brzoska** (2016). „Epidemiologische Verfahren in den Gesundheitswissenschaften“. In: *Handbuch Gesundheitswissenschaften*. Hrsg. von Klaus **Hurrelmann** & Oliver **Razum**. 6. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Oliver **Razum**, Thomas **Altenhöner**, Jürgen **Breckenkamp** & Sven **Voigtländer** (2008). „Social epidemiology after the German reunification: East vs. West or poor vs. rich?“ In: *International journal of public health* 53.1.
- Sean F. **Reardon** & Kendra **Bischoff** (2011). „Income inequality and income segregation“. In: *American Journal of Sociology* 116.4.
- Britta **Renner** & Ursula M. **Staudinger** (2008). *Gesundheitsverhalten alter Menschen*.
- Paulo J. **Ribeiro Jr** & Peter J. **Diggle** (2018). *geoR: Analysis of Geostatistical Data*. R package version 1.7-5.2.1.
- Matthias **Richter** & Klaus **Hurrelmann** (2009). „Gesundheitliche Ungleichheit: Ausgangsfragen und Herausforderungen“. In: *Gesundheitliche Ungleichheit*. Springer.
- Robert Koch-Institut** (2009). „*Gesundheit und Krankheit im Alter*“.
- Everett M. **Rogers** (2010). *Diffusion of innovations*. Simon & Schuster.
- Niels J. **Rosenquist**, Joanne **Murabito**, James H. **Fowler** & Nicholas A. **Christakis** (2010). „The spread of alcohol consumption behavior in a large social network“. In: *Annals of internal medicine* 152.7.
- Stuart **Russell** & Peter **Norvig** (2012). *Künstliche Intelligenz*. Pearson Deutschland.
- Samuel **Salzborn** (2016). *Sozialwissenschaften zur Einführung*. Junius Verlag.
- Thomas **Sauerbier** (1999). *Theorie und Praxis von Simulationssystemen*. Springer.
- Odile **Sauzet**, Kim A. **Zolitschka**, Jürgen **Breckenkamp** & Oliver **Razum** (noch unveröffentlicht). „Correlation Neighbourhood: an ego-centred approach for the evaluation of health inequalities in urban areas“. In: *noch unveröffentlicht*.
- Abdulrahman M. **El-Sayed**, Peter **Scarborough**, Lars **Seemann** & Sandro **Galea** (2012). „Social network analysis and agent-based modeling in social epidemiology“. In: *Epidemiologic Perspectives & Innovations* 9.1.
- Oliver **Schabenberger** & Carol A. **Gotway** (2017). *Statistical methods for spatial data analysis*. Chapman & Hall/CRC.
- Thomas C. **Schelling** (1998). „Social mechanisms and social dynamics“. In: *Social Mechanisms: An Analytical Approach to Social Theory*. Hrsg. von Peter **Hedström** & Richard **Swedberg**. Studies in Rationality and Social Change. Cambridge University Press.

- Martin **Schlather**, Alexander **Malinowski**, Peter J. **Menck**, Marco **Oesting** & Kirstin **Strokorb** (2015). „Analysis, simulation and prediction of multivariate random fields with package RandomFields“. In: *Journal of Statistical Software* 63.8.
- Robert E. **Shannon** (1998). „Introduction to the art and science of simulation“. In: *1998 Winter Simulation Conference. Proceedings (Cat. No. 98CH36274)*. Bd. 1. IEEE.
- Eliot R. **Smith** & Frederica R. **Conrey** (2007). „Agent-based modeling: A new approach for theory building in social psychology“. In: *Personality and social psychology review* 11.1.
- Aage B. **Sørensen** (1998). „Theoretical mechanisms and the empirical study of social processes“. In: *Social Mechanisms: An Analytical Approach to Social Theory*. Hrsg. von Peter **Hedström** & Richard **Swedberg**. Studies in Rationality and Social Change. Cambridge University Press.
- Anthony M. **Starfield**, Karl Aldrich **Smith** & Andrew L. **Bleloch** (1990). *How to model it: Problem solving for the computer age*. Mc Graw-Hill.
- Klaus P. **Strohmeier**, Albrecht **Schultz**, Doris **Bardehle**, Rolf **Annuß** & Anja **Lenz** (2007). „Sozialräumliche Clusteranalyse der Kreise und kreisfreien Städte und Gesundheitsindikatoren in NRW“. In: *Das Gesundheitswesen* 69.01.
- Sedegas V. **Tikhonova** (2016). „Social Networks: Problems of Internet Socialization“. In: *Polis. Political Studies* 3.3.
- Seth **Tisue** & Uri **Wilensky** (2004). „NetLogo: Design and implementation of a multi-agent modeling environment“. In: *Proceedings of agent*.
- Waldo R. **Tobler** (1969). „Geographical filters and their inverses“. In: *Geographical Analysis* 1.3.
- Klaus G. **Troitzsch** (2013). *Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften*. Springer-Verlag.
- Jörg **Vögele**, Ulrich **Koppitz** & Hideharu **Umehara** (2016). „Epidemien und Pandemien in historischer Perspektive“. In: *Epidemien und Pandemien in historischer Perspektive*. Springer.
- Sven **Voigtländer**, Ursula **Berger** & Oliver **Razum** (2010a). „The impact of regional and neighbourhood deprivation on physical health in Germany: a multilevel study“. In: *BMC Public Health* 10.1.
- Sven **Voigtländer**, Ursula **Berger** & Oliver **Razum** (2010b). „Zunehmende regionale Unterschiede bei den Lebensverhältnissen in Deutschland und ihre Bedeutung für die Erklärung gesundheitlicher Ungleichheit“. In: *Das Gesundheitswesen* 72.05.

- Sven **Voigtländer**, Andreas **Mielck** & Oliver **Razum** (2012). „Die Bedeutung des kleinräumigen Kontexts für Gesundheit: Entwurf eines Erklärungsmodells“. In: *Das Gesundheitswesen* 74.11.
- Sjerp de **Vries**, Sonja M. E. van **Dillen**, Peter P. **Groenewegen** & Peter **Spreeuwenberg** (2013). „Streetscape greenery and health: Stress, social cohesion and physical activity as mediators“. In: *Social Science & Medicine* 94.
- Hans **Wackernagel** (2013). *Multivariate geostatistics: an introduction with applications*. Springer Science & Business Media.
- Gert G. **Wagner**, Joachim R. **Frick** & Jürgen **Schupp** (2007). *The German Socio-Economic Panel Study (SOEP): Scope, Evolution and Enhancements*. SOEPpapers on Multidisciplinary Panel Data Research 1. Berlin.
- Jane **Wardle**, Anne M. **Haase**, Andrew **Step toe**, Maream **Nillapun**, Kiriboon **Jonwut- iwes** & France **Bellis** (2004). „Gender differences in food choice: the contribution of health beliefs and dieting“. In: *Annals of behavioral medicine* 27.2.
- Richard G. **Wilkinson** & Michael **Marmot** (2003). *Social determinants of health: the solid facts*. World Health Organization.
- William J. **Wilson** (1987). *Excerpts from The Truly Disadvantaged: The Inner City, the Underclass, and Public Policy: The Hidden Agenda*“.
- Eric **Winsberg** (2019). „Computer Simulations in Science“. In: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Hrsg. von Edward N. **Zalta**. Winter 2019. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Christof **Wolf** (2010). „Egozentrierte Netzwerke: Datenerhebung und Datenanalyse“. In: *Handbuch Netzwerkforschung*. Springer.
- Michael **Wooldridge** (1997). „Agent-based software engineering“. In: *IEE Proceedings- software* 144.1.
- Michael **Wooldridge** (1998). „Agent-based computing“. In: *Interoperable Communication Networks* 1.
- Michael **Wooldridge** (2009). *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons.
- Susanne **Wurm**, Maja **Wiest** & Clemens **Tesch-Römer** (2010). „Theorien zu Alter(n) und Gesundheit“. In: *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung- Gesundheitsschutz* 53.5.
- Anna M. **Ziersch**, Fran E. **Baum**, Colin **MacDougall** & Christine **Putland** (2005). „Neighbourhood life and social capital: the implications for health“. In: *Social science & medicine* 60.1.

Kim A. **Zolitschka**, Oliver **Razum**, Jürgen **Breckenkamp** & Odile **Sauzet** (2019). „Social Mechanisms in Epidemiological Publications on Small-Area Health Inequalities—A Scoping Review.“ In: *Frontiers Public Health*.

Kim A. **Zolitschka**, Sara **Kress**, Oliver **Razum**, Jürgen **Breckenkamp** & Odile **Sauzet** (noch unveröffentlicht). „Urban residential mobility and small-area health inequalities - a scoping review“. In: *noch unveröffentlicht*.

# A Anhang

## A.1 Definitionen von sozialen Mechanismen

### A.1.1 Gruppe I: Mehrebenenmechanismen

Eine Übersicht über alle Definitionen von sozialen Mechanismen, die dem Mehrebenenansatz entsprechen, ist im Folgenden zu finden. Die erste Definition ist aus dem Essay „Social mechanisms and social dynamics“. Schelling reflektiert dabei, wie soziale Mechanismen funktionieren und wie sie für eine Erklärung von sozialen Dynamiken verwendet werden können (Schelling 1998).

1: „I propose that a social mechanism is a plausible hypothesis, or set of plausible hypotheses, that could be the explanation of some social phenomenon, the explanation being in terms of interactions between individuals and other individuals, or between individuals and some social aggregate.“ (Schelling 1998)

Die nächste Definition ist aus dem Essay „Social mechanisms without black boxes“. Boudon beschreibt, dass Black Boxes aus Mechanismen bestehen, die offenbart werden können, wenn soziale Normen analysiert werden (Boudon 1998).

2: „A social mechanism is, in other words, the well-articulated set of causes responsible for a given social phenomenon. With the exception of typical simple ones, SMs tend to be idiosyncratic and singular. Analyzing social mechanisms requires – at least ideally – making them the Ergebnis of individual beliefs, actions, attitudes, and so on.“ (Boudon 1998)

Die dritte Definition ist aus dem Essay „Rational imitation“. Hedström & Swedberg weisen darauf hin, dass es rationale Grundlagen für nachahmendes Verhalten gibt, die über soziale Mechanismen erforscht werden können (Hedström & Swedberg 1998).

3. „A social mechanism [...] is a constellation of entities and activities that is organized in such a way that it regularly brings about a particular type of Ergebnis. A mechanism-based explanation of an observed Ergebnis refers to the social mechanism by which such Ergebnisse are regularly brought about. In one way or another these mechanisms are always about actors and the causes and consequences of their actions, because actors are the entities that bring about change in society.“ (Hedström & Swedberg 1998)

Die vierte Definition ist aus dem Essay „Real virtuality“. Hierbei erklärt Hernes, dass soziale Mechanismen abstrakt, aber trotzdem anwendbar sind, wenn sie die Realität annähernd beschreiben (Hernes 1998).

4: „A mechanism is a set of interacting parts – an assembly of elements producing an effect not inherent in any one of them. A mechanism is not so much about ‘nuts and bolts’ as about ‘cogs and wheels’ – the wheelwork or agency by which an effect is produced. But a mechanism or inner workings is an abstract, dynamic logic by which social scientists render understandable the reality they depict.“ (Hernes 1998)

Die fünfte Definition ist von dem Artikel „Agent-based modeling: A new approach for theory building in social psychology“. Smith & Conrey nutzen diese Definition für die agentenbasierte Modellierung im Fachbereich der Sozialpsychologie (Smith & Conrey 2007).

5: „Generative ‘or ,mechanistic‘ explanations seek to explain an observed phenomenon by postulating a process or set of mechanisms that generate the phenomenon. In other words, the phenomenon is explained as emerging from the ongoing interaction of assumed (and in psychology, often unobserved) underlying processes.“ (Smith & Conrey 2007)

Die sechste Definition ist von dem Artikel „Thinking about mechanisms“. Machamer, Darden et al. beschreiben einen mechanistischen Ansatz für die Analyse von Neurobiologie und Molekularbiologie, der auf Details der wissenschaftlichen Praxis beruht und der möglicherweise auch auf andere wissenschaftliche Gebiete anwendbar ist (Machamer, Darden et al. 2000).

6: „Mechanisms are sought to explain how a phenomenon comes about or how some significant process works. Specifically: Mechanisms are entities and activities organized such that they are productive of regular changes from start or set-up to finish or termination conditions.“ (Machamer, Darden et al. 2000)

### A.1.2 Gruppe II: Einebenenmechanismen

Eine Übersicht über alle Definitionen von sozialen Mechanismen, die dem Einebenenansatz entsprechen, ist im Folgenden zu finden. Die erste Definition in der Kategorie der Einebenenmechanismen ist aus dem Essay „A plea for mechanism“. Elster weist darauf hin, dass Mechanismen sich von Gesetzen unterscheiden und Mechanismen über die anfängliche Bedingung über die Ursachen zu den Effekten führen (Elster 1998).

1: „A mechanism as intermediate between laws and descriptions. Roughly speaking, mechanisms are frequently occurring and easily recognizable causal patterns that are triggered under generally unknown conditions or with indeterminate consequences.“ (Elster 1998)

Die zweite Definition ist aus dem Essay „Concatenation of mechanism“. Gambetta beschreibt, dass soziale Mechanismen in spezifischen Verknüpfungen von Faktoren wirken (Gambetta 1998).

2: „I take ‚mechanisms‘ to be hypothetical causal models that make sense of individual behavior. They have the form, ‚Given certain conditions K, an agent will do x because of M with probability p.‘ M refers either to forms of reasoning governing decision making (of which rational choice models are a subset) or to subintentional processes that affect action both directly (as impulsiveness) or by shaping preferences or beliefs. [...] Most social phenomena require more than just one mechanism to make sense. [...] Mechanism interact with one another forming concatenations of mechanism.“ (Gambetta 1998)

Die dritte Definition ist aus dem Essay „Theoretical mechanisms and social processes“. Sørensen statuiert, dass soziologische Modelle entwickelt werden müssen, die soziale Mechanismen und ihre Rolle bei der Entstehung von sozialen Veränderungen wiedergeben (Sørensen 1998).

3: „My definition of ‚mechanism‘ is simple: It is an account of how change in some variables is brought about – a conceptualization of what ‚goes into‘ a process.“ (Sørensen 1998)

## A.2 Übersichtstabellen der eingeschlossenen Studien

In den Tabellen 11 und 12 sind die Basisinformationen über die in der Literaturrecherche eingeschlossenen Studien dargestellt.

Tabelle 11: Überblick über in die Literaturrecherche eingeschlossene Studien I

Referenz	Land	Studiendesign	Outcome	Expositionen	Ergebnisse
(Ard, Colen et al. 2016)	USA	Querschnitt	selbst berichtete Gesundheit	soziale Teilhabe, religiöses soziales Kapital, politische Aktivität, soziales Vertrauen, Gruppenbeteiligung, Wahlkampfteiligung	alle Expositionen stehen in einem signifikanten Zusammenhang mit dem Ergebnis
(Iwase, Suzuki et al. 2012)	Japan	Querschnitt	selbst berichtete Gesundheit	Eltern und Lehrer Verbände, Sportvereine, politische Vereine, Gemeindevereine(homogen oder heterogen, abhängig von der sozialen Zusammensetzung)	die Teilhabe an heterogenen Gruppenaktivitäten führt zu einer niedriger Chance für eine schlechte selbst berichtete Gesundheit im Vergleich zu keiner Teilhabe. Der Effekt ist für Frauen verstärkt.
(Dahl & Malmberg-Heimonen 2010)	Norwegen	Querschnitt	selbst berichtete Gesundheit, langjährige Krankheit	emotionale - und praktische Unterstützung, Anzahl an FreundenInnen, Zufriedenheit mit der Nachbarschaft, bürgerliche Teilhabe, Bildung und Zugang zu professionellen Ressourcen, allgemeines Vertrauen	Zufriedenheit und Vertrauen ist positiv mit der selbst berichteten Gesundheit assoziiert
(Pinxten & Lievens 2014)	Belgien	Querschnitt	selbst berichtete physische und mentale Gesundheit	ökonomisches Kapital, Bildung, Teilhabe in kulturellen Aktivitäten, Freizeitaktivitäten, soziale Unterstützung, sozialer Zusammenhalt in der Nachbarschaft	geringes ökonomisches Kapital und hoher sozialer Zusammenhalt führen zu einem negativen Effekt auf die mentale Gesundheit; soziale Unterstützung führt zu besserer mentaler und physischer Gesundheit; kulturelle Teilhabe hat einen positiven Effekt auf die physische Gesundheit
(Gatrell, Popay et al. 2004)	England	Querschnitt	psychologische Morbidität (selbst berichtet)	materielle Lage, Einsamkeit, sozialer Zusammenhalt, Kontakt zu NachbarInnen	Präsenz einer vertrauenswürdigen Person führt zu weniger mentalen Gesundheitsproblemen und umgekehrt
(Clercq, Vyncke et al. 2012)	Belgien	Querschnitt	selbst berichtete Gesundheit	individuelles soziales Kapital, gemeinschaftliches soziales Kapital	soziales Kapital ist in beiden Ausprägungen positiv mit Gesundheit assoziiert



Tabelle 12: Überblick über in die Literaturrecherche eingeschlossene Studien II.

Referenz	Land	Studiendesign	Outcome	Expositionen	Ergebnisse
(Chandola 2001)	UK	Querschnitt	selbst berichtete Gesundheit	Angst vor Kriminalität	hohe Angst vor Kriminalität führt zu einer schlechteren Gesundheit
(Bjornstrom 2011)	USA	Querschnitt	selbst berichtete Gesundheit	relative Position, Vertrauen	Vertrauen ist positiv mit Gesundheit assoziiert
(Fone, White et al. 2014)	Wales	Längsschnitt	selbst berichtete mentale Gesundheit	sozialer Zusammenhalt	in einer Nachbarschaft, mit einem mittleren oder hohen sozialen Zusammenhalt zu leben, ist mit einer besseren mentalen Gesundheit assoziiert
(Baum, Ziersch et al. 2009)	Australien	Querschnitt	selbst berichtete Gesundheit	soziales Netzwerk, soziale Unterstützung, Reziprozität, Vertrauen, sozialer Zusammenhalt, Sicherheit in der Nachbarschaft	hoher sozialer Zusammenhalt und hohe Sicherheit in der Nachbarschaft führen zu einer besseren Gesundheit
(Ziersch, Baum et al. 2005)	Australien	Querschnitt	selbst berichtete mentale und physische Gesundheit	Verknüpfungen mit Nachbarn, Vertrauen in der Nachbarschaft, Reziprozität, Sicherheit in der Nachbarschaft	positive Wahrnehmung der Sicherheit und starke Verknüpfungen mit Nachbarn führen zu besserer mentaler Gesundheit
(Mitchell, Gleave et al. 2000)	UK	Querschnitt	selbst berichtete Gesundheit	Einstellung gegenüber der Gemeinschaft	ein Zusammengehörigkeitsgefühl zur Gemeinschaft ist mit einer besseren Gesundheit assoziiert
(Boardman 2004)	USA	Querschnitt	selbst berichtete Gesundheit	Stabilität in der Nachbarschaft	Stress hat einen größeren Einfluss auf die Gesundheit in einer instabilen Nachbarschaft
(Putrik, Vries et al. 2015)	die Niederlande	Querschnitt	selbst berichtete Gesundheit	Sicherheit in der Nachbarschaft, sozialer Zusammenhalt	niedrige Sicherheit und niedriger sozialer Zusammenhalt führen zu schlechterer Gesundheit
(Vries, Dillen et al. 2013)	die Niederlande	Querschnitt	selbst berichtete Gesundheit	sozialer Zusammenhalt	sozialer Zusammenhalt mediiert zwischen lokalen Grünzügen und Gesundheit

### A.3 Ergebnisse der agentenbasierten Simulationen

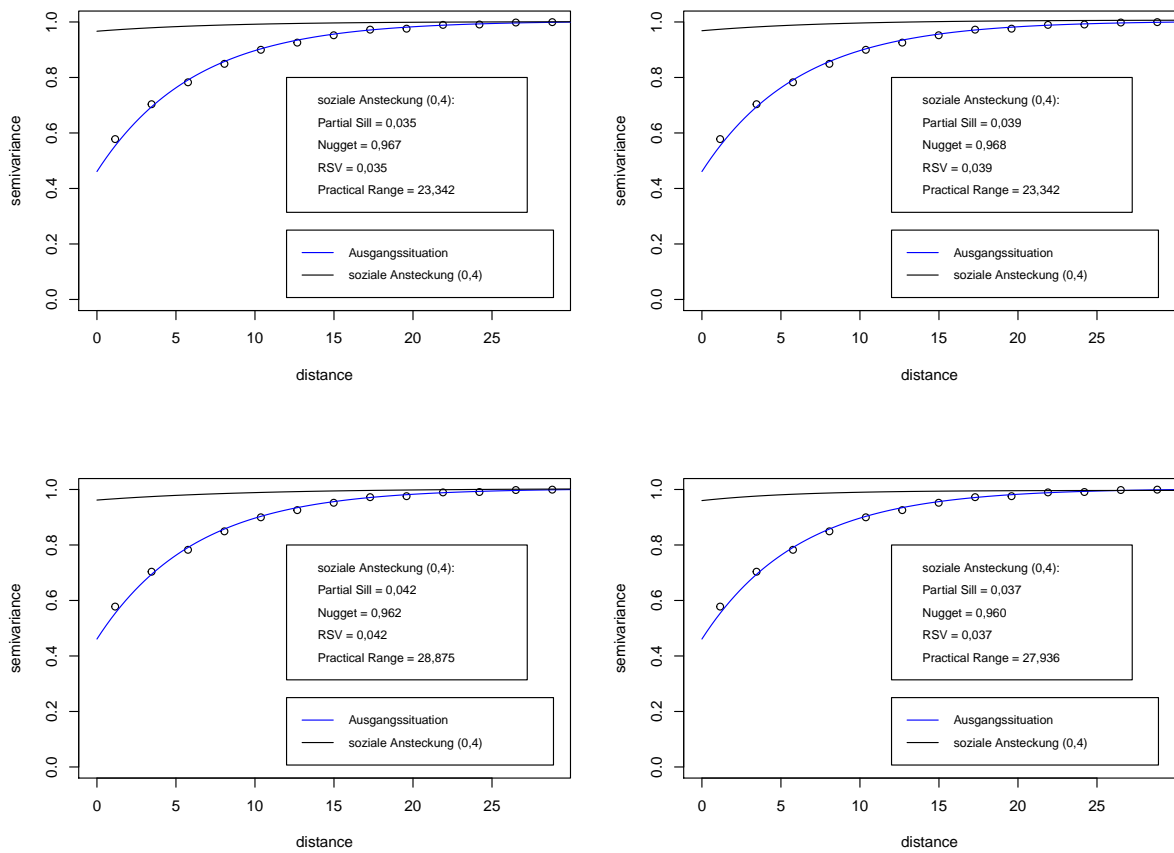


Abbildung 55: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen der Gesundheit bei  $\alpha = 0,4$  nach 10 Iterationen.

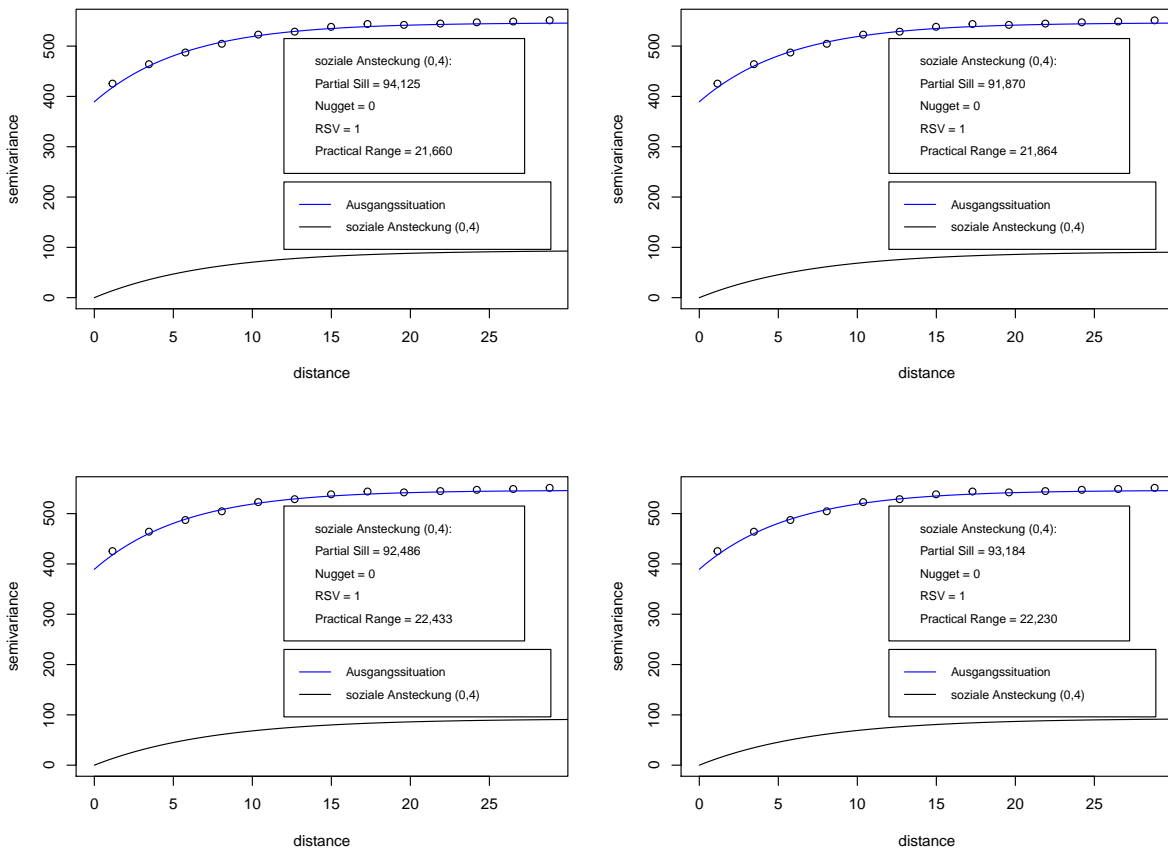


Abbildung 56: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei  $\alpha = 0,4$  nach 10 Iterationen.

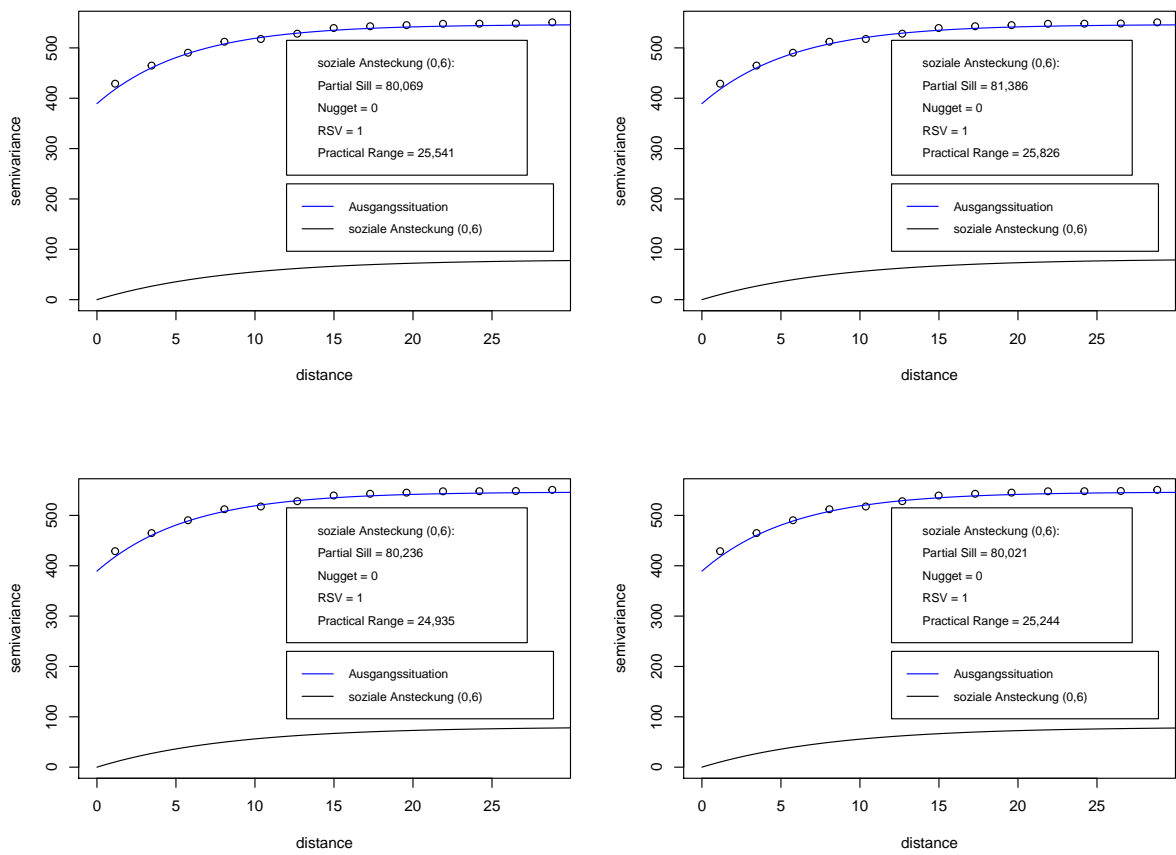


Abbildung 57: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei  $\alpha = 0,6$  nach 10 Iterationen.

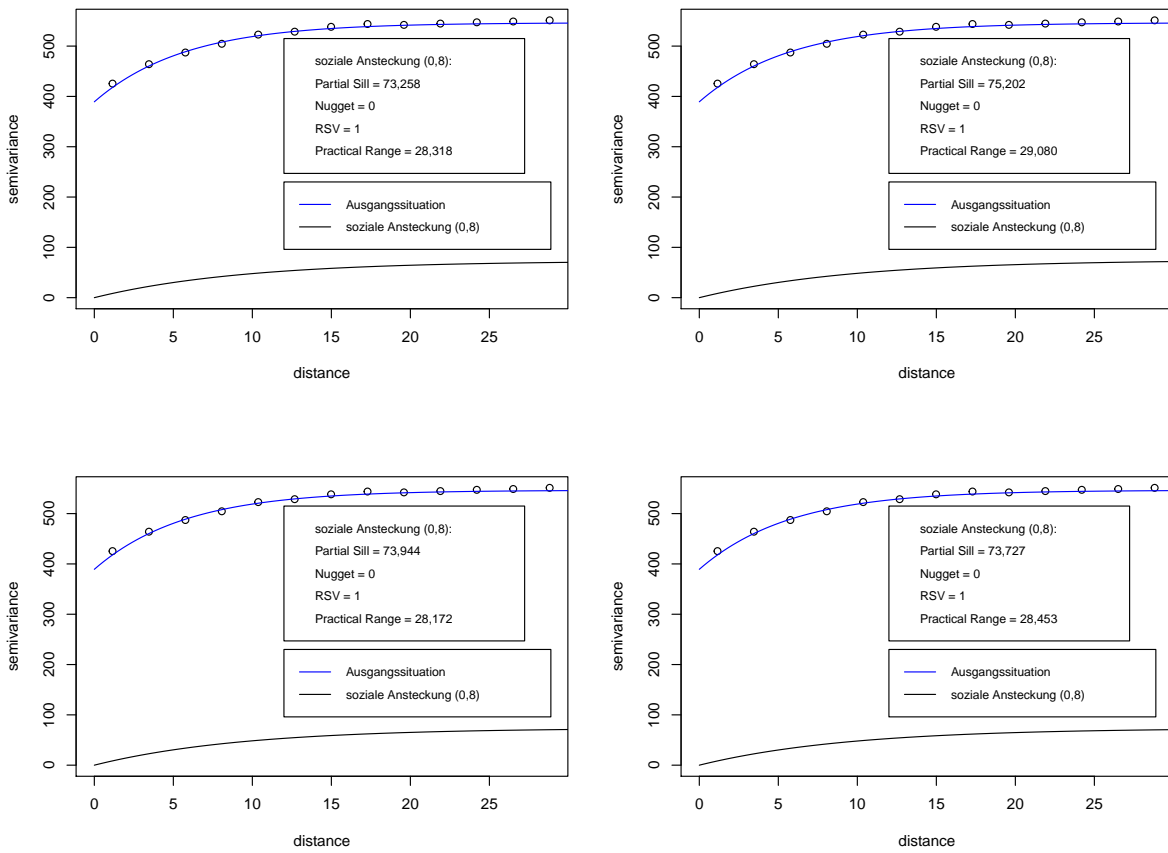


Abbildung 58: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei  $\alpha = 0,8$  nach 10 Iterationen.

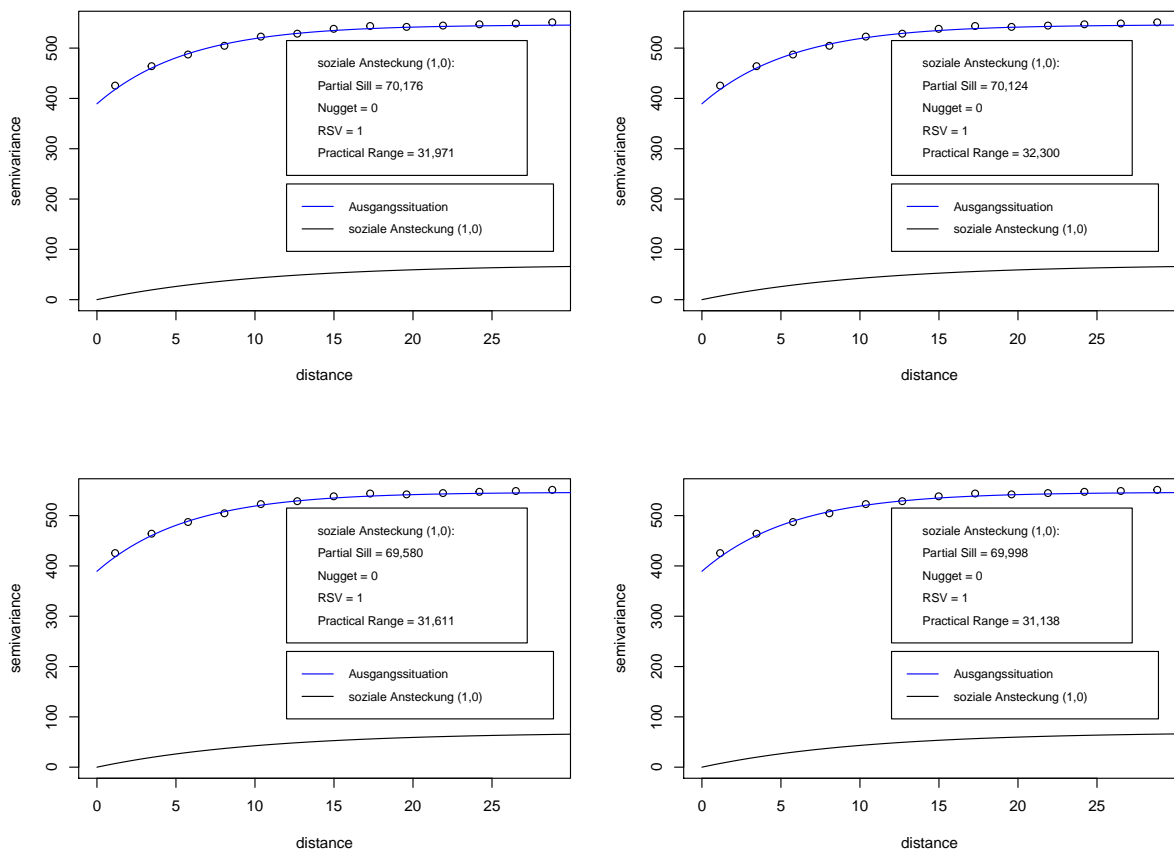


Abbildung 59: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei  $\alpha = 1$  nach 10 Iterationen.

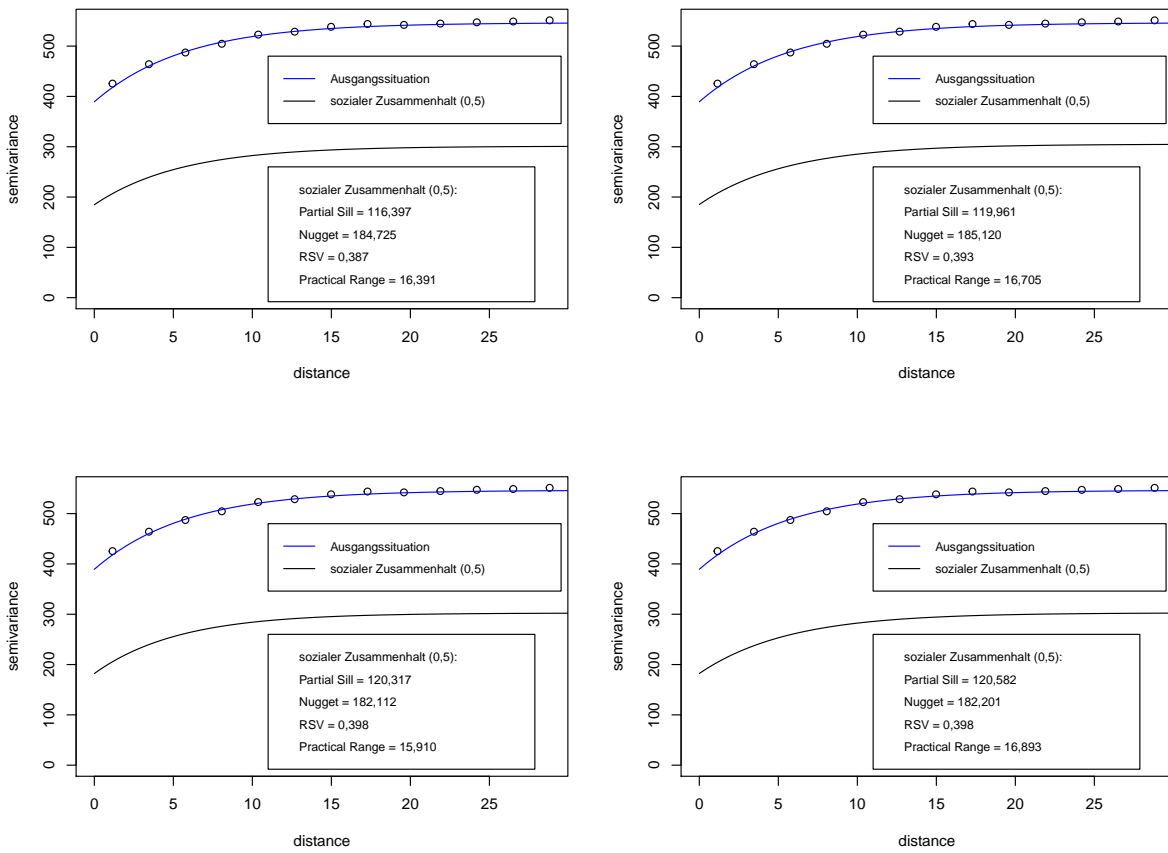


Abbildung 60: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei einem niedrigen Zusammengehörigkeitsgefühl nach 10 Iterationen.

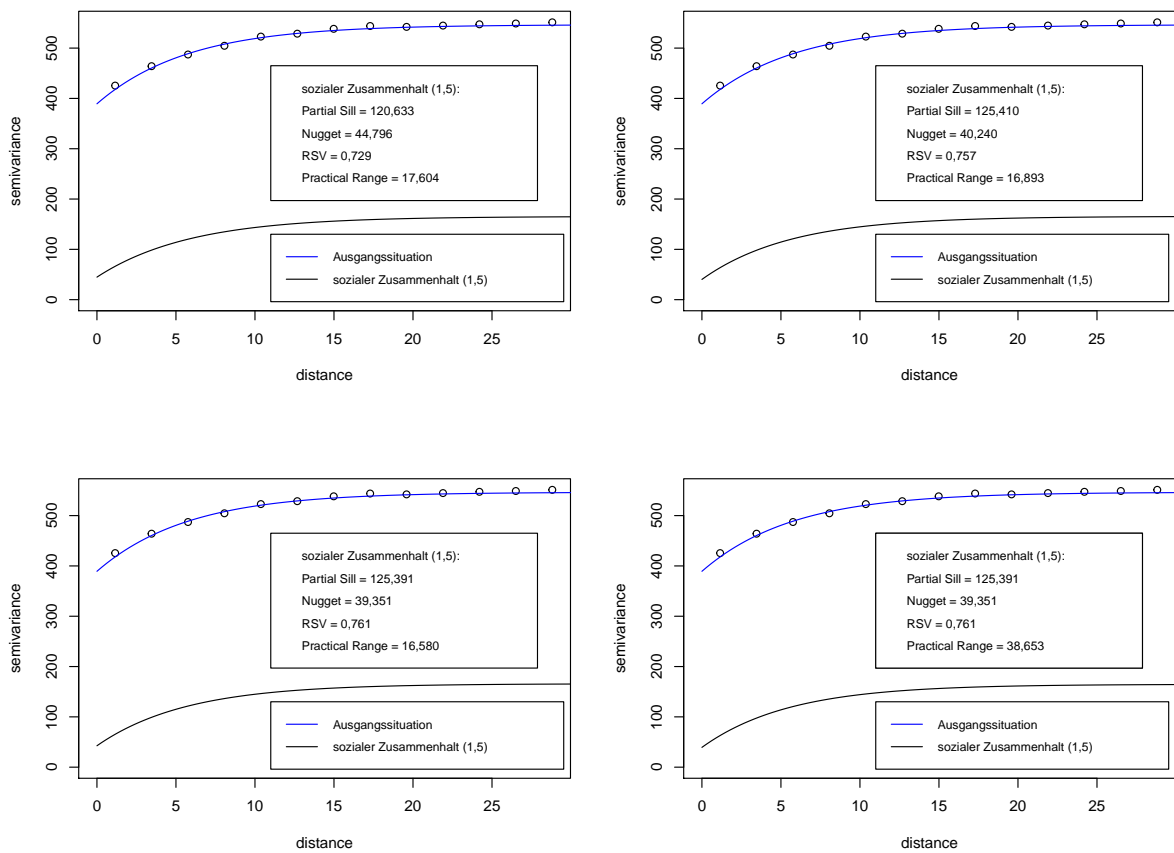


Abbildung 61: Vier beispielhafte Korrelationsstrukturen des Verhaltens bei einem hohen Zusammengehörigkeitsgefühl nach 10 Iterationen.



## B Erklärung

Hiermit erkläre ich,

- dass mir die geltende Promotionsordnung der Fakultät für Gesundheitswissenschaften der Universität Bielefeld bekannt ist.
- dass ich die vorliegende Dissertation selbst angefertigt, dabei keine Textabschnitte von Dritten oder eigenen Prüfungsarbeiten ohne Kennzeichnung übernommen und alle von mir benutzten Hilfsmittel und Quellen in der Arbeit angegeben habe.
- dass ich diese Dissertation oder wesentliche Teile daraus nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe.
- dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe und ich bisher keine weiteren Versuche zur Promotion unternommen habe.

Bielefeld, den 28. April 2020

---

Kim Alexandra Zolitschka