

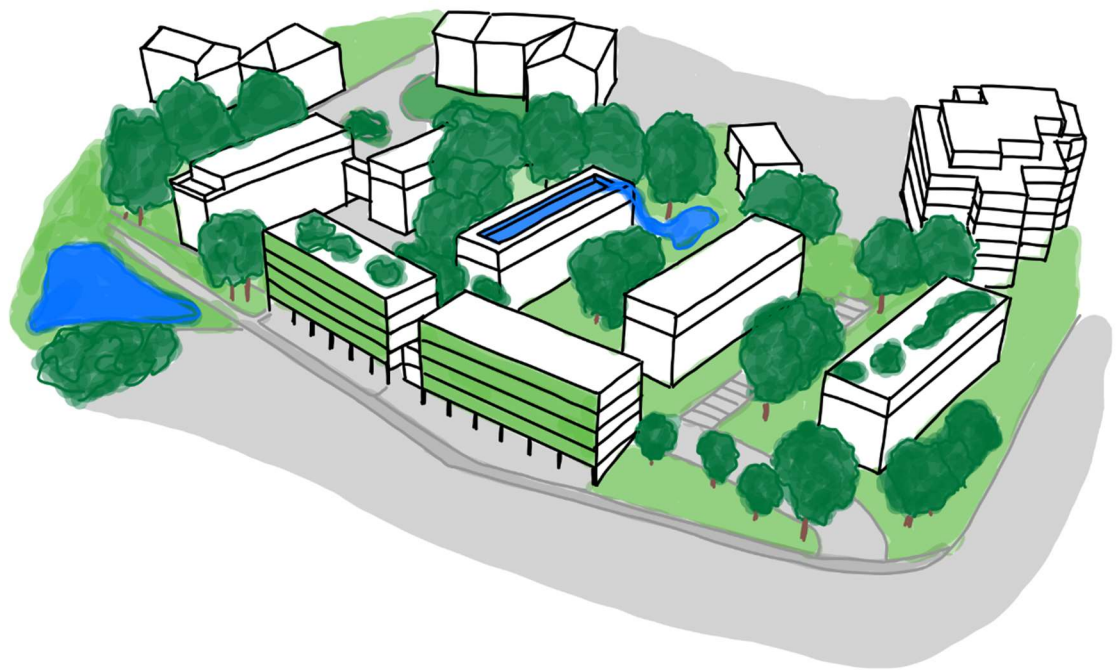
Bauliche Nachverdichtung und Außenraum: Systemische Untersuchung der relevanten Einfluss- parameter und ihrer Wechselwirkungen nach dem Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades
Master of Science (M. Sc.)
an der Fakultät für Architektur/Ingenieurfacultät Bau, Geo Umwelt der
Technischen Universität München

Betreut von Roland Reitberger
Carsten Schade
Johannes Staudt
Prof. Dr. Werner Lang
Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen

Eingereicht von Laura Lerner
Pflegerbauerstr. 7
81925 München

Eingereicht am 14.05.2022, in München



Vereinbarung

zwischen

der Technischen Universität München, vertreten durch ihren Präsidenten,
Arcisstraße 21, 80333 München

hier handelnd der Lehrstuhl für Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und Bauen
(Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Lang), Arcisstr. 21, 80333 München

– nachfolgend TUM –

und

Laura Lerner
Pflegerbauerstr. 7
81925 München

– nachfolgend Autorin/Autor –

Die Autorin wünscht, dass die von ihr an der TUM erstellte Masterarbeit mit dem Titel

„Bauliche Nachverdichtung und Außenraum: Systemische Untersuchung der relevanten Einflussparameter und ihrer Wechselwirkungen nach dem Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester“

auf mediaTUM und der Webseite des Lehrstuhls für Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und Bauen mit dem Namen der Autorin, dem Titel der Arbeit, den Betreuern und dem Erscheinungsjahr genannt werden darf.

in Bibliotheken der TUM, einschließlich mediaTUM und die Präsenzbibliothek des Lehrstuhls für Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und Bauen, Studenten und Besuchern zugänglich gemacht und veröffentlicht werden darf. Dies schließt auch Inhalte von Abschlusspräsentationen ein.

mit einem Sperrvermerk versehen und nicht an Dritte weitergegeben wird.

(Zutreffendes bitte ankreuzen)

Zu diesem Zweck überträgt die Autorin der TUM zeitlich und örtlich unbefristet das nichtausschließliche Nutzungs- und Veröffentlichungsrecht an der Masterarbeit.

Die Autorin versichert, dass sie alleinige Inhaberin aller Rechte an der Masterarbeit ist und der weltweiten Veröffentlichung keine Rechte Dritter entgegenstehen, bspw. an Abbildungen, beschränkende Absprachen mit Verlagen, Arbeitgebern oder Unterstützern der Masterarbeit. Die Autorin stellt die TUM und deren Beschäftigte insofern von Ansprüchen und Forderungen Dritter sowie den damit verbundenen Kosten frei.

Eine elektronische Fassung der Masterarbeit als pdf-Datei hat die Autorin dieser Vereinbarung beigelegt. Die TUM ist berechtigt, ggf. notwendig werdende Konvertierungen der Datei in andere Formate vorzunehmen.

Vergütungen werden nicht gewährt.

Eine Verpflichtung der TUM zur Veröffentlichung für eine bestimmte Dauer besteht nicht.

Die Autorin hat jederzeit das Recht, die mit dieser Vereinbarung eingeräumten Rechte schriftlich zu widerrufen. Die TUM wird die Veröffentlichung nach dem Widerruf in einer angemessenen Frist und auf etwaige Kosten der Autorin rückgängig machen, soweit rechtlich und tatsächlich möglich und zumutbar.

Die TUM haftet nur für vorsätzlich oder grob fahrlässig verursachte Schäden. Im Falle grober Fahrlässigkeit ist die Haftung auf den vorhersehbaren Schaden begrenzt; für mittelbare Schäden, Folgeschäden sowie unbefugte nachträgliche Veränderungen der veröffentlichten Masterarbeit ist die Haftung bei grober Fahrlässigkeit ausgeschlossen.

Die vorstehenden Haftungsbeschränkungen gelten nicht für Verletzungen des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit.

Meinungsverschiedenheiten im Zusammenhang mit dieser Vereinbarung bemühen sich die TUM und die Autorin einvernehmlich zu klären. Auf diese Vereinbarung findet deutsches Recht unter Ausschluss kollisionsrechtlicher Regelungen Anwendung. Ausschließlicher Gerichtsstand ist München.

München, den

München, den 14.05.2022

.....

L. Lerner
.....

(TUM)

(Autorin/Autor)

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die von mir eingereichte Abschlussarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

München, den 14.05.2022

L. Lerner

Ort, Datum, Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die die Erstellung dieser Masterarbeit begleitet und unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt meinen Betreuern Roland Reitberger, Carsten Schade und Johannes Staudt. Bei jedem von ihnen stieß ich stets auf ein offenes Ohr und wurde mit konstruktiver Kritik unterstützt. Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Lang, der diese Arbeit als Lehrstuhlinhaber betreut.

Weiterhin möchte ich mich bei den Expert:innen des Expertenworkshops für ihre Mitarbeit und Zeit sowie den inhaltlichen Beitrag bedanken. Dies ermöglichte es mir die erarbeiteten Ergebnisse dieser Arbeit zu validieren und zu optimieren.

Auch bei Prof. Wulfhorst möchte ich mich für die Nutzungsmöglichkeit der Software des Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester bedanken und bei Frau Harrer-Puchner für den Support bezüglich meiner Fragen zur Modellanwendung.

Zum Schluss möchte ich mich ganz besonders bei meiner Familie bedanken, die mich jederzeit unterstützt und motiviert haben und mir das Studium ermöglichten.



München, den 14.05.2022

Kurzzusammenfassung

Im Kontext des Klimawandels und der damit einhergehenden vielschichtigen Problematik, ist ein Umdenken im Umgang und der Herangehensweise komplexer Problemstellungen unabdingbar. Zunehmend dicht bebaute Städte sind durch Probleme wie Zersiedelung und Flächenversiegelung besonders vulnerabel. Die bauliche Nachverdichtung hat daher eine bedeutende Rolle in der zukünftigen Stadtentwicklung.

Die Hypothesen dieser Arbeit untersuchen die Eignung des Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester zur Identifizierung relevanter Einflussparameter und wesentlicher Wechselwirkungen, sowie das Ableiten von Handlungsempfehlungen für geplante Nachverdichtungsvorhaben. Mithilfe einer qualitativen Methode zur Betrachtung komplexer Systeme werden Wechselwirkungen zwischen Nachverdichtung und Außenraum anhand des Sensitivitätsmodells untersucht. Die angewandte Methodik wird durch eine umfangreiche Literaturrecherche, sowie die Durchführung eines Expertenworkshops unterstützt. Neuartig ist der gewählte ganzheitliche Ansatz zur Analyse der beschriebenen Thematik.

Die gewählte Methodik erweist sich als geeignet, um wichtige Einflussparameter und Wechselwirkungen zu untersuchen und dient zugleich als Kommunikationsmittel aller Beteiligten. Für institutionelle Akteur:innen bietet die Kenntnis von Wechselwirkungen und Stellhebeln Chancen zur Integration positiv wirkender Maßnahmen in frühen Planungsphasen.

Die wichtigsten Einflussparameter hinsichtlich baulicher Nachverdichtung und Außenraum auf Quartiersebene sind: *Bauliche Dichte, Außenraum, Klimaschutz, Partizipation und Quartiersentwicklung* und *Wohnformen/Lebensstil*. *Bauliche Dichte und Außenraum* integrieren die zusätzlichen Variablen *Intensität der Bebauung, Nachverdichtung, Freiraumqualität* sowie *Grüne* und *Blaue Infrastruktur*. Insbesondere die eng mit den beiden Faktoren *Außenraum* und *Bauliche Dichte* verknüpften Parameter weisen starke Wechselwirkungen auf.

Die Modellanwendung zeigt, dass dieser systemische Ansatz erforderlich ist, um alle entscheidenden Einflussparameter in Entscheidungs- und Planungsprozesse mit einbeziehen zu können. Insbesondere *Außenraum* und *Bauliche Dichte* sollten als Stellhebel mit zahlreichen Wechselwirkungen zwischen Menschen, Bebauung und Klima berücksichtigt werden.

Abstract

In the context of climate change and its associated complex problems, rethinking the way complex issues are approached and dealt with is essential. Increasing urban sprawl and land sealing make cities particularly vulnerable to the adverse effects of climate change. Therefore, sustainable urban densification will play an important role in future urban development.

The presented hypotheses investigate the applicability of Prof. Vesters's sensitivity model for the identification of relevant influencing parameters and significant interactions, as well as the derivation of action recommendations for planned densification projects. Using a qualitative method for the consideration of complex systems, interactions between redensification and outdoor space are examined based on the sensitivity model. The applied methodology is supported by an extensive literature research and the realization of an expert workshop. The holistic approach to the analysis of the described topic is novel.

The chosen methodology is found to be suitable for investigating important influencing parameters and interactions, while at the same time serving as a communication tool for all stakeholders. For institutional actors, the knowledge of interactions and levers offers opportunities to integrate positive measures in early planning phases.

The most important influencing parameters regarding urban densification and outdoor space at the neighborhood level are: *building density*, *outdoor space*, *climate protection*, *participation and neighborhood development*, and *housing/lifestyle*. *Building density* and *outdoor space* integrate the additional variables of *intensity of development*, *densification*, *quality of open space*, as well as *green and blue infrastructure*. In particular, the parameters closely linked to the two factors *outdoor space* and *building density* show strong interactions.

The application of the model shows that this systemic approach is suitable to include all decisive influencing parameters in decision-making and planning processes. In particular, *outdoor space* and *building density* should be considered as levers with numerous interactions between people, buildings and climate.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
1. Einleitung	2
1.1. Zielsetzung, Forschungsfragen und Hypothesen.....	4
1.2. Aufbau und Methodik der Arbeit	5
2. Stand der Forschung und Grundlagen	8
2.1. Die Stadt als komplexes System	8
2.2. Nachhaltige Stadtentwicklung und Wechselwirkungen	9
2.2.1. Drei Leitbilder für eine nachhaltige Stadtentwicklung.....	9
2.2.2. Wechselwirkungen von Nachverdichtung und Außenraum im Kontext des Klimawandels	11
2.3. Grundlagen Nachverdichtung und Außenraum.....	13
2.3.1. Bauliche Nachverdichtung.....	13
2.3.2. Außenraum	14
2.4. Die Sensitivitätsanalyse als Methodik.....	15
2.4.1. Auswahl einer geeigneten Sensitivitätsanalyse	15
2.4.2. Eignung und Eigenschaften des Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester..	16
3. Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester	20
3.1. Systembeschreibung des Systems „Außenraum und bauliche Nachverdichtung auf Quartiersebene“	21
3.1.1. Vorgehen der Systembeschreibung	21
3.1.2. Systembeschreibung des Systems „Außenraum und bauliche Nachverdichtung auf Quartiersebene“	22
3.1.3. Evaluation Systembeschreibung	24
3.2. Die Einflussgrößen des Systems	24
3.2.1. Erstellung eines systemrelevanten Variablensatzes	24
3.2.2. Auswahl der Einflussvariablen.....	25
3.2.3. Evaluation Variablensatz	32
3.3. Kriterienmatrix – Prüfung auf Einseitigkeit und Vollständigkeit.....	33
3.3.1. 18 Systemkriterien der Kriterienmatrix.....	33
3.3.2. Anwendung und Evaluation der Kriterienmatrix	34
3.4. Bewertung der Wirkbeziehungen mittels Einflussmatrix und Expertenworkshop.....	35
3.4.1. Ausfüllen der Einflussmatrix	35
3.4.2. Expertenworkshop.....	37
3.4.3. Zusammenführen der Einflussmatrizen zu einer Konsensmatrix	39

3.4.4.	Feedback Expertenworkshop und Evaluation der Konsensmatrix	41
3.5.	Kybernetische Rollenverteilung	42
3.5.1.	Die Rollenverteilung und ihre Aussage.....	42
3.5.2.	Interpretation der kybernetischen Rollenverteilung.....	43
3.5.3.	Evaluation der Rollenverteilung	51
3.6.	Wirkungsgefüge aller Wechselwirkungen	51
3.6.1.	Aufstellen des Wirkungsgefüges	51
3.6.2.	Regelkreisanalyse und Methodik des Wirkungsgefüges.....	53
3.6.3.	Evaluation des Wirkungsgefüges	62
3.7.	Teilszenario und Simulation.....	63
3.7.1.	Teilszenarien entwickeln	63
3.7.2.	Teilszenario „Bauliche Dichte und Außenraum“.....	64
3.7.3.	Aufbau der Simulation zum Teilszenario	68
3.7.4.	Simulation des Teilszenarios „Bauliche Dichte und Außenraum“	72
3.7.5.	Anwendung der Simulationsergebnisse auf konkrete Fallbeispiele.....	87
3.7.6.	Evaluation des Teilszenarios und der Simulation	88
3.8.	Kybernetische Gesamtsystembewertung.....	89
4.	Diskussion	94
4.1.	Inhaltliche Ergebnisse	94
4.2.	Eignung und Anwendung des Sensitivitätsmodells.....	97
4.2.1.	Potenzial und Verbesserungsmöglichkeiten der Modellarbeitsschritte.....	98
4.2.2.	Modelleignung.....	100
4.2.3.	Anwendung des Modells	101
4.3.	Anwendungsgrenzen des Sensitivitätsmodells	103
5.	Fazit.....	105
6.	Ausblick	107
7.	Abbildungsverzeichnis	109
8.	Tabellenverzeichnis	111
9.	Literaturverzeichnis.....	112
10.	Anhangverzeichnis.....	117

Abkürzungsverzeichnis

A/V	Hüllfläche/Volumen
AS	Aktivsumme (horizontale Summe je Variable innerhalb der Einflussmatrix)
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
Größe H/B	Verhältnis von der Höhe der Bebauung zur Weite des angrenzenden Freiraums
GFZ	Grundflächenzahl
GRZ	Geschossflächenzahl
MIV	Motorisierter Individualverkehr
PET	Physiological Equivalent Temperature (Universeller Index für die biometeorologische Bewertung der thermischen Umgebung)
PS	Passivsumme (vertikale Summe je Variable innerhalb der Einflussmatrix)
P-Wert	Produkt aus AS und PS (je Variable innerhalb der Einflussmatrix)
Q-Wert	Quotient der AS und PS (je Variable innerhalb der Einflussmatrix)
SRI	Solar Reflectance Index (solare Reflexion und Abstrahlung)
SVF	Sky View Factor (Grad der Horizontüberhöhung; 0 = obere Himmelshälfte ist nicht sichtbar; 1 = obere Himmelshälfte ist sichtbar)
UHIE	Urban Heat Island Effect (Wärmeinseleffekt)
UTCI	Universal Thermal Climate Index (Index zur Bewertung der thermischen Bedingungen im Freien basierend auf Thermoregulation des Menschen nach dem Fiala-Modell)
ÖPNV	Öffentlicher Personen Nahverkehr

1. Einleitung

Die globale Klimaerwärmung wurde in den letzten Jahrzehnten immer deutlicher sichtbar. Extremwetterereignisse wie Kälte- und Hitzewellen, Trockenheit oder Starkregen mit einhergehenden Überflutungen nehmen zu (Umweltbundesamt, 2022a). Der starke Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre ist dabei eine der dominierenden Ursachen des Klimawandels. Die Auswirkungen des Klimawandels haben weitreichende Folgen für die zukünftigen Generationen, welche sich in vielfältigen, komplexen und grenzüberschreitenden Problemstellungen äußern. Da jedoch Denkparadigmen und institutionell gewachsene Strukturen zu quantitativen Herangehensweisen und der isolierten Betrachtung solcher Problematiken führen, werden Synergien der verschiedenen Bereiche vernachlässigt. Dies führt dazu, dass sich theoretisch entwickelte Nachhaltigkeitskonzepte in der Praxis oft nicht durchsetzen bzw. durchsetzen lassen. Ein Weg zu mehr Nachhaltigkeit bedarf eines ganzheitlichen Ansatzes, der Integration verschiedener Perspektiven, der Maximierung von Synergien und Minimierung von Kompromissen, einer Verbindung von sozial-ökologischen Systemen sowie der Verknüpfung von Politik, Theorie und Praxis (Maher et al., 2018).

Ein Umdenken im Umgang und der Herangehensweise komplexer Problemstellungen ist unabdingbar, doch dies ist nur mithilfe eines systemischen Ansatzes und einer Unterschreitung der planetaren Grenzen möglich. In dieser Arbeit wird die Stadt als komplexes System betrachtet (Anders, 2016, S. 82–98) und bildet mit dem Gebäudesektor als ein Teilsystem die Basis der zu untersuchenden Thematik. Das Zusammenspiel der baulichen Nachverdichtung und des Außenraums ist vielschichtig und erfordert eine ganzheitliche Betrachtungsweise, um frühzeitig Konflikte zu erkennen und diesen lösungsorientiert in der Planung begegnen zu können.

Der deutsche Gebäudesektor trägt mit etwa 14 Prozent CO₂-Emissionen deutlich zur Verstärkung des Treibhausgaseffekts bei. Unter Berücksichtigung der Emissionen zur Herstellung von Baustoffen und der gebäudebezogenen Strom- und Wärmeerzeugung verdoppeln sich die CO₂-Emissionen auf 28 Prozent. Der Grund dafür ist, dass die Emissionen den Industrie- und Energiewirtschaftssektoren zugerechnet werden (Website der Bundesregierung, 2022).

Die Bodenversiegelung hat negative Auswirkungen auf die Umwelt durch Bodenschädigung und gesteigerte Hochwasseranfälligkeit aufgrund der reduzierten Versickerungsmöglichkeiten. Obwohl die Flächenversiegelung im Schnitt von 129 ha am Tag in den Jahren 1997 bis 2000 bereits auf 54 ha pro Tag reduziert wurde, trägt sie nach wie vor zur Umweltbelastung und Nachhaltigkeitsproblematik bei (Umweltbundesamt, 2022b). Ein Großteil der Bodenversiegelung ist der Fläche für Siedlung und Verkehr zuzuschreiben. Durch die Zersiedelung steigt die quantitative Flächeninanspruchnahme, der Verkehrsanteil nimmt zu und der Anteil an unbebauter natürlicher Fläche wird immer geringer (Umweltbundesamt, 2022c).

Die bauliche Innenentwicklung soll die Ausweitung der Stadtgrenzen vermeiden und zum Schutz vor Flächenversiegelung durch Einhaltung des 30 ha-Ziels der Bundesregierung beitragen. Um die Folgen von Extremwetterereignissen einzudämmen sind Klimaanpassungsmaßnahmen im städtischen Raum notwendig. Eine Optimierungsmöglichkeit bietet das nachhaltige und klimaneutrale Bauen. Oft liegt der Fokus hier auf Neubauten. Doch auch die Nachverdichtung bestehender Quartiere bietet einen großen energetischen Vorteil, insbesondere die Einsparung von Grauer Energie und Treibhausgasemissionen wird in der Literatur genannt (Everding, 2017; Harter et al., 2017). Dabei bietet nicht nur die vertikale Nachverdichtung durch Aufstockung ein großes Einsparpotenzial, sondern auch die Errichtung von Neubauten in bestehenden Stadtquartieren ist energetisch vorteilhaft.

Der Außenraum stellt ein wichtiges Bindeglied zwischen den Menschen und der bebauten Stadtstruktur dar und kann bei qualitativer Umsetzung die Lebensqualität deutlich erhöhen. Die Qualität und Erhaltung von Grüner und Blauer Infrastruktur als wichtige Bestandteile des urbanen Außenraums spielen hinsichtlich der baulichen Nachverdichtung jedoch häufig eine untergeordnete Rolle. Grüne Infrastruktur bezeichnet den mit Pflanzen bewachsenen Freiraum wie Parks, Grünflächen und Wälder, als Blaue Infrastruktur werden alle fließenden und stehenden Gewässer bezeichnet. In Planungs- und Entscheidungsprozessen wird urbanes Grün oftmals immer weiter reduziert, trotz seiner bekannten Dringlichkeit für Mensch und Umwelt. Besonders in Bezug auf Klimaschutz und -anpassung hat die Freiraumentwicklung zukünftig eine hohe Bedeutung, denn Grüne Infrastruktur bietet vielfältige Ökosystemleistungen. Neben dem Erhalt städtischer Biodiversität, kühlt urbanes Grün durch Verdunstung und Verschattung, verstärkt die nächtliche Kaltluftproduktion und bildet Korridore für den Luftaustausch. Grünflächen können als Rad-/Fußwege genutzt werden, haben einen positiven Einfluss auf die

Gesundheit und eine hohe soziale Bedeutung als Räume für Aufenthalt und Begegnung. (Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2014; Bundesministerium für Umwelt et al., 2017, S. 16–19; Umweltbundesamt, 2017a)

Auf gesamtstädtischer, wie auch quartiersbezogener Ebene bilden Handlungsempfehlungen und Leitbilder zur Innen- und Freiraumentwicklung eine wesentliche Grundlage für die konzeptionelle Planung. Das Leitbild der doppelten Innenentwicklung vereint Bedarf und Schaffung von Bauflächen innerhalb bestehender Siedlungsstrukturen und die gleichzeitige Entwicklung städtischer Grün- und Freiräume. Dabei spielt unter anderem die multifunktionale Flächennutzung eine essenzielle Rolle. Solche komplexen und symbiotischen Nachverdichtungsprozesse bringen verschiedene Zielvorhaben und Akteure zusammen, was schnell zu Konflikten führen kann. Mithilfe des in dieser Arbeit angewandten systemischen Ansatzes sollen frühzeitig solche Zieldivergenzen erkannt und in integrierten Planungsprozessen Lösungen gefunden werden.

1.1. Zielsetzung, Forschungsfragen und Hypothesen

Ziel dieser Masterthesis ist durch eine komplexe und ganzheitliche Herangehensweise einen Weg zu mehr Nachhaltigkeit zu erlangen. Dies ist die Grundlage, um Städte effizienter und ressourcenschonender zu gestalten und dadurch die Lebensgrundlage zukünftiger Generationen zu sichern. Durch eine gezielte doppelte Innenentwicklung soll der Außenraumkomfort im innerstädtischen Raum verbessert und die Zersiedelung an den Stadtgrenzen verringert werden. Die Kenntnis von Wechselwirkungen und Stellhebeln bei geplanten Nachverdichtungsprojekten bietet die Chance, positiv wirkende Maßnahmen in frühen Planungsphasen zu integrieren. Die Hypothesen der Masterthesis lauten:

Hypothese 1: Die Anwendung des Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester im komplexen System „bauliche Nachverdichtung und Außenraum“ ermöglicht die Identifikation und Analyse der wesentlichen Einflussparameter auf das System und deren systemische Wechselwirkungen.

Hypothese 2: Die Kenntnis der wichtigsten Einflussparameter und des Systemverhaltens ermöglicht die Ableitung von Handlungsempfehlungen für geplante Nachverdichtungsprojekte.

Eine Konkretisierung der Hypothesen erfolgt durch die Forschungsfragen:

F1: Ist die Methodik des Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester geeignet, um Wechselwirkungen zwischen Variablen der baulichen Nachverdichtung und dem Außenraum in frühen Planungsphasen zu untersuchen?

F2: Was sind die relevanten Einflussparameter hinsichtlich des Systemverhaltens in Bezug auf bauliche Nachverdichtung und Außenraum auf Quartiersebene?

F3: In welchen Beziehungen stehen die Einflussparameter zueinander und welche Wirkungsketten sind wesentlich für die bauliche Nachverdichtung?

1.2. Aufbau und Methodik der Arbeit

Zunächst wird der Stand der Forschung und die Grundlagen zu Außenraum und Nachverdichtung beschrieben (s. Kapitel 2). Die Stadt als ein komplexes System steht im Mittelpunkt der Betrachtung. Drei Leitbilder der nachhaltigen Stadtentwicklung sollen einen Einblick in mögliche alternative Stadtmodelle geben. Die wesentlichen Wechselwirkungen zwischen bebauter Stadtstruktur, Außenraum, den Bewohner:innen und Nutzer:innen werden in Bezug auf die Klimarelevanz zusammengefasst. Die Wahl einer geeigneten Sensitivitätsanalyse als Methodik stellt einen wichtigen Schritt dar. Neben dem systemischen Ansatz hat das ausgewählte Sensitivitätsmodell eine ganzheitliche und strukturierte Herangehensweise.

Die Anwendung des Sensitivitätsmodells (s. Kapitel 3) bildet den Hauptteil der Arbeit und ist untergliedert in die einzelnen Arbeitsschritte des Modells. Eine Übersicht zum allgemeinen Vorgehen ist in Abbildung 1 dargestellt. Jeder Arbeitsschritt des Sensitivitätsmodells besteht aus einer kurzen Beschreibung der optimalen Umsetzung, der konkreten Anwendung des Modells und den erzielten Ergebnissen. Abschließend erfolgt eine kurze Evaluation. Die Grundlage des Modells bilden die ersten drei Arbeitsschritte, wobei sich die wesentlichen Inhalte hierfür aus einer umfangreichen Literaturrecherche ergeben, die unter dem Gliederungspunkt „Stand der Forschung“ beschrieben ist. Ein Expertenworkshop dient zur Bewertung der Wirkungsstärke zwischen den einzelnen Einflussparametern und gibt Aufschluss über deren Rollenverteilung und Variablencharakter im Gesamtsystem. Die Wechselwirkungen werden durch ein Wirkungsgefüge

dargestellt (s. Kapitel 3.6). Konkrete Fragestellungen können durch thematisch spezifizierte Teilszenarien und einer unterstützenden Simulation (s. Kapitel 3.7) beantwortet werden. Die Simulation bildet die Dynamik des Systemverhaltens ab und verschiedene Simulationsszenarien, auch Policy-Tests genannt, dienen zur Entwicklung von Maßnahmen.

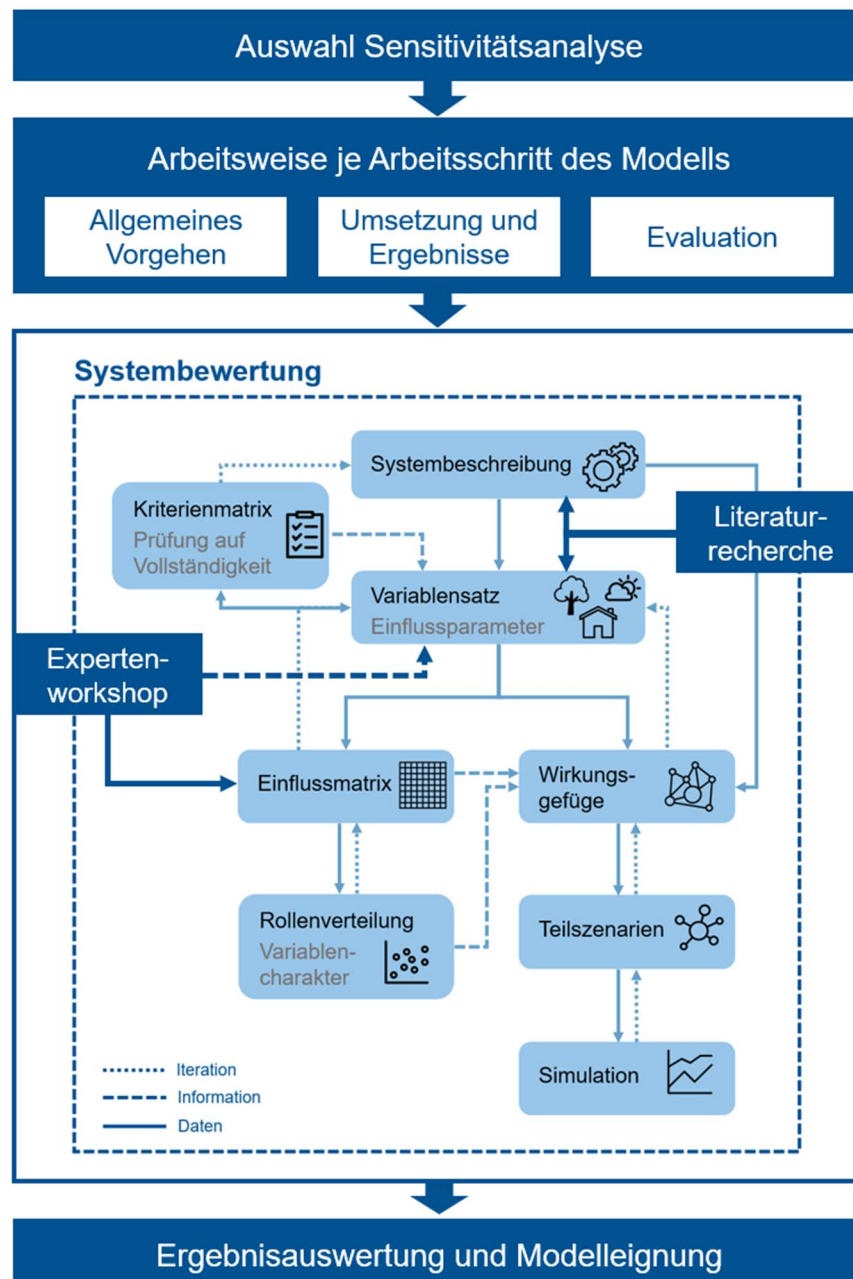


Abbildung 1: Allgemeines Vorgehen

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden in Kapitel 4 zusammengefasst und bewertet. Neben relevanten Einflussparametern und wesentlichen Wechselwirkungen zwischen Nachverdichtung und Außenraum wird die Modelleignung und -anwendung diskutiert und es werden die Schwierigkeiten des Modells aufgezeigt. Den Abschluss bildet ein Fazit aufgrund dessen im Ausblick künftige Arbeits- und Forschungsmöglichkeiten vorgestellt werden.

2. Stand der Forschung und Grundlagen

Der Stand der Forschung soll eine Einordnung der maßgeblichen Kernbegriffe und Aussagen der zu Beginn der Arbeit aufgestellten Hypothesen darstellen. Als komplexes System steht die Stadt im Mittelpunkt der Betrachtung. Einige wesentliche Wechselwirkungen der baulichen Nachverdichtung und des Außenraums werden im Kontext des Klimawandels beschrieben. Die gewählte Methodik nach Vester ermöglicht die Identifikation zentraler Einflussparameter, deren Kenntnis die Ableitung von Handlungsempfehlungen ermöglicht.

2.1. Die Stadt als komplexes System

Im Grunde besteht die Welt aus Systemen: Soziale, ökologische, technische und offene bzw. geschlossene, um nur einige zu nennen. Systeme setzen sich aus vielen Einzelteilen zusammen, die alle miteinander verknüpft und in gegenseitigen Wechselwirkungen zueinander stehen. Im Rahmen der ökosystemischen Betrachtungsweise wird die Funktion der Stadt als Ganzes betrachtet. Durch die Vielzahl an Einflusskomponenten wie beispielsweise Mobilität, Menschen, Gebäude, Grüne und Blaue Infrastruktur etc. kann die Stadt als offenes, komplexes und hochverdichtetes System betrachtet werden. Offene Systeme definieren sich durch den Austausch und die Wirkungsbeeinflussung über ihre Systemgrenzen hinweg.

Für eine bessere Übersichtlichkeit kann ein System in einzelne Teilsysteme untergliedert werden. Die Stadt ist unterteilt in technisch-anthropogene und natürliche Teilsysteme. Die einzelnen Komponenten der Teilsysteme können zusätzlich noch in Untersysteme aufgeteilt werden, welche durch Stoff- oder Energieströme verbunden sind. Natürliche Systeme haben eine funktionierende Kreislaufwirtschaft, technische Systeme hingegen wurden durch die Menschen geschaffen und erzeugen eine Menge nicht recyclebaren Mülls. Eine eigenständige Regeneration ist bisher nicht möglich und verstärkt die aktuelle Nachhaltigkeitsproblematik. Für eine nachhaltige Stadtentwicklung ist zukünftig das Ziel, natürliche und technische Systeme stärker miteinander zu verknüpfen, um dadurch Energie-, Ressourcen- und Abfallströme zu erhalten und wiederherzustellen. (Anders, 2016, S. 82–92)

Die Basis einer ganzheitlichen komplexen Betrachtungsweise bildet die allgemeine Systemtheorie aus den 1940er Jahren. Um Prozesse zu optimieren werden alle systemrelevanten Faktoren und ihre Zusammenhänge im Hinblick auf Struktur, Funktion sowie zeitlichem Verhalten analysiert. Jay W. Forrester war der erste, der die Stadt als dynamisches System betrachtete. Er ist zudem der Gründer des System Dynamics Ansatzes, einer Methode die Zusammenhänge und Wechselwirkungen komplexer dynamischer Systeme untersucht (s. Kapitel 2.4.1). (Anders, 2016, S. 92–98; J. W. Forrester, 1969; J. Forrester, 1995)

Stephan Anders, 2016 untersucht in seinem Buch „Stadt als System“ die komplexen Wechselwirkungen einer nachhaltigen Quartiersentwicklung mithilfe einer systematischen Analyse. Die entwickelte Methode soll ganzheitlichen Analysen von Planungskonzepten in frühen Entwicklungsstadien dienen. Die Berücksichtigung aller Beteiligten steigert – nach seiner Einschätzung – die Akzeptanz bezüglich der Planungsmaßnahmen und beugt Konflikte im Planungsprozess vor. Die ganzheitliche Betrachtungsweise der Stadt ist notwendig, um die Komplexität des Systems zu verstehen. Die Veränderung eines Parameters, wie beispielsweise dem Stadtgrün, hat vielseitige Auswirkung auf andere Parameter, wie das Mikroklima oder die Aufenthaltsqualität, und somit einen Einfluss auf das Gesamtsystem. Die Betrachtungsweise der Stadt als komplexes System wird durch Saleh und Al-Hagla, 2012 sowie das Umweltbundesamt, 2017 bestätigt. Saleh und Al-Hagla beschreiben das Stadtgefüge als selbstorganisiertes System mit großer Komplexität und einer Vielzahl von Wechselwirkungen. Das Umweltbundesamt hebt hervor, dass die unterschiedliche aber dennoch oft eng vernetzte Infrastruktur in Städten das urbane Leben ermöglicht und ausmacht. Die Stadt als komplexes System wurde bisher im Vergleich zu anderen Disziplinen wie der Ökologie oder Betriebswirtschaft wenig hinsichtlich systemischer Zusammenhänge untersucht und erfasst.

2.2. Nachhaltige Stadtentwicklung und Wechselwirkungen

2.2.1. Drei Leitbilder für eine nachhaltige Stadtentwicklung

Die drei im Folgenden zu betrachtenden Leitbilder sollen die Entwicklung einer lebenswerten Stadt in der Zukunft fördern. Durch eine flächensparende, energieeffiziente und soziale Stadtentwicklung soll Konflikten durch die Folgen des Klimawandels begegnet werden. Im Mittelpunkt steht die „Kompakte Stadt“ mit den Hauptmerkmalen „Dichte“

und „Mischung“. Sie wird durch das Leitbild der „Stadt der kurzen Wege“ (Umweltbundesamt, 2017b, S. 11) und der „Doppelten Innenentwicklung“ (Bott et al., 2018, S. 38) unterstützt.

Kompakte Stadt

Die wesentlichen Prinzipien der „Kompakten Stadt“ sind eine höhere Dichte, eine Mischung städtebaulicher Nutzungen und eine zentrumsorientierte Entwicklung. Dadurch soll der öffentliche und nicht motorisierte Individualverkehr gestärkt, Naturflächen geschützt und soziale Segregation vermieden werden. Im Vergleich zu „suburbanen und ländlichen Gebieten mit niedriger Dichte und disperser Siedlungsstruktur“ (Bott et al., 2018, S. 38) sind die monetären Pro-Kopf-Kosten für Infrastruktur in der „Kompakten Stadt“ deutlich geringer. Dennoch birgt das Leitbild auch Gefahren, wie eine Verringerung der lokalen Lebens- und Umweltqualität und eine geringere Akzeptanz der Bevölkerung durch die hohe Dichte. Die Kompakte Stadt als Leitbild wird für europäische Großstädte mit stagnierendem oder schrumpfendem Bevölkerungswachstum empfohlen. Für schnell wachsende Metropolen in Entwicklungs- und Schwellenländern ist eine gesteuerte Außenentwicklung von Vorteil, um unzureichende soziale oder ökologische Folgen zu vermeiden. (Bott et al., 2018, S. 38; Lehmann, 2017; Umweltbundesamt, 2017a)

Stadt der kurzen Wege

Die Nutzungsmischung bildet die Basis des Leitbildes der „Stadt der kurzen Wege“. Dabei wird eine funktionelle Durchmischung von Wohnen, Arbeiten, Versorgen und Erholen angestrebt. Durch die kurzen Wege werden Rad- und Fußverkehr gestärkt. Die durchschnittliche Weglänge ist mit 8 km pro Weg bzw. 28 km pro Person und Tag rund ein Viertel kürzer als der heutige Durchschnitt. Eine Verringerung des motorisierten Individualverkehrs schafft zusätzliche innerstädtische Flächen, die zuvor als Park- oder Straßenraum dienten und reduziert die Luft- und Lärmemissionen. Eine kompakte und hochwertige Bebauung erhöht die Dichte und vereint somit verschiedene Modelle und Zielvorstellungen des Städtebaus. Das Leitbild bietet den Bewohner:innen einen höheren Komfort, Flexibilität, monetäre Kosten- und Zeitersparnis im alltäglichen Leben. (Umweltbundesamt, 2017a, 2017b; Zeitler, 2004)

Doppelte Innenentwicklung

Das Leitbild der „Doppelten Innenentwicklung“ vereint Bedarf und Schaffung von Bauflächen innerhalb bestehender Siedlungsstrukturen und die gleichzeitige Entwicklung und Qualifizierung städtischer Grün- und Freiräume. Nachverdichtungsmaßnahmen und Brachflächenrecycling sind Konzepte, die zu einer multifunktionalen Flächennutzung beitragen. Somit stellt die „Doppelte Innenentwicklung“ eine Schnittstelle zwischen Städtebau, Freiraumplanung, Natur- und Klimaschutz dar und qualifiziert das Prinzip der „Innen- vor Außenentwicklung“. (Bott et al., 2018, S. 38; Klemme, 2019; Penn-Bressel; Riechel, 2021; Umweltbundesamt, 2017a)

Das Leitbild der „Doppelten Innenentwicklung“ ist eine Weiterentwicklung der „kompakten Stadt der kurzen Wege“. Die Vielfalt, der sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren bekräftigt, dass Städte als komplexe Systeme zu betrachten sind (vgl. Kapitel 0). Ziel ist eine Reduktion der Klima- und Umweltbelastung bei gleichzeitiger Erhöhung der urbanen Lebensqualität. Die „Stadt für morgen“ als Vision des Umweltbundesamtes wird als „Umweltschonend mobil – lärmarm – grün – kompakt - durchmischt“ beschrieben und vereint die beschriebenen Leitbilder und ergänzt das Konzept der Zukunftsstadt durch weitere Maßnahmen. (Umweltbundesamt, 2017a)

2.2.2. Wechselwirkungen von Nachverdichtung und Außenraum im Kontext des Klimawandels

Außenraum und bauliche Nachverdichtung als wesentliche Komponenten der Stadtentwicklung stehen in einem komplexen Zusammenspiel. In diesem Kapitel sollen einige zentrale Wechselwirkungen aufgezeigt werden. Die beiden Themenfelder müssen im Kontext des Klimawandels betrachtet werden, da die Veränderung der klimatischen Bedingungen neue Anforderungen an zukünftigen Städte stellt. Insbesondere Extremwetterereignisse wie Hitzewellen, Trockenheit, Starkregen und Überschwemmungen haben negative lokale Konsequenzen. Mithilfe von Grün- und Freiflächen kann die städtische Resilienz verbessert werden. Nachverdichtungsprozesse erhöhen die bauliche Dichte und den Versiegelungsgrad, wodurch sich direkte und indirekte Auswirkungen auf ökologische, ökonomische und soziale Aspekte innerhalb der Stadt ergeben. Bauliche Dichte erzeugt Vielfalt und Urbanität, kann aber auch Stress hervorrufen.

Außerdem hat die städtebauliche Verdichtung Auswirkungen auf das Mikroklima. Durch veränderte Windströmungsverhältnisse kann es zu mangelnder Belüftung und einer erhöhten Schadstoffbelastung kommen. In Kombination mit einer Erhöhung des Versiegelungsgrades steigt die thermische Belastung und begünstigt den städtischen Wärmeineffekt. Zusätzliche Flächenversiegelung senkt den Versickerungsgrad, wodurch es bei starken Regenfällen zu Überflutungen in Stadtgebieten kommen kann. Zudem wird der Wasserkreislauf beeinflusst, indem die Grundwasserneubildung stark zurück geht (Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung - Problematik, 2022). Hohe und dichte Gebäudekubaturen verstärken die Verschattung, was einen Verlust von Tageslicht zur Folge haben kann, sich aber zugleich positiv auf den Kühlungseffekt tagsüber auswirkt. Die Oberflächengestaltung von Gebäude- und Freiflächen kann – beispielsweise durch Begrünungsmaßnahmen oder die Erhöhung des Albedo-Effekts – den Energie- und Kühlbedarf der Gebäude und das Mikroklima maßgeblich beeinflussen. Nachverdichtungsprozesse bringen verschiedene Zielvorhaben und Beteiligte zusammen, was zu Ziel- und Interessenskonflikten führen kann. Eine frühzeitige Information und Beteiligung der Bevölkerung verbessert die Akzeptanz der Maßnahmen. Konfliktpotenzial entsteht außerdem insbesondere durch Nutzungskonkurrenz, Verlust von Privatsphäre, Beeinträchtigung der Lebensqualität durch eine verstärkte Verkehrs- und Lärmbelastung, Gentrifizierungsprozesse und die Veränderung des (historischen) Stadtbildes.

Nachverdichtungsprozesse bieten großes Potenzial. Durch das Entgegenwirken von Zersiedelung können Lebensräume erhalten werden und verkehrliche Emissionen durch kürzere Wege reduziert werden. Die kompakte Siedlungsstruktur ermöglicht eine effizientere Nutzung von Ressourcen und Infrastruktur. Geschlossene und ausreichend hohe Gebäudestrukturen schaffen ruhige Wohnbereiche und schützen vor Lärm. Die Bestandsentwicklung und -qualifizierung geht oftmals mit einer Sanierung einher, welche sich positiv auf die Energieeffizienz der Gebäude sowie die qualitative Aufwertung des Außenraums als Freizeit- und Erholungsfläche auswirkt. Urbanes Grün und Wasserflächen haben einen positiven Einfluss auf die physische und psychische Gesundheit und das Wohlbefinden der Nutzer:innen. Die Steigerung urbaner Aufenthaltsqualität führt zu einer Verbesserung der sozialen Interaktion und Erlebnisdichte in der Stadt. Entscheidend ist die Berücksichtigung lokaler und kontextspezifischer Anforderungen um die Potenziale, die sich durch Nachverdichtungsmaßnahmen ergeben, maximal auszunutzen.

Die gezielte Steuerung der Nachverdichtung in Kombination mit innovativen Gestaltungslösungen ermöglicht eine nachhaltige Stadtentwicklung im Kontext des Klimawandels. Integrierte Stadtentwicklungskonzepte, gesamtstädtische Nachverdichtungsstrategien und eine vorausschauende Bodenpolitik sind strategische Planungsinstrumente, um negative mikroklimatische Auswirkungen zu vermeiden und Synergien zu stärken. (Adrian et al., 2018; Ali-Toudert & Ji, 2017; Artmann et al., 2019; Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2014, S. 5–22; Bundesministerium für Umwelt et al., 2017; Fatone et al., 2012; Hagen et al., 2010; Klemm et al., 2015; Klemme, 2019; Lehmann, 2017; Loibl et al., 2021; Matzig, 2017; Penn-Bressel; Riechel, 2021; Saphörster, 2007; Tiitu et al., 2018; Umweltbundesamt, 2017a, S. 16, 2017b, S. 8)

2.3. Grundlagen Nachverdichtung und Außenraum

2.3.1. Bauliche Nachverdichtung

Bauliche Nachverdichtung, auch bekannt als Innenentwicklung, beschreibt „die bauliche Nutzung bisher unbebauter oder ungenutzter Flächen innerhalb einer bereits bestehenden Bebauung“ (Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2014). Nachverdichtung umfasst die Erweiterung, Ergänzung oder den Umbau des baulichen Bestands innerhalb der Stadt und dient als Maßnahme der Bestandsentwicklung und -qualifizierung. Die verschiedenen Nachverdichtungsansätze (s. Abbildung 2) werden im Folgenden kurz beschrieben. Die Aufstockung umfasst den Aufbau bestehender Gebäude um weitere Vollgeschosse oder den Ausbau bestehender Dachräume. Ein Anbau beschreibt den Neubau eines Gebäudes an ein bereits bestehendes Gebäude. Die Schließung von Lücken in bestehender Blockrandbebauung und die nachträgliche Bebauung von Flächen innerhalb der Blockbebauung wird als Verdichtung im Blockinnenbereich bezeichnet. Die Konversion bezeichnet eine Umnutzung von Brachflächen, die ursprünglich gewerblich, verkehrlich oder militärisch genutzt wurden. Umstrukturierung ist die Neuordnung von baulichem Bestand durch Neubau oder Abriss. (Blome & Tichelmann, 2019; Bott et al., 2018, S. 38; Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2014)

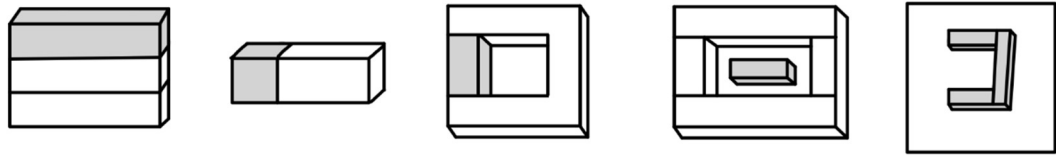


Abbildung 2: Nachverdichtungsarten (von links nach rechts): Aufstockung, Anbau, Schließung des Blockrandes, Verdichtung im Blockinnenbereich, Konversion (Eigene Darstellung vgl. (Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2014))

Die bauliche Nachverdichtung soll die Ausweitung der Stadtgrenzen vermeiden und zum Schutz vor Flächenversiegelung durch Einhaltung des 30 ha-Ziels der Bundesregierung beitragen. Das im Baugesetzbuch verankerte Prinzip der „Innen- vor Außenentwicklung“ soll im Rahmen der städtebaulichen Entwicklung, Maßnahmen der Innenentwicklung priorisieren (Baugesetzbuch, 1960). Für eine wirkungsvolle und erfolgreiche Nachverdichtung ist die Berücksichtigung der lokalen und kontextspezifischen Begebenheiten wichtig. Entscheidende Faktoren sind das lokale Klima, Dichte und Bebauung, Versiegelungsgrad, Nutzungsstrukturen und lokale und regionale Voraussetzungen wie Traditionen oder auch vorhandene Baumaterialien. Hier spielen wiederum die in Kapitel 2.2.2 erwähnten Potenziale und Auswirkungen baulicher Nachverdichtung eine Rolle.

2.3.2. Außenraum

Außenraum kann unterschiedlich definiert werden. Zum einen handelt es sich um einen „Bereich, der sich außerhalb von etwas Geschlossenem befindet“ (wortbedeutung.info, 2022), zum anderen wird er als „ein von verschiedenartigen Baukörpern begrenztes städtebauliches Gefüge“ (Gestaltung in Der Architektur: Raum, 2022) bezeichnet. In dieser Arbeit wird unter Außenraum die unbebaute Fläche innerhalb der Stadt, sowie Dach- und Fassadenflächen von Gebäuden verstanden. Der Freiraum umfasst alle Arten der Grünen und Blauen Infrastruktur wie Parks, Gärten und Flüsse, sowie versiegelte Fläche, die Plätze, Park- und Verkehrsflächen kennzeichnet.

Der städtische Außenraum erfüllt verschiedene Funktionen, die in drei Gruppen gegliedert werden können. Grüne und Blaue Infrastruktur stehen im Mittelpunkt der umweltrelevanten und ökologischen Funktionen des Außenraums. Grün- und Wasserflächen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Verbesserung des Mikroklimas, dienen als Lebensraum für Tiere und Pflanzen, tragen zum Erhalt der Biodiversität bei, reduzieren

städtischen Lärm und beeinflussen den Wasserkreislauf. Der Außenraum dient als Raum für Begegnung und zur Förderung des sozialen Miteinanders. Neben Freizeit- und Erholungsaktivitäten hat begrünter innerstädtischer Freiraum auch einen positiven Einfluss auf die physische und psychische Gesundheit der dort lebenden Menschen. Die Interaktion von Freifläche und Bebauung ist individuell und hat einen wesentlichen Einfluss auf die Identitätsschaffung eines Ortes. Abstand und Lage sowie der Zugang und die Komposition von Baukörpern sind entscheidend für die Atmosphäre und den Raumeindruck. Zudem können Gebiete innerhalb der Stadt durch die baulichen Begebenheiten eingeteilt oder verbunden werden.

Neben einer Erweiterung des Lebensraums für Freizeit und Erholung stellt der Freiraum eine wichtige soziale Schnittstelle dar. Die Außenraumqualität wird bestimmt durch Verfügbar- und Erreichbarkeit, Aufenthaltsqualität und Mitgestaltungsmöglichkeiten. (Gander, 2015; Gestaltung in Der Architektur: Raum, 2022; Hagen et al., 2010; Meyer, 2003b; wortbedeutung.info, 2022)

2.4. Die Sensitivitätsanalyse als Methodik

2.4.1. Auswahl einer geeigneten Sensitivitätsanalyse

Zur Untersuchung der beschriebenen Komplexität im urbanen Raum wird die Sensitivitätsanalyse als Methode gewählt. Im Allgemeinen befasst sich die Sensitivitätsanalyse mit der Struktur und Dynamik von komplexen Systemen. Sie beschreibt die Empfindsamkeit eines komplexen Systems, welche die inneren und äußeren Einflüsse sowie die Änderungen dieser Parameter berücksichtigt. Auf diese Weise können Unsicherheiten eines Modells ermittelt und das Zusammenwirken einzelner Parameter anschaulich dargestellt werden. Mit steigender Anzahl relevanter Einflussparameter wächst die Systemkomplexität. Der Begriff Sensitivitätsanalyse hat seinen Ursprung in der Wirtschaftswissenschaft und ist auch bekannt unter Synonymen wie Sensibilitätsanalyse oder Empfindlichkeitsanalyse. Die Auswahl des richtigen Sensitivitätsanalyseverfahrens ist aufgrund verschiedener Ausprägung – wie das quantitative oder das qualitative Verfahren – von Bedeutung. (Hörz et al., 2016, S. 190; Kausche, 2017; Wikipedia, 2022)

Zu Beginn des Arbeitsprozesses dieser Thesis wurden verschiedene Sensitivitätsanalysen vgl. Frey und Patil (Frey & R. Patil, 2002) verglichen (s. Anhang E). Die Betrachtung

tungsweise der Stadt als komplexes System bedingt die Notwendigkeit eines systemischen Ansatzes. Die Arbeiten von Wulfhorst, 2003, Hafner, 2011 und Anders, 2016 verwenden das Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester zur systemischen Untersuchung ihrer Fragestellung. Dies stellt das Modell nach Vester als geeignete Methodik heraus. Wulfhorst, 2003 vergleicht den System Dynamics Ansatz von Forrester, 1969 mit dem Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester (Vester, 1991, 2015) und erforscht die „Flächennutzung und Verkehrsverknüpfung an Personenbahnhöfen“. Hafner, 2011 untersucht die Wechselwirkungen zwischen Nachhaltigkeit und (Bau-) Qualität und Anders, 2016 die Stadt als komplexes System (s. Kapitel 2.1) mit dem Sensitivitätsmodell nach Vester. Einen weiteren systemischen Ansatz zur Untersuchung des Zusammenspiels von Wirkungen stellt Maher, 2018 mit MetaMap, einem interaktiven grafischen Tool das aus dem Design Approach Ansatz entwickelt wurde vor.

In dieser Arbeit soll überprüft werden, ob sich das Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester durch die ganzheitliche und vernetzte Denkweise, als Methode zur Untersuchung der gegebenen Fragestellung geeignet. Durch die systemorientierte Herangehensweise wird die vorhandene Komplexität berücksichtigt und das Modell bleibt inhaltlich klar strukturiert. Die Verbindung zwischen den systemrelevanten Einflussparametern wird mittels der qualitativen Fuzzy Logic beschrieben, nicht mit gewohnten quantitativen Formeln. Der Vorteil der qualitativen Betrachtung liegt darin, dass selbst komplexe Systeme mit unzähligen Parametern durch die Vereinfachung übersichtlich bleiben. Vesters Methodik besteht aus neun Arbeitsschritten und basiert auf dem Grundprinzip der Kybernetik. Das eigens entwickelte Computerprogramm von Vester unterstützt bei der Bearbeitung der einzelnen Vorgehensschritte. (Anders, 2016, S. 100–114; Hafner, 2011, S. 50; Vester, 2015; Wulfhorst, 2003, S. 54–60)

2.4.2. Eignung und Eigenschaften des Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester

Wie bereits erwähnt, basiert das Sensitivitätsmodell von Prof. Vester auf dem Prinzip der Kybernetik und befasst sich mit dynamischen komplexen Systemen. „Kybernetes“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet „Steuermann“. Die Kybernetik befasst sich mit der Regelung und Steuerung dynamischer Systeme bei minimalem Energieaufwand. Durch das Erkennen komplexer und vernetzter Zusammenhänge sollen systematisch wirksame Hebelpunkte identifiziert werden. (BWL-Lexikon.de, 2020; Hafner, 2011, S. 46; Prof. Dr. Eberhard Feess, 2018; Vester, 2015, S. 110–124)

Komplexe Systeme sind kontraintuitiv, was bedeutet, dass sie nicht durch logisches Denken oder den gesunden Menschenverstand in ihrer Ganzheitlichkeit verstanden werden können. Sie enthalten unerwartete Stellschrauben und verhalten sich bei der Veränderung vieler Parameter unempfindlich. Zugleich können kleine Störungen bereits einen großen Einfluss auf das Gesamtsystem haben. Eine weitere Eigenschaft ist der qualitative Charakter und die unterschiedliche oder sogar gegensätzliche Auswirkung einer Veränderung im System bei kurz- versus langfristiger Betrachtung. Typische Fehler im Umgang mit komplexen Systemen und quantitativen Herangehensweisen sind das Lösen von Einzelproblemen und falsche Schwerpunktbildung durch eine fehlende ganzheitliche Systembetrachtung. Nebenwirkungen bleiben durch linear-kausales Denken unbeachtet, Rückwirkungen werden durch kurzfristig starkes Eingreifen und Zeitverzögerungen falsch interpretiert und „Daten Overload“ führt oftmals aufgrund von fehlenden Ordnungsprinzipien zu einer unzureichenden Datenauswertung. (Anders, 2016, S. 95; Vester, 2015, S. 26–36)

Stadtgefüge sind als hochverdichtete komplexe offene Systeme mit einer Vielzahl von Wechselwirkungen zu betrachten (Anders, 2016, S. 42; Saleh & Al-Hagla, 2012; Umweltbundesamt, 2017a, S. 42). Die in dieser Arbeit untersuchten Wechselwirkungen zwischen baulicher Nachverdichtung und Außenraum werden im städtischen Kontext betrachtet. Die sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren können nicht isoliert voneinander untersucht werden. Mithilfe des Sensitivitätsmodells lassen sich durch die strukturierte Vorgehensweise gegenseitige Abhängigkeiten, Rückwirkungen und Wechselwirkungen erkennen. Die ganzheitliche, iterative und interaktive Herangehensweise lässt frühzeitig Konflikte oder Zieldivergenzen erkennen und in integrierten Planungsprozessen Lösungen finden. Das Modell ist geeignet für frühe Planungsphasen und soll durch die Beteiligung aller relevanter Akteure die Akzeptanz steigern. (Anders, 2016, S. 99; Vester, 2015, S. 26–36; Wulfhorst, 2003, S. 65)

Die Methodik des Sensitivitätsmodells wird anhand der neun rekursiven Arbeitsschritte beschrieben:

1. Systembeschreibung (inkl. Festlegung der Systemgrenzen)
2. Erstellung eines systemrelevanten Variablensatzes
3. Kriterienmatrix (Prüfung der Variablen auf Systemrelevanz)

4. Einflussmatrix (Wirkungsbewertung der Variablen)
5. Rollenverteilung (Bestimmung der Variablenrolle im System)
6. Wirkungsgefüge (Untersuchung der Gesamtvernetzung)
7. Teilszenarien (Kybernetik einzelner Szenarien)
8. Simulation von Teilszenarien (Policy-Tests, Systemverhalten)
9. Kybernetische Gesamtbewertung

Die einzelnen Arbeitsschritte werden in Kapitel 3 detailliert erklärt und auf das in dieser Arbeit untersuchte System „Außenraum und bauliche Nachverdichtung auf Quartiers-ebene“ angewandt. Durch die iterative Arbeitsweise wird jeder bereits bearbeitete Arbeitsschritt immer wieder aktualisiert, korrigiert und optimiert. Dabei sind alle Arbeitsschritte untereinander vernetzt (s. Abbildung 3). Einige Arbeitsschritte bauen aufeinander auf, andere existieren parallel und ermöglichen eine neue Sichtweise auf die betrachtete Problemstellung oder dienen zur Überprüfung des bereits erarbeiteten Inhalts.

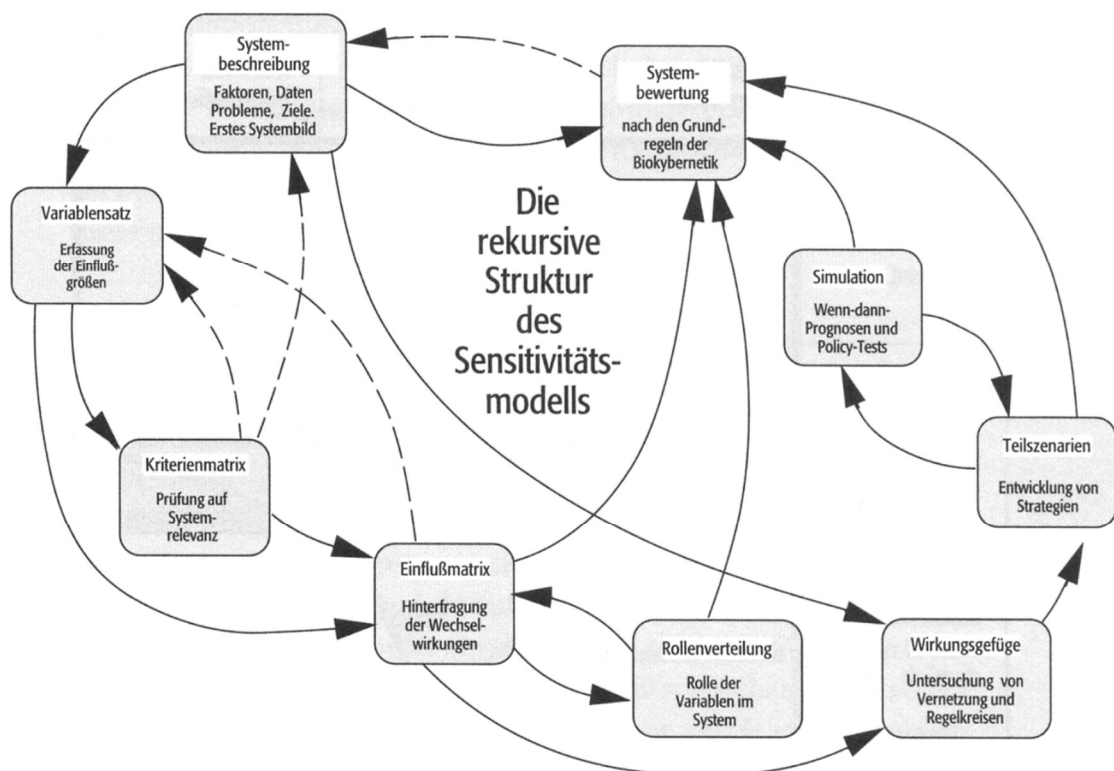


Abbildung 3: Struktur und Ablauf des Sensitivitätsmodells (Vester, 2015, S. 199)

Die Systembeschreibung und der Variablensatz mit allen relevanten Einflussparametern bilden die Grundlage des Modells. Die Kriterienmatrix überprüft den Variablensatz auf Vollständigkeit und dient als Hilfestellung bei der gesamtkybernetischen Bewertung des Systems. Die Rollenverteilung ergibt sich als direktes Ergebnis der Einflussmatrix und die Teilszenarien werden auf Basis des Wirkungsgefüges entwickelt. Einflussmatrix und Wirkungsgefüge werden hingegen weitestgehend getrennt voneinander bearbeitet. Beide Arbeitsschritte befassen sich mit den im System vorhandenen Wirkungen und dienen aufgrund verschiedener Herangehensweisen der ganzheitlichen Bearbeitung. Die Simulation ist optional, aber sehr hilfreich, da sie die recht komplexen Ergebnisse in den realen Kontext überführt. Mit der gesamtkybernetischen Systembewertung werden alle Arbeitsschritte verknüpft und über den gesamten Bearbeitungsprozess hinweg hinsichtlich technokratischer oder biokybernetischer Ausprägungen bewertet. (Vester, 2016, S. 185–255)

3. Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester

Dieses Kapitel beschreibt die neun Arbeitsschritte des Sensitivitätsmodells und deren Anwendung im System „Außenraum und bauliche Nachverdichtung auf Quartiers-ebene“. Abbildung 4 stellt das allgemeine Vorgehen bei der Anwendung des Sensitivitätsmodells dar. Das Ziel ist, die relevanten Einflussparameter und wesentliche Wechselwirkungen im System zu analysieren und den Entscheidungs- und Planungsprozess von komplexen Fragestellungen in frühen Planungsphasen zu optimieren. Die Unterkapitel sind nach Arbeitsschritten strukturiert und umfassen eine kurze Beschreibung der optimalen Umsetzung des jeweiligen Arbeitsschritts. Im Hauptteil werden die Ergebnisse des untersuchten Systems dargestellt und abschließend wird jeder Arbeitsschritt evaluiert. Der methodische Aufbau wurde in Bezug auf die erste Forschungsfrage gewählt, die eine Eignung des Sensitivitätsmodells zur Untersuchung der Thematik Außenraum und Nachverdichtung prüft. (Anders, 2016, S. 125; Vester, 1991, 2015)

Systembewertung

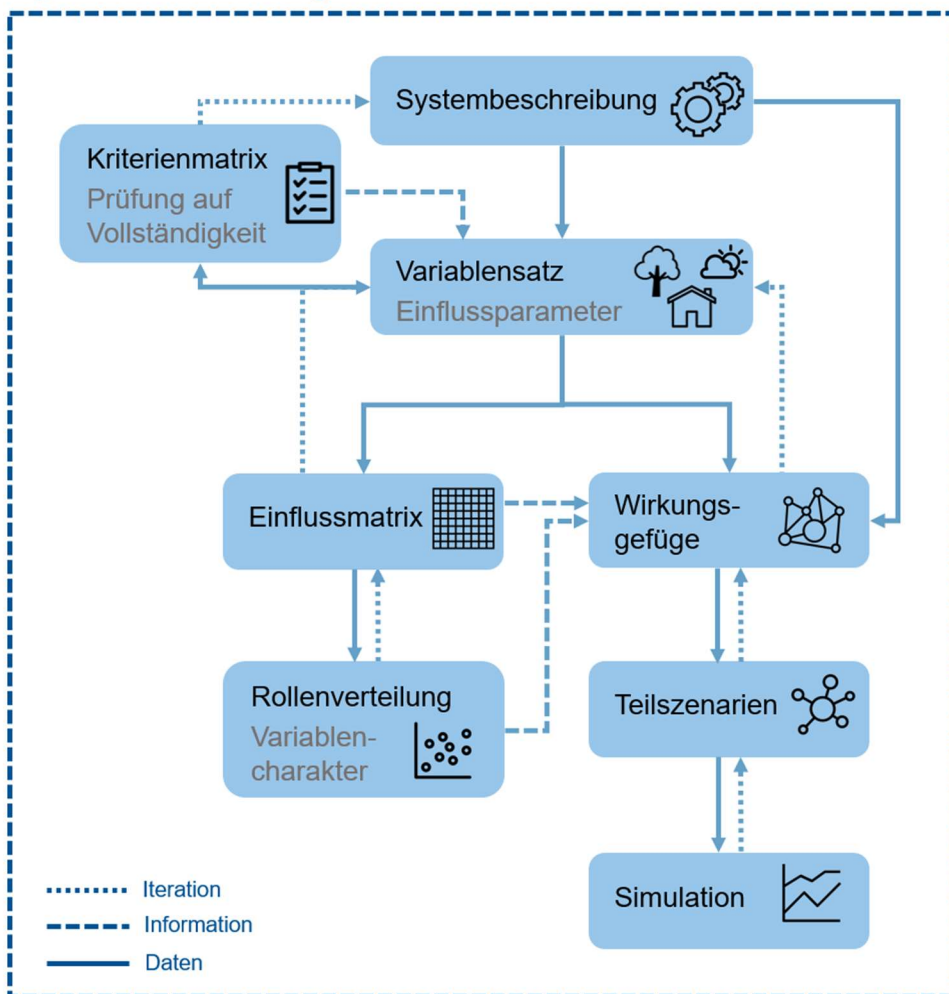


Abbildung 4: Systemdarstellung des Sensitivitätsmodells (Eigene Darstellung)

3.1. Systembeschreibung des Systems „Außenraum und bauliche Nachverdichtung auf Quartiersebene“

3.1.1. Vorgehen der Systembeschreibung

Die Systembeschreibung soll als erster Arbeitsschritt des Sensitivitätsmodells das System mit allen seinen Einflussgrößen erfassen, Beziehungen und Zusammenhänge darstellen und Grenzen aufzeigen. Die Systembeschreibung beginnt mit einem Brainstorming aller Beteiligten, dadurch können deren Vorstellungen, Wünsche, Meinungen und Gedanken berücksichtigt werden. Die interdisziplinäre Herangehensweise ermöglicht

einen konstruktiven und kollaborativen Projektablauf. Zudem können bereits einige Fehler, die im Zusammenhang mit komplexen Systemen stattfinden, vermieden werden, wie z.B. eine frühe Schwerpunktbildung oder unzureichende Zielbeschreibung. Teil der Systembeschreibung ist das Erstellen eines Systembildes mit allen beeinflussenden Faktoren sowie Input- und Output-Strömen. Durch die Visualisierung können Wechselwirkungen und Zugehörigkeiten der Komponenten oft leichter erkannt werden. Die übergeordnete Zielsetzung im Kontext dieser Arbeit ist die „Erhöhung der Lebensqualität“, untergeordnete Teilziele sollten die Systembeschreibung vervollständigen, um dadurch die Systemgrenzen klar zu definieren. Eine klare Abgrenzung des Systems durch die Systemgrenzen ist wichtig, um die Wirkungen und Input-/Output-Ströme weitestgehend zu reduzieren. Die Systemgrenzen bilden eine Verbindung zu über- bzw. untergeordneten und angrenzenden Systemen. Hier findet immer ein Austausch statt der in den späteren Arbeitsschritten Wirkungsgefüge (s. Kapitel 3.4) und Teilszenario (s. Kapitel 3.7) berücksichtigt werden kann. (Anders, 2016, 124 f.; Vester, 1991, 2015, S. 203; Wulfhorst, 2003, S. 67)

3.1.2. Systembeschreibung des Systems „Außenraum und bauliche Nachverdichtung auf Quartiersebene“

Das in dieser Arbeit betrachtete System befindet sich in Deutschland. Insbesondere Wechselwirkungen aufgrund der Unterschiede von Flora und Fauna, Klima, Kultur und anderen Rahmenbedingungen können in anderen Ländern anders ausfallen.

Nachverdichtung als Maßnahme zur Nutzung freistehender Flächen und einer Erhöhung der baulichen Dichte ist zunehmend wichtiger in prosperierenden Städten. Eine Schonung und qualitative Entwicklung des Freiraums ist essenziell für den Erhalt urbaner Lebensräume und ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz. Eine Veränderung von städtebaulichen Parametern hat wesentliche Auswirkungen auf soziale, ökologische und ökonomische Systemkomponenten. Die Quartiersgrenze wird als physische Grenze des Systems als Teil der gesamten Stadt betrachtet. Ein Quartier ist größentechnisch nicht genau definiert, es liegt zwischen dem räumlich betrachteten Block und verwaltungstechnisch definiertem Stadtteil. Quartiere werden durch ihre Bewohner:innen definiert und unterscheiden sich zu anderen Quartieren durch ethnische und soziokulturelle Strukturen. Die Quartiersidentität spielt eine wesentliche Rolle. Eine klare äußere Begrenzung kann anhand konkreter Fallbeispiele durch begrenzende Straßen,

Gebäude oder öffentliche Plätze festgelegt werden. (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2020; Neppi et al., 2015/2016)

In Anlehnung an Anders wird ein allgemeines Quartier mit einer Größe von 10 ha betrachtet (Anders, 2016, S. 126). Im Fokus der Systemuntersuchung stehen die Aspekte Außenraum und Nachverdichtung, alle wesentlichen Einflussfaktoren sind im Systembild dargestellt (s. Abbildung 5). Relevante Einflussparameter in frühen Planungsphasen sollen unter Berücksichtigung sozialer, ökologischer und ökonomischer Aspekte identifiziert und hinsichtlich ihres Einflusses und ihrer Wechselwirkungen untersucht werden. Der Betrachtungszeitraum beträgt 50 Jahre und orientiert sich an der systemischen Betrachtung „Stadt als System“. (Anders, 2016, S. 126)

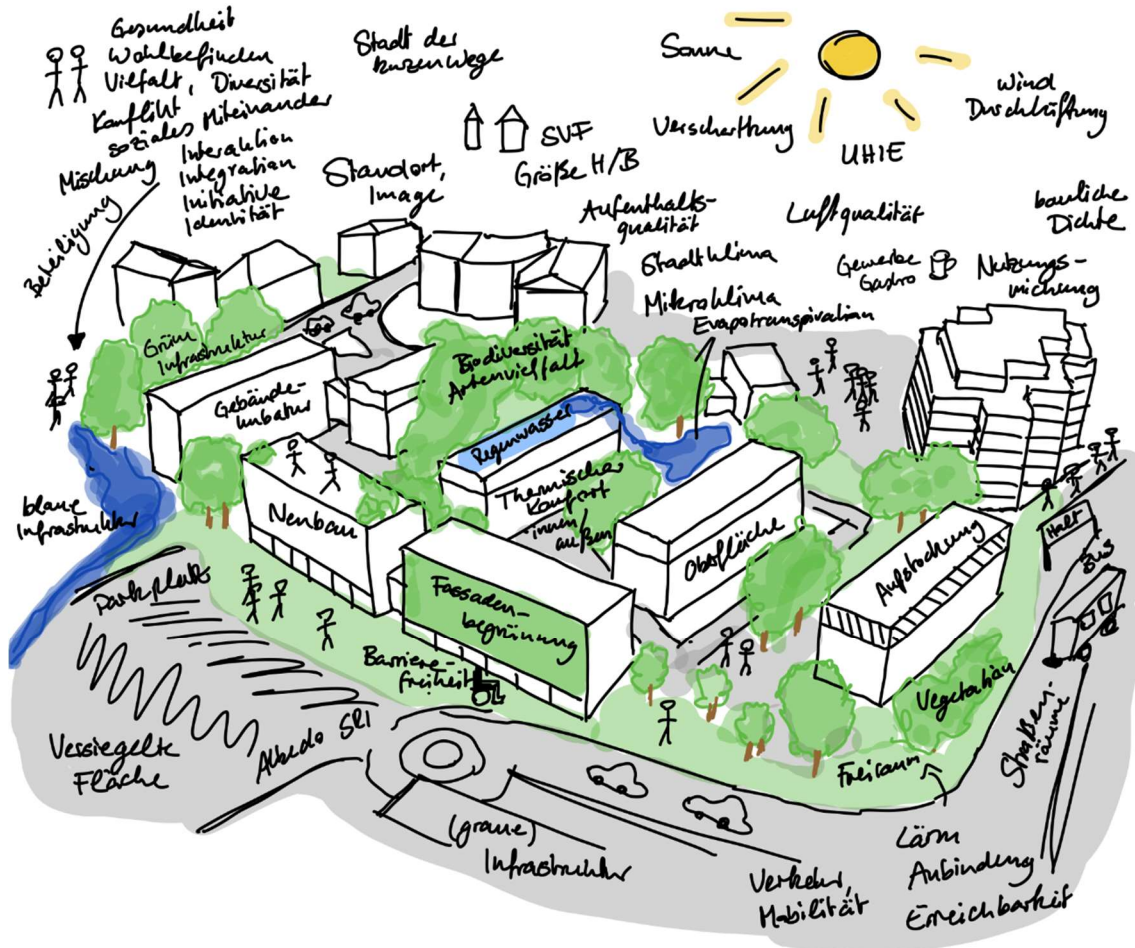


Abbildung 5: Systembild (Eigene Darstellung)

Das übergeordnete Ziel der systemischen Untersuchung ist die Erhöhung der Lebensqualität bei zunehmender innerstädtischer baulicher Dichte im Einklang mit Klimaschutz

und –anpassung. Als Teilziele werden, der Schutz und Erhalt Grüner und Blauer Infrastruktur, die Förderung des sozialen Miteinanders durch Vielfalt und Diversität, eine suffiziente Wohnraumgestaltung, die Verbesserung des Mikroklimas, die Förderung alternativer Mobilitätskonzepte und die Stärkung der Stadtresilienz in Bezug auf den Klimawandel angesehen. (Anders, 2016, S. 125; Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2020; Neppl et al., 2015/2016; Vester, 2015)

3.1.3. Evaluation Systembeschreibung

Die vorliegende Erarbeitung der Systembeschreibung konnte aufgrund begrenzter zeitlicher und personeller Ressourcen bezüglich ihrer Ganzheitlichkeit nur defizitär erfolgen, was zu Qualitätseinbußen führt. Die Masse an Wissen, Erfahrung und Interesse der verschiedenen Beteiligten, durch deren Vorgehen sich das Modell auszeichnet, kann dadurch in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden. Durch eine eindeutige Eingrenzung und Definition können Unklarheiten hinsichtlich des Betrachtungszeitraums oder -ortes während der Bearbeitung der Einflussmatrix in künftigen Expertenworkshops vermieden werden. Dadurch wird deutlich, wie wichtig eine interdisziplinäre, gemeinschaftliche und iterative Erarbeitung ist. Das Sensitivitätsmodell ist so vielschichtig und umfangreich, dass kleine wichtige Details zu Beginn der Betrachtung im späteren Bearbeitungs- und Analyseprozess oder durch den Austausch mit anderen Personen auffallen. Die Systembeschreibung ist damit elementarer Bestandteil des Sensitivitätsmodells und darf in ihrer Bedeutung nicht unterschätzt werden.

3.2. Die Einflussgrößen des Systems

3.2.1. Erstellung eines systemrelevanten Variablensatzes

Aus der ganzheitlichen Systembeschreibung werden die Einflussfaktoren, die für das Systemverhalten entscheidend sind, analysiert und mithilfe von Brainstorming und entsprechendem Expertenwissen vervollständigt. „Aufgrund der Vielzahl der Parameter [...] gilt es, sich auf diejenigen Daten zu beschränken, welche zur Beschreibung des Systemverhaltens unbedingt notwendig sind.“ (Anders, 2016, S. 104). Die Anzahl der Wohnungstüren oder die genaue Altersverteilung der Bewohner:innen des betrachteten Quartieres spielen beispielsweise keine Rolle bei der Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen baulicher Nachverdichtung und Außenraum.

Die insgesamt 18 bis 35 Variablen können eine qualitative oder quantitative Ausprägung haben, dürfen aber keinen festen Wert besitzen. Jede Variable besteht aus einem Namen und einer zugehörigen Beschreibung der kennzeichnenden Aspekte und Komponenten.

Der Variablensatz sollte hinsichtlich folgender Kriterien überprüft werden:

- Doubletten: Zusammenfassen gleicher oder ähnlicher Einflussgrößen.
- Aggregationsebene: Untergeordnete Variablen können anderen Variablen zugeordnet werden, Variablen eines übergeordneten Systems können im Arbeitsschritt Wirkungsgefüge (s. Kapitel 3.4) als externe Einflussgrößen oder Randbedingungen einfließen.
- Vollständigkeit bzw. Einseitigkeit: Im Arbeitsschritt Kriterienmatrix (s. Kapitel 3.3) nach insgesamt 18 Systemkriterien.

Prof. Vester empfiehlt einen vorläufigen Variablensatz im Rahmen eines Workshops zu erarbeiten und mit etwas zeitlichem Abstand und einer Korrekturrunde diesen in eine endgültige Version zu überführen. Durch die iterative Arbeitsweise wird der Variablensatz im Laufe der Modellbearbeitung immer weiter optimiert. In dieser Arbeit werden die Einflussparameter des Systems „Außenraum und bauliche Nachverdichtung auf Quartiersebene“ zum besseren Verständnis *kursiv* geschrieben. (Harrer, 2016; Vester, 1991, 28 ff., 2015, 213 ff.)

3.2.2. Auswahl der Einflussvariablen

Die Erstellung des Variablensatzes erfolgte im Rahmen dieser Arbeit eigenständig durch die Autorin. Um dennoch alle systemrelevanten Einflussparameter ganzheitlich zu erfassen, wurde zu den Themenbereichen bauliche Nachverdichtung, Außenraum, Stadt- und Mikroklima, Blaue/Graue/Grüne Infrastruktur, Klimaschutz und -anpassung, nachhaltiges Bauen, Quartiersentwicklung und Gebäudezertifizierung eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt. Somit werden alle wesentlichen Effekte, Wirkungen, Zusammenhänge, räumliche Begebenheiten und Kennwerte, im Folgenden als „Begriffe“ bezeichnet, berücksichtigt. Das Vorgehen dieses Arbeitsschritts wurde im Rahmen dieser Arbeit mit anderen wissenschaftlichen Arbeiten, die das Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester anwenden und inhaltlich von Relevanz sind, verglichen. Wichtige Lite-

ratur stellen unter anderem die Dissertationen „Stadt als System“ (Anders, 2016), „Flächennutzung und Verkehrsverknüpfung an Personenbahnhöfen – Wirkungsabschätzung mit systemdynamischen Modellen“ (Wulfhorst, 2003), der Forschungsbericht „Stadtlabor Nürnberg Weststadt“ (Ahlhaus et al., 2014) und der DGNB Kriterienkatalog für Quartiere (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, 2020b) dar.

Um die Vielzahl an Begriffen des Systembilds zu strukturieren, fand zunächst eine Kategorisierung nach verschiedenen Ansätzen statt. Neben den zwei Hauptthemenbereichen Nachverdichtung und Außenraum wurden die drei Säulen der Nachhaltigkeit - Ökonomie, Ökologie und Soziales - berücksichtigt (s. Abbildung 6). Diese Einteilung verdeutlicht die verschiedenen Bereiche, die innerhalb des komplexen Systems relevant sind und aufeinander einwirken. Eine klare Abgrenzung und Zuordnung der einzelnen Begriffe zu den genannten Kategorien ist aufgrund der unterschiedlichen Aggregations-ebene und Mehrfachzugehörigkeit schwierig. Ebenso ist die Zuordnung der Variablen in Abbildung 6 nicht eindeutig und soll nur eine Tendenz der Zugehörigkeit aufzeigen. Für eine Verbesserung der Anschaulichkeit wurden einige Variablen zusammengefasst. Mobilität hat beispielsweise neben der sozialen auch eine ökonomische und ökologische Bedeutung. Zur Erstellung des Variablensatzes wurden ähnliche Begriffe (s. Abbildung 5) thematisch nach Gruppen sortiert und mit Überschriften, dem Variablennamen, beschrieben.



Abbildung 6: Übersicht der Variablen strukturiert nach den drei Säulen der Nachhaltigkeit (Eigene Darstellung vgl. (Gander, 2015, S. 16))

Eine trennscharfe Definition der Variablen ist wesentlich für die Qualität des Variablen-satzes. Begriffe aus Variablenbeschreibungen sollten nicht mehrfach verwendet werden, auch wenn ein Begriff thematisch zu mehreren Variablen passt. Die gleiche Aggregationsebene der Variablen soll die Zuordnung von Variablennamen in anderen Variablenbeschreibungen vermeiden. Außerdem sollte jede Variable eine Bewertungsrichtung nach der Fuzzy-Logic aufweisen. Die Fuzzy-Logic beschreibt die Logik der unscharfen Mengen (datenbanken-verstehen.de, 2019). Anders als bei der booleschen oder binären Logik, bei der ein Zustand mit 0 (falsch) oder 1 (wahr) angenommen werden kann, wird bei der Fuzzy-Logic dem zu bewertenden Zustand ein Wert zwischen 0 und 1 zugeordnet. Diese Bewertung von nicht eindeutigen Zuständen spielt eine wesentliche Rolle in der Regelungstechnik wie auch der Entwicklung von Systemen der Künstlichen Intelligenz. Mittels Fuzzy Sets können verschiedene Stufen beschrieben werden, z.B. Helligkeit kann unterteilt werden in dunkel, düster, schattig und hell. (Anders, 2016, S. 110; datenbanken-verstehen.de, 2019; Vester, 2015)

Die Bewertung einer Variablen, durch Zu- oder Abnahme bzw. einer qualitativen Ausrichtung, ist für die Definition und Beschreibung hilfreich und kann im Variablennamen integriert werden. Beispielsweise impliziert *Freiraumqualität* eine positive Ausrichtung mit hoher Aufenthaltsqualität, großem Erholungsangebot und viel urbanem Grün. Die Suche nach Kennzahlen je Begrifflichkeit der Variablenbeschreibung erleichtert das Festlegen der Bewertungsrichtung. Die Bewertungsrichtung wird in den späteren Arbeitsschritten Einflussmatrix (s. Kapitel 3.4), Wirkungsgefüge (s. Kapitel 3.4) und Teilszenario (s. Kapitel 3.7) von Bedeutung sein. Insbesondere zur Identifikation der Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Variablen ist eine klare Bewertungsrichtung notwendig. (Frommer, 2021; Harrer, 2016; Vester, 1991)

In Tabelle 1 werden alle für das System relevanten Variablen mit zugehöriger Beschreibung dargestellt. Die Einteilung und Definition der Variablen basiert auf den Ergebnissen der Literaturrecherche und wurden eigenständig festlegt.

Tabelle 1: Variablen und Variablenbeschreibung

Nr.	Variable	Beschreibung
V1	Urbane Raumverhältnisse	<ul style="list-style-type: none"> – Größe H/B – Sky View Factor (SVF) – Dichte und Höhe von Gebäuden – Straßen/ Straßenräume – Öffentliche Plätze – Maß der Raumentwicklung (nähere Quartiersumgebung)
V2	Technische Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> – Wasserver- und Entsorgung, Abwasser – Verkehrsinfrastruktur – Energiebereitstellung, -versorgung und -speicherung (Strom, Wärme) – Telekommunikationsinfrastruktur (Internet, Smart Grid) – Versorgungssicherheit, Zugänglichkeit
V3	Mobilität	<ul style="list-style-type: none"> – Verkehrsangebot und -dichte, Modalsplit – Transport und Logistik – Verkehrssicherheit (Reduktion von Unfällen) <u>Qualität der Fußgänger:innen- und Radverkehrsinfrastruktur:</u> <ul style="list-style-type: none"> – Anzahl und Vielfalt des Wegenetzes (Straßen, Querverbindungen) – Wegweisersysteme, Abstellanlagen für Fahrräder <u>Qualität der ÖPNV- und MIV- Infrastruktur:</u> <ul style="list-style-type: none"> – Anbindung, Erreichbarkeit, Barrierefreiheit – ÖPNV-Takt, ÖPNV- Erschließungsqualität, intermodale Plattformen (Verknüpfung versch. Verkehrsmittel) – Fahrzeug-Sharing Angebot, E-Ladestationen, Stellplätze
V4	Urbane Oberflächen	<ul style="list-style-type: none"> – Versiegelungsgrad – Materialeigenschaften, Oberflächenbeschaffenheit (adaptiv, umweltfreundlich, beständig) – Wärmestrahlung der Oberflächen, Albedo, Solar Reflectance Index (SRI)
V5	Intensität der Bebauung	<ul style="list-style-type: none"> – Art und Maß, Zustand der baulichen Dichte – Flächeninanspruchnahme – Städtebau (Stadtstruktur als Teil der Gesamtstadt) – Planungsrechtliche Vorgaben (Baurecht, Bebauungspläne, Raumordnung)
V6	Gebäude- und Wohnqualität	<ul style="list-style-type: none"> – Atmosphäre, Raumeindruck, Ästhetik (innen)

		<ul style="list-style-type: none"> – Gebäudekubatur (A/V-Verhältnis, Volumen, offen/ geschlossen) – Thermischer Komfort (innen): Predicted Mean Vote (PMV), Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) – Visuelle Behaglichkeit, Raumluft, akustische Behaglichkeit – Förderung von Gesundheit und Wohlbefinden – Emotionaler Wert "sich wohl fühlen" – Ökologie der Baumaterialien – Zonierung, Nutzungsflexibilität – Wohnumfeld, Privatsphäre, Freibereiche – Zustand der Wohnung (Ausstattung und Modernisierungsgrad) – Barrierefreie- und behindertengerechte Wohnungen
V7	Technische Gebäudequalität	<ul style="list-style-type: none"> – Technische Gebäudeausrüstung: Heizung, Sanitär, Lüftung – Energiebedarf, Energieeffizienz – Gebäudestandard (Energieeffizienzklassen: A+ bis H)
V8	Vielfalt und Diversität	<ul style="list-style-type: none"> – Zustand der sozialen Mischung im Quartier, Zusammenhalt – Diversität von Bewohner:innen und Nutzer:innen (Interessen, Kulturen, Alter, soziale Herkunft) – Nutzungsmischung und -dichte (Wohnen, Arbeiten Gewerbe) – Interessen, immaterielle Werte und Anerkennung – Interaktion, Integration, Inklusion – Kontakte und Begegnung, Kommunikation – Konfliktpotenzial – Soziokulturelles (Alltag) und kulturelles Angebot
V9	Wohnformen, Lebensstil	<ul style="list-style-type: none"> – Lebensstil, Lebensformen (Art und Weise der Lebensführung), Pluralisierung der Lebensformen – Work-Life-Balance, Individualwohl, gesunder Lebensstil (Ernährung, Bewegung, Schlaf, soziale Kontakte) – Soziale Wohnform (WG, Cluster, Genossenschaft, Einfamilienhaus etc.) – Suffizientes Wohnen, bezahlbarer Wohnraum – Gemeinsame Wertvorstellungen, Verhaltensweisen und Präferenzen der Bewohner- bzw. Nutzer:innen
V10	Freiraumqualität	<ul style="list-style-type: none"> – Atmosphäre, Raumeindruck, Ästhetik (außen), räumliche Gestaltungsqualität – Aufenthaltskomfort, Erholungspotenzial, Spielmöglichkeiten – Lärmsituation, Luftqualität, Sicherheit, Sauberkeit – Zugang zu Grün- und Wasserflächen (Barrierefreiheit) – Steigerung von Wohlbefinden und Gesundheit (psychisch & physisch)

V11	Mikroklima	<ul style="list-style-type: none"> – Thermischer Komfort (außen): Physiological Equivalent Temperature(PET), Universal Thermal Climate Index (UTCI) – Wetterverhältnisse: Windschutz, Belüftung, Besonnung, Strahlung (diffus, direkt), Wolkenbedeckung, Verschattung – Verwendete Baumaterialien (thermische Masse) – Reduktion des Urban Heat Island Effekt (UHIE) – Gebäudeoberflächen (Dach, Fassade) – Vegetation und Wasserflächen -> Kühlung durch Evapotranspiration (Blaue und Grüne Infrastruktur)
V12	Blaue Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> – Wasserflächen (fließende und stehende Gewässer, sichtbare und nicht sichtbare Wasserflächen) – Maßnahmen zur Wasserspeicherung, Wasserrückhaltung, Wasserkreislaufsysteme, Grundwasser, Bewässerung – Schwammstadt-Konzept, Regenwassermanagementsysteme – Versickerungsmöglichkeiten – Erhalt von Land- und Binnensüßwasser-Ökosystemen
V13	Grüne Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> – Gebäudenahe und -ferne Begrünung – Vegetationsgrad, Vielfalt, Art der Begrünung – Natürliche und angelegte Grünflächen – Ausdehnung der Grünfläche (Baum vs. Wald) – Erhalt von natürlichen Grünflächen, alten Bäumen und Arten
V14	Biodiversität	<ul style="list-style-type: none"> – Vielfalt und Stabilität von Ökosystemen: Lebensräume, Landschaften, Lebensgemeinschaften – Artenvielfalt, genetische Vielfalt – Erhaltung des evolutiven Anpassungspotenzials – Ansiedelung neuer und heimischer Tierarten – Vermeidung invasiver Arten – Vernetzung von Biotopen – Schutz der Bodenqualität
V15	Partizipation und Quartiersentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> – Bürgerbeteiligung und -initiative – Stärke der Quartiersidentität – Ausgeglichenes Verhältnis zwischen öffentlich und privat – Wertstabilität des Quartiers, Steigerung der Attraktivität für Bewohner:innen und Nutzer:innen – Stärkung des sozialen Miteinanders und Austauschs – Vermeidung von Segregation und Gentrifizierung
V16	Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor	<ul style="list-style-type: none"> – Autonomie, Förderung lokaler Aktivitäten – Gewerbe und Gastronomie

		<ul style="list-style-type: none"> - Infrastruktureinrichtungen: Einkaufsmöglichkeiten, Dienstleister, Medizinische Versorgung, Schulen, Sportstätten, Kultur-/ Freizeitangebote - Verkehrliche Anbindung, Zentralität - Arbeitsmarkt/ -situation - Imagegewinn, Wertstabilität - Höhe der Bodenpreise, Baupreise - Lebenszykluskosten - Lage, Struktur, Topologie (Geografie)
V17	Klimaschutz, Verringerung der Umweltbelastung	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhung von Energieeffizienz - Nutzung Erneuerbarer Energien - Maßnahmen zur Aufklärung und Verhaltensänderung <p><u>Reduktion der Umweltverschmutzung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Emissionen, Immissionen, Treibhausgase - Energieverbrauch, Rohstoffverbrauch, Abfallaufkommen, Abwassermenge, Bodennutzung - Lärm, Licht, Smog, Ökotoxikologie
V18	Klimaanpassung	<ul style="list-style-type: none"> - Resilienz und Anpassungsfähigkeit an die sich verändernden klimatischen Bedingungen (Durchlüftung und Begrünung erhöhen) - Maßnahmen zum Schutz vor Extremwetterereignissen (Wasserauffangmaßnahmen, Starkregen- und Hochwasserschutz) - Resilienz der Verkehrssysteme (bei Krisen oder Störereignissen, Zufahrtsmöglichkeit) - robuste Versorgungsinfrastruktur (Trinkwasser, Nahrungsmittel, Energie, Abwasser)
V19	Nachverdichtung	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhung der baulichen Dichte - Optimierung der baulichen Maßnahmen - Senkung der Flächeninanspruchnahme - Änderung der Wohnungszuschnitte, Verkleinerung der Wohngröße - Nachverdichtungsformen (Zusatzgebäude, Neubau) - Erweiterung Bestandsgebäude: Aufstockung, Anbau, Schließung Blockrand, Verdichtung im Blockinnenbereich, Umstrukturierung)
V20	Sanierung, Modernisierung	<ul style="list-style-type: none"> - Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden - Renovierung, Energetische Sanierung - Konservierung, Kernsanierung - Sommerlicher Wärmeschutz - Schad- und Risikostoffentfernung (Asbest, Schimmel etc.) - Umnutzung

*Komplette Tabelle (Excel) mit Bewertungsrichtung, Kennzahlen und Erklärungen im Digitalen Anhang (s. Anhang D)

(Adrian et al., 2018; Ahlhaus et al., 2014, 303 ff.; Ali-Toudert & Ji, 2017; Anders, 2016, 126 ff.; Artmann et al., 2019; Banihashemi et al., 2021; Bauer A. et al., 2021; Bauer A., Linke S., Erlwein S., Meier-Dotzler C., 2021; Bott et al., 2018; Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2014; Bundesministerium für Umwelt et al., 2015, 2017; Carmona, 2019; Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, 2018, 2020a, 2020b; Deutschland in Zahlen, 2022; Dömer et al., 2017; Drexler & El Khouli, 2012; Erlwein, Rosenberger et al., 2021; Erlwein, Zölch & Pauleit, 2021; Everding, 2017; Fatone et al., 2012; Gander, 2015; Hafner, 2011, 52 ff.; Hagen et al., 2010; INFRAS, 2015; Jennifer McGUINN et al., 2020; Ketterer et al., 2013; Klemme, 2019; Lehmann, 2017; Linke & Putz A., 2021; Loibl et al., 2021; Meyer, 2003b, 2003a; Penn-Bressel; Place Value Wiki, 2022; Project for Public Spaces; Riechel, 2021; Rupp et al., 2021; Saphörster, 2007; Sinus-Milieus Deutschland, 2022; Skiba A., Erlwein S., Linke S., Mittermüller J., Rupp J., 2021; Stemler, 2021; Tiitu et al., 2018; Umweltbundesamt, 2017a, 2017b; Welling et al., 2021; Wulforth, 2003, 72 ff.; Zeitler, 2004; Zhou & Parves Rana, 2012)

Das Aufstellen des Variablensatzes ist ein Optimierungsprozess, der Zeit beansprucht und die bearbeitenden Personen mit dem betrachteten System vertraut macht. Durch die iterative Arbeitsweise des Sensitivitätsmodells werden auch in späteren Arbeitsschritten durch vertieftes Wissen und Systemverständnis Veränderungen des Variablensatzes vorgenommen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden mehrfach bereits definierte Variablen zusammengefasst oder aufgesplittet, die Begriffe in den Variablenbeschreibungen verfeinert, anders zugeordnet sowie neue Begriffe zur Vervollständigung hinzugefügt. Beispielsweise wurde die Variable *Wohn- und Gebäudequalität* aufgeteilt, so dass die technische Komponente in der zusätzlichen Variable *Technische Gebäudequalität* verankert ist. Die Variable *Soziokulturelle Aspekte* wurde in *Vielfalt und Diversität* integriert und *Stadtklima* wurde in *Mikroklima* umbenannt. Die Erstellung des Variablensatzes wurde unterstützt durch den Austausch mit anderen Personen, sowie die Konsultation mit Herrn Frommer, der seine Dissertation unter Anwendung des gleichen Modellansatzes schreibt (Frommer, 2021).

3.2.3. Evaluation Variablensatz

Die Bearbeitung als Einzelperson stellt eine große Herausforderung dar. Der Meinungsaustausch mit Personen, die über eine andere Perspektive und Erfahrung verfügen fördert die passende Zuordnung und Definition der Variablen und ist für eine ganzheitliche Analyse sinnvoll. Diese These kann aufgrund der Erfahrungen aus dem durchgeführten

Expertenworkshop bestätigt werden, dessen Hauptziel die Bearbeitung der Einflussmatrix (s. Kapitel 3.4.2) war. Die Bearbeitungszeit zur Erstellung des Variablensatzes wird verkürzt und die Qualität gesteigert. Eine besondere Herausforderung stellen dabei die Ausarbeitung einer gleichen Aggregationsebene und die trennscharfe Abgrenzung der Variablen aufgrund der Vielseitigkeit der Systemkomponenten dar. Neben den systemrelevanten Variablen könnten zusätzlich noch externe Einflüsse erfasst und im späteren Wirkungsgefüge und den Teilszenarien angewandt werden.

Die iterative Arbeitsweise ist arbeits- und zeitintensiv aber ermöglicht eine zunehmende Verbesserung des Variablensatzes. Der Expertenworkshop (s. Kapitel 3.4.2) befördert durch die Wirkungsbewertung der Variablen innerhalb der Cross-Impact-Matrix und daraus resultierender Diskussionen neue Erkenntnisse, die stetig eingearbeitet werden.

3.3. Kriterienmatrix – Prüfung auf Einseitigkeit und Vollständigkeit

3.3.1. 18 Systemkriterien der Kriterienmatrix

Die Kriterienmatrix prüft den Variablensatz auf Einseitigkeit und Vollständigkeit anhand von 18 Systemkriterien. Es wird eine klare Zugehörigkeit der Kriterien zu jeder Variable bewertet, welche in den drei Abstufungen gar nicht, teilweise oder voll zutreffend angegeben wird.

Die 18 Systemkriterien sind aufgeteilt in:

- 7 Lebensbereiche (Wirtschaft, Beteiligte, Raumnutzung, Befinden, Umweltbezug, Infrastruktur, Regeln und Gesetze)
- Physikalische Kategorien (Materie, Energie, Information)
- Fluss- und Strukturgröße, zeitliche und räumliche Dynamik
- Systembeziehungen (Öffnung durch Input, Öffnung durch Output, von innen beeinflussbar, von außen beeinflussbar)

Ziel ist es, eine Ausgewogenheit der Punkteverteilung in der Matrix zu erreichen, sodass der Variablensatz ganzheitlich und vollständig das betrachtete System beschreibt. Sollten beispielsweise alle Variablen nur vier der insgesamt sieben Lebensbereiche in der Kriterienmatrix abdecken, muss der Variablensatz überarbeitet werden. (Anders, 2016,

S. 235; Hafner, 2011, S. 53; Harrer, 2016, S. 9; Vester, 1991, S. 67, 2015, S. 218; Wulfhorst, 2003, S. 77)

3.3.2. Anwendung und Evaluation der Kriterienmatrix

Die Kriterienmatrix wurde wie oben beschrieben auf den erstellten Variablensatz angewandt. Das Ergebnis ist in Abbildung 7 dargestellt und zeigt eine ausgewogene Punkterverteilung. Mithilfe der Summe je Systemkriterium, die sich aus teilweise zutreffend=0,5 P und voll zutreffend=1 P errechnet, lässt sich schnell überblicken in welchen Bereichen die Verteilung stärker ist als in anderen. Der Lebensbereich Raumnutzung ist am stärksten ausgeprägt, die dynamischen Kriterien Strukturgröße und räumliche Dynamik sind ebenfalls hervorzuheben. Diese Verteilung unterstützt die Ausrichtung des Variablensatzes hinsichtlich des zu untersuchenden Systems, da bei Außenraum und Nachverdichtung die räumliche Komponente eine wichtige Rolle spielt.

	Lebensbereiche							Phys. Kat.			Dyn. Kat.				Systembeziehg.			
	Wirtschaft	Beteiligte	Raumnutzung	Befinden	Umweltbezug	Infrastruktur	Regeln u. Gesetze	Materie	Energie	Information	Flussgröße	Strukturgröße	zeitliche Dynamik	räumliche Dynamik	öffnet System durch Input	öffnet System durch Output	von Innen beeinflussbar	von Außen beeinflussbar
V1			●	○	○		○	●			○		●					●
V2			●	○	○	●		○	●	○	●	○	●		○			○
V3		○	●	○		●		●			●	●		○	●		○	○
V4			●		○			●				●		○	○	○		
V5	○	○	●		○		●	●		○		●	○	○	○	○		●
V6			●	●	○	○	○	●				●						●
V7				○	○	●	○	○	●		●	○						●
V8		●	○	●					○	●		○	●			○	●	○
V9	○	●	●	○					●			●	●				●	●
V10		○	●	●	●			○		●		○	○	●				○
V11			○	●	●				○	●		○	●	●	●			●
V12			●	○	●	○		●			●		●	●	○			○
V13			●	○	●	○		●			●		●	●	○			○
V14			○		●			●			●		●	●	●			
V15	○	●	●	○			○		○	●		○	●		●	○	●	●
V16	●		●			○	○		●	●			○	●		○	●	○
V17		○		○	●		●	○		●	●	○						●
V18			●		●	○		○		●		●	●	○	○			●
V19			●		○		○	●		○		○	●					●
V20	○		●	●	○				●	○		○	●		○			●
Summe	3	5	16,5	9,5	11	5,5	5	11,5	5,5	10	4	13,5	6	13	7,5	6,5	4	14

Abbildung 7: Kriterienmatrix (Eigene Darstellung vgl. (Vester, 2016))

Die qualitative Ausrichtung des Sensitivitätsmodells zeigt auch in diesem Arbeitsschritt die individuelle Note der Autorin. Entsprechend der vorhandenen Literatur, die ebenfalls mit dem Vester Modell arbeitet, wurde zunächst analysiert inwieweit Mehrfachzuordnungen der Kriterien möglich sind und nachfolgend jede einzelne Variable bewertet. Im weiteren Verlauf der Arbeit wurde die Kriterienmatrix mehrmals iterativ überarbeitet und entsprechend angepasst. (Anders, 2016, S. 235; Hafner, 2011, S. 53; Harrer, 2016, S. 9; Vester, 1991, S. 67, 2015, S. 218; Wulfhorst, 2003, S. 77)

3.4. Bewertung der Wirkbeziehungen mittels Einflussmatrix und Expertenworkshop

3.4.1. Ausfüllen der Einflussmatrix

Die Rolle einer Variable im Gesamtsystem entsteht erst durch die Betrachtung ihrer Beziehungen und Wirkungen zu anderen Variablen. Mittels einer Cross-Impact-Matrix wird in diesem Arbeitsschritt die Wirkung jeder Variable auf jede jeweils andere abgefragt. Es findet somit ein Wechsel von der Komponentenebene auf die Wirkungsebene statt. Die Arbeitsschritte Einflussmatrix und Rollenverteilung sind eng miteinander verknüpft, da die Rollenverteilung das direkte Ergebnis der Einflussmatrix darstellt.

Die Einflussmatrix ist eine klassische Cross-Impact-Matrix, die bei Wechselwirkungsanalysen angewandt wird. Diese recht aufwändige Methode dient zur Erstellung und Beurteilung von Szenarien mit vielen Faktoren, die oft nicht analytisch beschreibbar sind, daher wird auf die Einschätzung von Experten zurückgegriffen. (Angermeier, 2018)

Es findet eine Abfrage der Wirkung jeder Variable auf jede andere statt, bewertet wird mit den Zahlen 0, 1, 2, 3 (s. Abbildung 8). Wichtig ist, dass die Richtung der Beziehung der Variablen beachtet wird, entsprechend lautet die Frage: „Wenn sich Variable A verändert, wie stark verändert sich dann in direkter Wirkung Variable B?“. In der Einflussmatrix wird das aktuelle und potenzielle Verhalten der Variablen bewertet, anders als im Wirkungsgefüge (s. Kapitel 3.4), hier wird nur die IST-Situation bewertet.

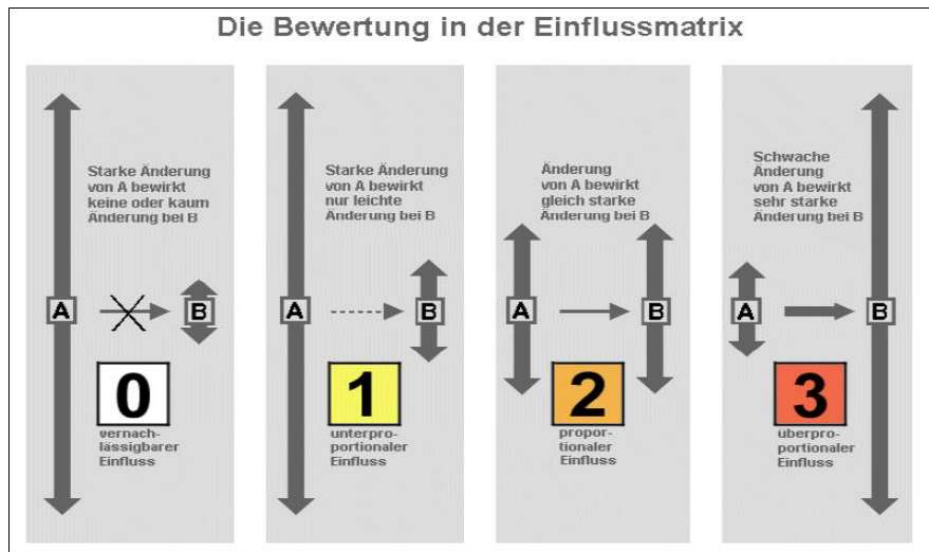


Abbildung 8: Übersicht der Wirkungsstärke für die Bewertung der Einflussmatrix (Harrer, 2016)

Prof. Vester empfiehlt das Ausfüllen der Einflussmatrix in einem Workshop durch drei Gruppen mit je zwei Personen. Wenn alle Einflussmatrizen ausgefüllt sind, werden die Ergebnisse in der Konsensmatrix zusammengeführt. Dieser Arbeitsschritt ist iterativ. Während der Wirkungsabfrage sollen Systembeschreibung und Variablensatz optimiert, re-definiert und neu ausgerichtet werden. Die Konsensmatrix als Summe aller Einflussmatrizen soll bei verschiedenen Wirkungsbewertungen keinen Mittelwert der Ergebnisse darstellen. Wesentlich ist, dass Uneinigheiten in der Bewertung hinterfragt und missverständliche Definitionen oder Bewertungsfehler ausgebessert werden. Eine schnelle Einigung ist dabei nicht das primäre Ziel, vielmehr soll das System in all seinen Facetten besser erfasst und verstanden werden.

Das Ergebnis ist eine Konsensmatrix mit Rollenverteilung (s. Kapitel 3.5). Durch horizontale bzw. vertikale Addition der Variablen in der Matrix ergeben sich Aktiv- (AS) und Passivsumme (PS), welche das *aktive* und *reaktive* Verhalten der Variablen beschreiben. Die Relation von Aktiv- und Passivsumme durch Produkt (P-Wert) und Quotient (Q-Wert) beschreibt die Stärke der Wechselwirkungen sowie ihre kybernetische Rolle im Gesamtsystem. (Anders, 2016; Harrer, 2016; Harrer-Puchner, 2022; Vester, 1991, 2015)

3.4.2. Expertenworkshop

Die Wirkungsabschätzung der Einflussvariablen mittels Cross-Impact-Matrix kann neben der eigenständigen Bearbeitung durch den Expertenworkshop verfeinert werden. Der Expertenworkshop fand im Januar 2022 online statt. Als Kommunikations- und Bearbeitungssoftware wurden Zoom und das Online-Whiteboard Miro genutzt. Ziel des Workshops war das gruppenweise Ausfüllen der Einflussmatrizen. Für den Workshop wurden sechs Expert:innen verschiedener Vertiefungsrichtungen und Spezialgebiete der untersuchten Thematik akquiriert. Sie konnten auf umfassende Kenntnisse und Erfahrungen aus Praxis und Theorie zurückgreifen, wodurch eine differenzierte Bearbeitung gewährleistet werden konnte. Überdies wurden durch die Expertenmeinungen bisher bearbeitete Schritte verfeinert.

Als Vorbereitung für den Workshop wurde ein Zeit- und Ablaufplan (s. Tabelle 2) erstellt, Teilnehmer:innen ausgesucht und eingeladen sowie die Bearbeitungsoberfläche der Online-Tools eingerichtet. Als Grundlage dienten die Arbeitsschritte 1-3 des Sensitivitätsmodells und eine erste Wirkungsbewertung mittels Einflussmatrix. Dadurch wird eine Abschätzung und Vorbereitung hinsichtlich Bearbeitungszeit und Herausforderungen im Bearbeitungsprozess möglich.

Tabelle 2: Zeit- und Ablaufplan Expertenworkshop

Zeit	Aufgabe	Arbeitsmittel
25 min	<p>Begrüßung & Einführung</p> <ul style="list-style-type: none"> – Agenda – Blitzlicht: „Orte der Kindheit“ – Thema der Masterarbeit und Forschungsfragen <p>Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester</p> <ul style="list-style-type: none"> – Prinzip der Kybernetik – Komplexe Systeme – Arbeitsschritte Sensitivitätsmodells <p>Systembeschreibung und Variablensatz</p> <ul style="list-style-type: none"> – Systeminhalt und -grenzen – Regeln zum Aufstellen eines Variablensatzes 	Präsentation, Miro
90 min	<p>Einflussmatrix</p> <ul style="list-style-type: none"> – Die Einflussmatrix 	Einflussmatrix (online Excel-Sheet), Miro

	<ul style="list-style-type: none"> – Vorgehen beim Ausfüllen der Einflussmatrix – Ergänzen des Variablensatzes 2er Team (80 min) <ul style="list-style-type: none"> – Bewertung der Wirkungsstärke (0,1,2,3) aller Variablen 	
15 min	Pause und Kaffee	Optional früher
30 min	Einflussmatrix Gesamte Gruppe (30 min) <ul style="list-style-type: none"> – Zusammenfügen der Ergebnisse in die Konsensmatrix 	Einflussmatrix (Excel-Sheet), Miro
15 min	Feedback <ul style="list-style-type: none"> – Blitzlicht: Aktuelle Stimmung – Workshop – Inhaltlich – Tipps, Herausforderungen 	Miro

Ablauf und Inhalt des Expertenworkshops sind Tabelle 2 zu entnehmen. Das Ausfüllen der Einflussmatrizen fand in Breakoutsessions und Zweiertteams statt. Die Teams wurden so gewählt, dass immer zwei Teammitglieder mit unterschiedlichen Backgrounds wie Architektur, Bauingenieurwesen oder Stadtplanung zusammenarbeiteten. Das System besteht aus 20 Variablen, daher mussten insgesamt 400 Wirkungen bewertet werden. Dass die vorgesehenen 80 Minuten hierfür sehr knapp kalkuliert waren, war bereits vor dem Workshop absehbar. Die knappen 90 Minuten waren nach mehrfacher inhaltlicher Umstellung des Workshopablaufs das Mindestmaß, um die Methodik als Verständnisgrundlage ausreichend zu erklären.

Zu Beginn benötigten die Teams viel Zeit für das Ausfüllen der Einflussmatrix, da sich die Teilnehmer:innen zunächst auf eine Strategie und einen Bewertungskonsens einigen mussten: Wesentlich sind hier die Bedeutung der einzelnen Wirkungszahlen als Bewertungsvoraussetzung, die Berücksichtigung von potenziellen Wirkungen, sowie die Bedeutung und Ausrichtung einzelner Variablen aufgrund der vielseitigen Variablenbeschreibungen. 3er-Bewertungen wurden von allen Gruppen als klare Hebelwirkung interpretiert, aber unterschiedlich oft vergeben. 0er-Bewertungen hat Gruppe zwei bewusst vermieden, da insbesondere im sozialen Bereich, über kurz oder lang, immer eine

Wirkung entsteht. Entsprechend unterschiedliche Rollenverteilungen und Systemausagen ergaben sich für die Einflussmatrizen (s. Anhang A) der einzelnen Gruppen.

Während des Ausfüllens der Einflussmatrizen wurden einige Änderungen des Variablensatzes vorgenommen und die Systembeschreibung hinsichtlich der räumlichen und zeitlichen Begrenzung verbessert.

Dass bei der Wirkungsbewertung der Einflussmatrix lediglich die potenzielle Wirkung berücksichtigt wird und die Bewertung immer möglichst realistisch und niedrig sein sollte, ergab die Konsultation mit Frau Harrer-Puchner erst einige Wochen nach dem Expertenworkshop (Harrer-Puchner, 2022). Frau Harrer-Puchner ist Expertin in der Modellanwendung des Sensitivitätsmodells und Inhaberin der Firma System Logics. Die Firma System Logics T. T. bietet Projektdienstleistungen und systemische Untersuchungen mit dem Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester an. Frau Harrer-Puchner hat in jahrelanger Zusammenarbeit mit Prof. Vester die Malik Software weiterentwickelt.

Ein weiteres Resultat des Expertenworkshops war ein Folgeworkshop zur Konsensbildung mit dreien der insgesamt sechs Teilnehmer. Als Vorbereitung des Folgewshops erklärten sich die Teilnehmer bereit, das Ausfüllen der Einflussmatrizen abzuschließen. Nach einer Konsensbildung durch die Autorin wurden letzte Felder mit stark voneinander abweichenden Wirkungen im Folgeworkshop diskutiert und gemeinsam eine Einigung gefunden.

3.4.3. Zusammenführen der Einflussmatrizen zu einer Konsensmatrix

Der wichtigste Grundsatz der Konsensbildung besteht darin, alle Bewertungen und zugrundeliegenden Argumente objektiv einzufangen und diese bei Differenzen zu hinterfragen. Es geht nicht primär um eine schnelle Einigung bei unterschiedlicher Wirkungsvergabe. Auch eine Konsensbildung durch Mittelwertbildung gilt es zu vermeiden. Um die Anzahl der zu diskutierenden Felder im Folgeworkshop auf eine realistische Zahl zu reduzieren, wurden einige Regeln erstellt, die eine Konsensbildung der drei Einflussmatrizen erleichtern soll. Die Regeln dienen als Hilfestellung. Jede Wirkung soll einzeln betrachtet und realistisch bewertet werden. Insgesamt stimmten 85 der insgesamt 400 Wirkungen nach dem Expertenworkshop genau überein. Entsprechend musste bei 315 Feldern ein Konsens gefunden werden.

Konsens Regel 1: Wenn zwei Gruppen ein Wirkungsfeld mit der gleichen Zahl bewertet haben und eine Gruppe mit einem Wertungspunkt abweicht, dann wird der Konsens der zwei gleichen Gruppen gewählt.

Konsens Regel 2 und 3: Haben zwei Gruppen mit der gleichen Wirkungsanzahl bewertet und eine Gruppe weicht mit mehr als einem Wirkungspunkt ab oder es wurde mit drei unterschiedlichen Zahlen bewertet ohne 3er-Bewertung, so werden individuell die Wirkungen analysiert, um einen Konsens zu bilden.

Konsens Regel 4: Wurde ein Wirkungsfeld mit 0, 1, 2 oder 1, 2, 3 bewertet und die Wirkung lässt sich durch die bereits gewonnene Erfahrung bewerten, so wird der Konsens eingetragen. Fehlt es an Bewertungsurteil wird der Folgeworkshop abgewartet.

Alle Bewertungen, die bisher keinen Konsens gefunden haben – dies sind überwiegend Wirkungen mit einer Abweichung von zwei oder mehr Wertungspunkten – werden dann im Folgeworkshop diskutiert.

Wirkung von Variable		auf Variable →																				AS	P
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1	Urbane Raumverhältnisse	X	2	2	3	2	2	1	2	1	3	3	1	1	2	1	2	1	2	2	1	34	578
2	Technische Infrastrukt	1	X	3	2	0	1	2	0	1	2	1	1	1	1	0	3	3	1	1	0	24	504
3	Mobilität	1	2	X	2	1	2	0	2	1	2	1	1	2	1	2	3	3	1	1	0	28	700
4	Urbane Oberflächen	1	1	1	X	0	2	2	1	0	3	2	1	1	1	1	1	2	2	0	2	24	528
5	Intensität der Bebauung	3	2	2	2	X	2	1	2	2	3	2	1	2	2	1	2	3	2	2	1	37	925
6	Gebäude- und Wohnqualität	1	1	0	0	1	X	1	2	2	1	1	1	1	0	2	1	2	1	0	2	20	720
7	Technische Gebäudequalität	0	2	0	1	0	2	X	1	2	1	1	0	0	0	1	2	2	2	1	2	20	460
8	Vielfalt und Diversität	0	0	1	0	1	1	0	X	2	2	0	0	0	0	3	1	1	0	1	1	14	448
9	Wohnformen, Lebensstil	0	1	2	0	2	2	1	3	X	1	1	0	0	1	2	1	2	1	2	1	23	644
10	Freiraumqualität	1	1	1	2	2	2	0	3	2	X	2	1	1	1	2	3	2	1	2	0	29	1247
11	Mikroklima	0	0	2	1	1	2	2	1	1	3	X	0	2	2	1	2	2	2	1	2	27	783
12	Blaue Infrastruktur	1	0	0	1	1	2	1	3	2	3	3	X	3	3	2	2	2	3	1	0	33	627
13	Grüne Infrastruktur	1	1	1	2	1	3	2	2	2	3	3	2	X	3	1	1	2	2	2	1	35	910
14	Biodiversität	0	0	1	0	1	1	0	0	0	2	0	1	2	X	1	0	2	1	1	0	13	338
15	Partizipation & Quartiersentw.	1	1	2	1	2	2	1	3	2	2	1	1	2	1	X	2	1	2	3	2	32	928
16	Öko. Qual. , guter Standortfak	0	0	2	1	2	1	1	2	2	2	0	1	1	0	2	X	0	1	3	2	23	736
17	Klimaschutz, ver. Umweltbelast	1	2	1	0	2	3	2	1	1	3	3	2	3	3	2	2	X	2	1	1	35	1260
18	Klimaanpassung	2	1	2	1	2	1	2	1	2	3	3	3	3	2	2	1	2	X	1	1	35	1050
19	Nachhaltige Nachverdichtung	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	3	X	2	38	988
20	Sanierung/ Modernisierung	0	2	0	1	1	3	2	1	1	2	0	0	0	1	2	2	2	1	1	X	22	462
		17	21	25	22	25	36	23	32	28	43	29	19	26	26	29	32	36	30	26	21	PS	
		200	114	112	109	148	56	87	44	82	67	93	174	135	50	110	72	97	117	146	105	Qx100	

Abbildung 9: Konsensmatrix (Vester, 2016)

Nachdem die Konsensmatrix eine Rollenverteilung verstärkt im kritischen Bereich (s. Kapitel 3.5) ergibt, werden die Wirkungen erneut möglichst realistisch und niedrig nach

der Empfehlung von Frau Harrer-Puchner überarbeitet und ergeben die in Abbildung 9 dargestellte Konsensmatrix. Systeme mit einer Variablenverteilung im kritischen Bereich können sich nicht selbstständig stabilisieren. Ein hoher Vernetzungsgrad ist in der Gegenwart bei vielen Systemen durch die zunehmende Digitalisierung und globale Vernetzung vorhanden. (Harrer-Puchner, 2022)

3.4.4. Feedback Expertenworkshop und Evaluation der Konsensmatrix

Durch andauernde Corona-Maßnahmen musste der Expertenworkshop online durchgeführt werden. Die digitale Umsetzung wurde von den Teilnehmer:innen positiv bewertet, da es leicht fiel, während des Ausfüllens der Einflussmatrix den Fokus zu behalten. Die Teamdynamik der Gruppengröße wurde hervorgehoben. Ein großes Defizit war der Zeitmangel beim Ausfüllen der Einflussmatrix. Alle Gruppen hatten in den 80 Minuten maximal die Hälfte der Einflussmatrix ausgefüllt. Im Mittel wurden demnach pro Feld ca. 40 Sekunden benötigt. Ein verwertbares Ergebnis der Einflussmatrizen ergab sich durch die Bereitschaft einiger Teilnehmer:innen für den erwähnten Folgeworkshop. Durch die doch sehr unterschiedliche Bewertungsstrategie der einzelnen Gruppen hätte ein bloßes Zusammenfügen der Teilergebnisse wenig Sinn ergeben. Insgesamt vier vollständig ausgefüllte Einflussmatrizen stellen die Basis der Konsensmatrix dar.

Um den Workshop zu verbessern, wurde vorgeschlagen den Inhalt auf zwei Termine aufzusplitten und den Teilnehmern dazwischen Zeit zu geben, um die Einflussmatrix auszufüllen. So könnte bereits vor dem zweiten Termin ein Abgleich der einzelnen Einflussmatrizen stattfinden und nur für identifizierte Differenzen beim zweiten Workshoptermin eine Konsensbildung stattfinden. Auch die Optimierung der fehlenden Rahmenbedingungen und Bewertungskriterien, wie bereits in Kapitel 3.4.2 beschrieben, sind notwendig, um eine einheitlichere Bewertung der Gruppen sicherzustellen. Abhängig von den bearbeitenden Personen, ergeben sich durch Vorkenntnisse, Erfahrungen und Einschätzungen, unterschiedliche Ergebnisse. Die ausreichende Bewertung solch komplexer Zusammenhänge mit Zahlen von 0-3 ist eine große Herausforderung und kaum möglich. Qualitative Bewertungsmethoden stoßen dadurch an ihre Grenzen.

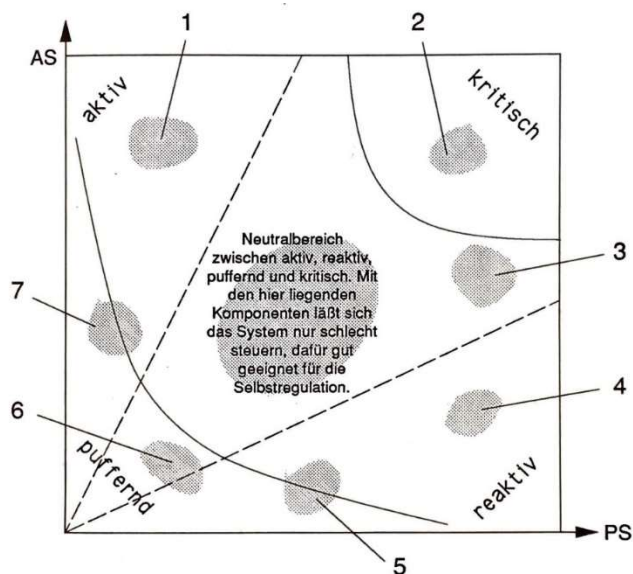
Die Umsetzung dieses Arbeitsschrittes orientiert sich eng an den Vorgaben von Prof. Vester. In vergleichender Literatur (Hafner, 2011) wurde teilweise nur eine Einflussmatrix ausgefüllt oder die zeitaufwändige Konsensbildung fand direkt während des Be-

arbeitsprozesses statt (Frommer, 2021). Durch das Expertenwissen, welches sowohl in die Konsensmatrix sowie den Variablensatz und die Systembeschreibung eingeflossen sind, kann mit validierten Ergebnissen weitergearbeitet werden.

3.5. Kybernetische Rollenverteilung

3.5.1. Die Rollenverteilung und ihre Aussage

Aus der Rollenverteilung der Variablen ergibt sich eine zweidimensionale Grafik mit den vier Schlüsselcharakteren *aktiv*, *reaktiv*, *kritisch* und *puffernd*. Die Lage der Variable im Rollentableau beschreibt den Variablencharakter (s. Abbildung 10) im Gesamtsystem. Die zweidimensionale Grafik wird mittels der Vester-Software als Ergebnis der Konsensmatrix generiert.



- | | |
|---|--|
| <p>1 Hier finden sich wirksame Schalthebel, die das System nach erfolgter Änderung erneut stabilisieren (plastische Stabilität).</p> <p>2 Hier finden sich Beschleuniger und Katalysatoren, geeignet als Initialzündung, um Dinge überhaupt in Gang zu bringen. Unkontrolliertes Aufschaukeln und Umkippen ist dabei möglich, daher höchste Vorsicht (mit Samthandschuhen anfassen).</p> <p>3 Besonders gefährlich ist es, wenn zusammenhängende Bündel von Variablen im kritisch-reaktiven Bereich liegen.</p> | <p>4 Hier steuernd einzugreifen, bringt nur Korrekturen kosmetischer Art (Symptombehandlung). Dafür eignen sich die hier liegenden Variablen sehr gut als Indikator.</p> <p>5 Etwas träge Indikatoren, die sich aber auch zum Experimentieren eignen.</p> <p>6 Bereich unnützer Eingriffe und Kontrollen. Aber auch "Wolf-im-Schafspelz"-Verhalten ist möglich, wenn man nicht aufpaßt oder plötzlich Schwellen- und Grenzwerte überschreitet.</p> <p>7 Hier liegen schwache Schalthebel mit wenig Nebenwirkungen.</p> |
|---|--|

Abbildung 10: Interpretation der Rollenverteilung (Vester, 1991, S. 101)

Die Interpretation der Rollenverteilung basiert zudem auf den Werten für Aktiv- und Passivsummen sowie deren Produkt (P-Wert) und Quotient (Q-Wert), die sich aus der Konsensmatrix ergeben. Die Aktivsumme (AS) einer Variable gibt Aufschluss darüber, wie stark die Auswirkungen der Variable auf das System ist. Die Passivsumme (PS) beschreibt, wie stark die Variable vom System beeinflusst wird. Entsprechend steht die Variable bei der AS im Mittelpunkt und das System bei der PS. Errechnet wird die AS durch horizontale und die PS durch vertikale Addition der Wirkungsstärken innerhalb der Konsensmatrix. Der P-Wert beschreibt den Grad der Beteiligung einer Variable am Systemverhalten. Der Quotient als Verhältnis von AS zu PS ist ein Indikator für das *aktive* bzw. *reaktive* Verhalten und verdeutlicht, ob die Variable im System einen starken oder einen schwachen Einfluss hat. Eine hohe Aktiv- und Passivsumme einer Variable bedeutet, dass sie gleichermaßen beeinflusst wird und beeinflussen kann. Die Veränderung solcher Variablen kann das Gesamtsystem aus dem Gleichgewicht bringen.

Der Variablencharakter ist zudem ein Indikator für das jeweilige Veränderungspotenzial und beschreibt das zeitliche Verhalten des Gesamtsystems. „Kritische Variablen beschleunigen die Entwicklung, träge stabilisieren oder verlangsamen die Prozesse.“, so Harrer-Puchner (Harrer, 2016, S. 34). Liegt der Schwerpunkt der Rollenverteilung im kritischen Bereich, kommt es zu schnellen und unkalkulierbaren Änderungen, hat das System jedoch eher einen puffernden Charakter, spricht das für Stabilität. (Hafner, 2011, S. 79–85; Vester, 1991, S. 98–101, 2015, S. 226–238; Wulfhorst, 2003, S. 80–88)

3.5.2. Interpretation der kybernetischen Rollenverteilung

Die erste Rollenverteilung als Ergebnis der Konsensmatrix nach dem Expertenworkshop zeigt eine Verteilung der Einflussvariablen verstärkt im kritischen Bereich (s. Abbildung 11). Die Nummern in den Abbildungen der Rollenverteilung stimmen mit den Variablennummern überein und sind der Gesamtübersicht der Variablen in Kapitel 3.2.2 oder Um die für das Gesamtsystem relevanten Variablen zu analysieren, werden die Werte für AS, PS, P-Wert und Q-Wert hinzugezogen. Welche Eigenschaft der jeweilige Wert hat, ist in Kapitel 3.5.1 beschrieben. Tabelle 3 stellt eine Übersicht der relevanten Variablen hinsichtlich des Ergebnisses der Rollenverteilung mit resultierendem Systemverhalten dar.

Die Variablen *Intensität der Bebauung* und *Nachverdichtung* haben eine hohe Aktivsumme. Entsprechend haben sie bei einer kleinen Veränderung bereits eine große Wirkung auf das Gesamtsystem. Bei einer Erhöhung der baulichen Dichte durch Aufstockungen und Schließen von Baulücken, wird Fläche versiegelt und die Stadtstruktur verändert. Dies hat unter anderem Auswirkungen auf die *urbanen Raumverhältnisse* und *Oberflächen*. Das *Mikroklima* und der damit korrelierende Heat-Island-Effekt verändert sich durch die Zunahme der baulichen Masse und die dadurch verschlechterte Durchlüftungssituation auf städtebaulicher Ebene. Bis hingegen eine Änderung der Einflussfaktoren *Biodiversität* oder *Vielfalt und Diversität* im Quartier eine sichtbare Auswirkung hat, muss die Variable eine starke Änderung vorweisen. Das *puffernd-reaktive* Verhalten hat eine stabilisierende Wirkung auf das Gesamtsystem.

Als Indikatoren eignen sich die Variablen *Freiraumqualität*, *Gebäude- und Wohnqualität* und *Klimaschutz*, *Verringerung der Umweltbelastung*. Sie besitzen eine hohe PS und verändern sich stark, sobald etwas im System passiert. Eine kleine Veränderung der *Urbanen Raumverhältnisse* zum Beispiel durch den Bau von Häusern, hat auf Quartiersebene bereits einen großen Einfluss auf die anderen Variablen. Die *Freiraumqualität* kann durch eine Reduktion der Freifläche und zunehmende Versiegelung negativ beeinflusst werden. Diese Beeinflussung wirkt sich direkt auf die Wohnqualität aufgrund fehlender Erholungsmöglichkeiten der Bewohner:innen aus. Die Einflussgrößen *Urbane Raumverhältnisse* und *Blaue Infrastruktur* werden durch eine niedrige PS gekennzeichnet. Hier müssen sich die Systemverhältnisse stark ändern, bis die jeweilige Variable beeinflusst wird. Gebäude, Straßen oder ein Fluss lassen sich nicht unmittelbar verändern. Für eine Umgestaltung dieser Einflussgrößen, müssen strukturelle Änderungen vorgenommen werden, diese ziehen in der Realität einen langfristigen Planungsprozess mit sich.

Ein hoher P-Wert spricht für eine Beteiligung am Systemverhalten und einen *kritischen* Variablencharakter. Die Eigenschaften der Variablen *Klimaschutz*, *Verringerung der Umweltbelastung* und *Freiraumqualität* werden somit erweitert. Sie verändern sich nicht nur stark, sobald etwas im System passiert, sondern wirken auch *kritisch* auf das Gesamtsystem ein. Folglich dienen sie als Beschleuniger und Katalysatoren und eignen sich, um auf Systemebene weitere Prozesse zu initiieren. Sie haben demnach eine entscheidende Funktion für das System. Das Gegenstück, mit einer *neutral-puffernden* Wirkung und einer kaum vorhandenen Beteiligung am System, stellt die Variable *Biodiversität* dar.

Der Q-Wert, das Verhältnis von AS zu PS, beschreibt, wie *aktiv* oder *reaktiv* der Variablencharakter ist und wie hoch der Einfluss auf das System ist. Einen hohen Q-Wert haben die Variablen *Urbane Raumverhältnisse* und *Blaue Infrastruktur*. Durch die doppelte Charaktereigenschaft mit der niedrigen PS ergibt sich ein interessantes Systemverhalten. Eine Veränderung der Variablen findet zwar erst bei einer deutlichen Systemveränderung statt, hat aber dennoch einen Einfluss im System. Insbesondere *Blaue Infrastruktur* hat durch den sozial verbindenden Aspekt und die Lebensrelevanz für Menschen, Tiere und Pflanzen einen aktiven Einfluss. *Biodiversität* und *Vielfalt und Diversität* haben neben einer niedrigen AS auch einen geringen Q-Wert. Sie verhalten sich *reaktiv* und haben keinen Einfluss auf das System.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Variablen *Blaue Infrastruktur*, *Urbane Raumverhältnisse*, *Nachverdichtung* und *Intensität der Bebauung* als Einflussgrößen mit Hebelfunktion für das System identifiziert werden.

Die beschriebene Charakteristik der Rollenverteilung ist in Tabelle 3 noch einmal dargestellt.

Tabelle 3 am Ende dieses Kapitels zu entnehmen.

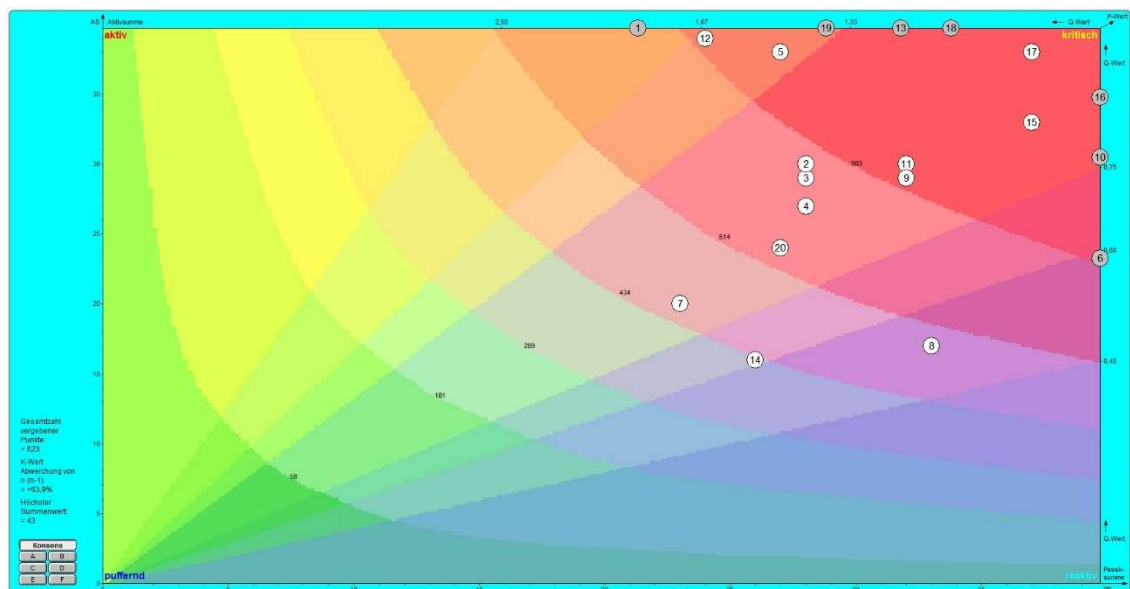


Abbildung 11: Rollenverteilung Konsensmatrix nach dem Expertenworkshop (Harrer, 2016)

Jedes System weist abhängig vom Fachbereich unterschiedliche Eigenschaften auf, wodurch sich entsprechend unterschiedliche Rollenverteilungen ergeben. Mobilitätssysteme weisen beispielsweise überwiegend eine Verteilung im puffernd-neutralen Bereich auf. Die Einflussgrößen von Systemen der Automobilindustrie verteilen sich tendenziell eher entlang der Diagonalen von *puffernd* bis hin zu *kritisch* (s. Abbildung 10) (Vester, 1991, S. 100). Der Vergleich von Rollenverteilungen verschiedener Systeme ergab, dass kein anderes einen so *kritischen* Charakter aufweist, wie dasjenige des untersuchten Systems (s. Abbildung 11). Für die Thematik Außenraum und Nachverdichtung wurden keine Referenzmodelle gefunden. Die Rollenverteilungen der einzelnen Einflussmatrizen aus dem Workshop ergeben trotz der gleichen Bewertungsgrundlage recht unterschiedliche Ergebnisse. Daraufhin wird die Konsensmatrix unter Berücksichtigung der Informationen (s. Kapitel 3.4.2) von Frau Harrer-Puchner (Harrer-Puchner, 2022) erneut überarbeitet.

Um ein Verständnis für den Einfluss der einzelnen Wirkungsstärken auf die Rollenverteilung zu entwickeln, folgt zunächst eine exemplarische Analyse hierzu. Ausgehend von der Konsensmatrix als Basisfall und der dazugehörigen Rollenverteilung (s. Abbildung 11) werden jeweils einmal alle 3er zu 2er (oben), alle 2er zu 1er (mitte) und alle 1er zu 0er (unten) Bewertungen verändert (s. Abbildung 12).

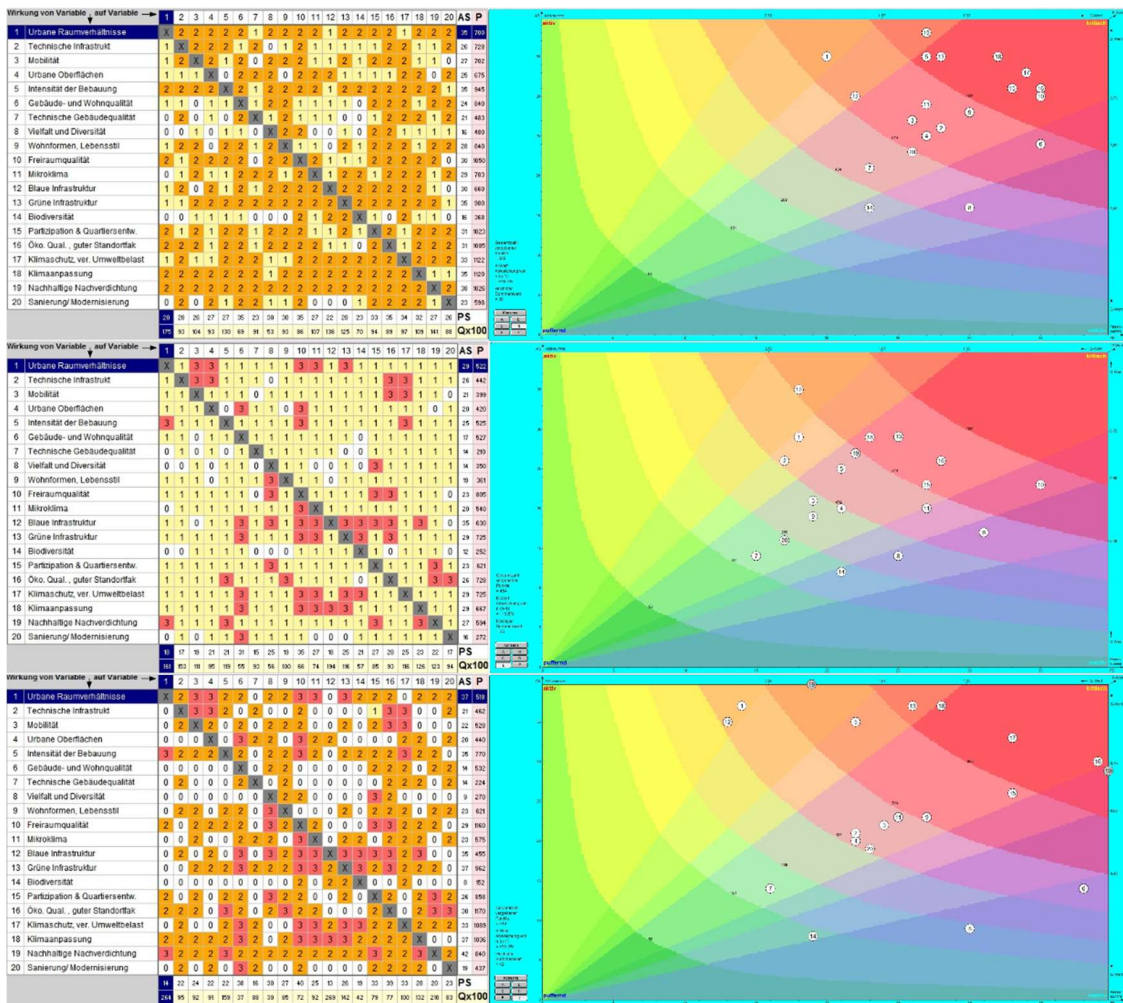


Abbildung 12: Analyse Einfluss der Wirkungsstärke auf die Rollenverteilung (Vester, 2016)

Die Analyse ergibt, dass sich durch die Reduktion der 3er zu 2er Wirkungen die Verteilung im Tableau nur geringfügig verändert. Die Variablen mit stark *kritischem* Charakter sind nicht mehr auf den Achsen lokalisiert, ihr Verhalten ist etwas neutraler. Eine Veränderung aller 2er zu 1er Wirkungen zeigt eine Verschiebung der Variablenverteilung in Richtung der Mitte des Tableaus. Besonders hervorzuheben ist der Einfluss einer Veränderung der 1er zu 0er Wirkungen, hier verstreuen sich die einzelnen Variablen deutlich breiter. Gemeinsam haben alle drei Rollenverteilungen den kritischen Systemcharakter, keine der Einflussvariablen ist im puffernden Bereich verortet.

Die Überarbeitung der Konsensmatrix (s. Abbildung 9) unter Berücksichtigung der erstellten Konsensregeln (s. Kapitel 3.4.3) und dem gemeinsam gefundenen Konsens aus dem Folgeworkshop ergibt folgende Rollenverteilung (s. Abbildung 13).



Abbildung 13: Überarbeitete Konsensmatrix (Harrer, 2016)

Um die für das Gesamtsystem relevanten Variablen zu analysieren, werden die Werte für AS, PS, P-Wert und Q-Wert hinzugezogen. Welche Eigenschaft der jeweilige Wert hat, ist in Kapitel 3.5.1 beschrieben. Tabelle 3 stellt eine Übersicht der relevanten Variablen hinsichtlich des Ergebnisses der Rollenverteilung mit resultierendem Systemverhalten dar.

Die Variablen *Intensität der Bebauung* und *Nachverdichtung* haben eine hohe Aktivsumme. Entsprechend haben sie bei einer kleinen Veränderung bereits eine große Wirkung auf das Gesamtsystem. Bei einer Erhöhung der baulichen Dichte durch Aufstockungen und Schließen von Baulücken, wird Fläche versiegelt und die Stadtstruktur verändert. Dies hat unter anderem Auswirkungen auf die *urbanen Raumverhältnisse* und *Oberflächen*. Das *Mikroklima* und der damit korrelierende Heat-Island-Effekt verändert sich durch die Zunahme der baulichen Masse und die dadurch verschlechterte Durchlüftungssituation auf städtebaulicher Ebene. Bis hingegen eine Änderung der Einflussfaktoren *Biodiversität* oder *Vielfalt und Diversität* im Quartier eine sichtbare Auswirkung hat, muss die Variable eine starke Änderung vorweisen. Das *puffernd-reaktive* Verhalten hat eine stabilisierende Wirkung auf das Gesamtsystem.

Als Indikatoren eignen sich die Variablen *Freiraumqualität*, *Gebäude- und Wohnqualität* und *Klimaschutz, Verringerung der Umweltbelastung*. Sie besitzen eine hohe PS und verändern sich stark, sobald etwas im System passiert. Eine kleine Veränderung der

Urbanen Raumverhältnisse zum Beispiel durch den Bau von Häusern, hat auf Quartiersebene bereits einen großen Einfluss auf die anderen Variablen. Die *Freiraumqualität* kann durch eine Reduktion der Freifläche und zunehmende Versiegelung negativ beeinflusst werden. Diese Beeinflussung wirkt sich direkt auf die Wohnqualität aufgrund fehlender Erholungsmöglichkeiten der Bewohner:innen aus. Die Einflussgrößen *Urbane Raumverhältnisse* und *Blaue Infrastruktur* werden durch eine niedrige PS gekennzeichnet. Hier müssen sich die Systemverhältnisse stark ändern, bis die jeweilige Variable beeinflusst wird. Gebäude, Straßen oder ein Fluss lassen sich nicht unmittelbar verändern. Für eine Umgestaltung dieser Einflussgrößen, müssen strukturelle Änderungen vorgenommen werden, diese ziehen in der Realität einen langfristigen Planungsprozess mit sich.

Ein hoher P-Wert spricht für eine Beteiligung am Systemverhalten und einen *kritischen* Variablencharakter. Die Eigenschaften der Variablen *Klimaschutz*, *Verringerung der Umweltbelastung* und *Freiraumqualität* werden somit erweitert. Sie verändern sich nicht nur stark, sobald etwas im System passiert, sondern wirken auch *kritisch* auf das Gesamtsystem ein. Folglich dienen sie als Beschleuniger und Katalysatoren und eignen sich, um auf Systemebene weitere Prozesse zu initiieren. Sie haben demnach eine entscheidende Funktion für das System. Das Gegenstück, mit einer *neutral-puffernden* Wirkung und einer kaum vorhandenen Beteiligung am System, stellt die Variable *Biodiversität* dar.

Der Q-Wert, das Verhältnis von AS zu PS, beschreibt, wie *aktiv* oder *reaktiv* der Variablencharakter ist und wie hoch der Einfluss auf das System ist. Einen hohen Q-Wert haben die Variablen *Urbane Raumverhältnisse* und *Blaue Infrastruktur*. Durch die doppelte Charaktereigenschaft mit der niedrigen PS ergibt sich ein interessantes Systemverhalten. Eine Veränderung der Variablen findet zwar erst bei einer deutlichen Systemveränderung statt, hat aber dennoch einen Einfluss im System. Insbesondere *Blaue Infrastruktur* hat durch den sozial verbindenden Aspekt und die Lebensrelevanz für Menschen, Tiere und Pflanzen einen aktiven Einfluss. *Biodiversität* und *Vielfalt und Diversität* haben neben einer niedrigen AS auch einen geringen Q-Wert. Sie verhalten sich *reaktiv* und haben keinen Einfluss auf das System.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Variablen *Blaue Infrastruktur*, *Urbane Raumverhältnisse*, *Nachverdichtung* und *Intensität der Bebauung* als Einflussgrößen mit Hebelfunktion für das System identifiziert werden.

Die beschriebene Charakteristik der Rollenverteilung ist in Tabelle 3 noch einmal dargestellt.

Tabelle 3: Übersicht Variablencharakter der Rollenverteilung

Wirkung	Systemverhalten	Variablen	Punkte
Hohe AS	Kleine Änderung der Variable hat große Wirkung auf das System	V19 Nachverdichtung	38
		V5 Intensität der Bebauung	37
		V13 Grüne Infrastruktur	35
Niedrige AS	Viel Veränderung notwendig, bis Variable eine Wirkung auf das System hat	V14 Biodiversität	13
		V8 Vielfalt und Diversität	14
		V6 Gebäude- und Wohnqualität	20
Hohe PS	Kleine Änderung im System, starke Veränderung der Variable	V10 Freiraumqualität	43
		V6 Gebäude- und Wohnqualität	36
		V17 Klimaschutz, Verringerung der Umweltbelastung	36
Niedrige PS	Viel Änderung im System notwendig, bis Variable beeinflusst wird	V1 Urbane Raumverhältnisse	17
		V12 Blaue Infrastruktur	19
Hoher P-Wert	Kritisch, Beteiligung am Systemverhalten	V10 Freiraumqualität	1247
		V17 Klimaschutz, Verringerung der Umweltbelastung	1260
		V18 Klimaanpassung	1050
Niedriger P-Wert	Puffernd, ausgleichende Wirkung	V14 Biodiversität	338
		V8 Vielfalt und Diversität	448
Hoher Q-Wert	Aktiv, die Variable hat einen starken Einfluss im System	V1 Urbane Raumverhältnisse	200
		V12 Blaue Infrastruktur	174
Niedriger Q-Wert	Reaktiv, Variable hat keinen Einfluss im System	V14 Biodiversität	50
		V8 Vielfalt und Diversität	44

Eine Veränderung von *Klimaschutz, Verringerung der Umweltbelastung* und *Klimaanpassung* kann durch die recht hohe AS und PS unerwartete Wirkungsketten auslösen. Dies sollte unter Berücksichtigung der bereits beschriebenen Wechselwirkungen und

Charaktereigenschaften auf Variablen- und Systemebene beachtet werden. Das Gesamtsystem hat einen deutlich *kritischen* Charakter, es verhält sich *aktiv* und hat einen eigenen Antrieb für Veränderungen, kann sich aber nicht selbstständig stabilisieren.

3.5.3. Evaluation der Rollenverteilung

Die Interpretation der Rollenverteilung basiert auf dem Prinzip der Kybernetik. Die Analyse der Variablencharakteristik und wirksamer Schalthebel ist ein entscheidender Schritt in der Systembetrachtung. Durch die Erkenntnisse der Variablencharaktere und Rollenverteilung kann zielgerichtet auf das Systemverhalten Einfluss genommen werden. Es sind die ersten Ergebnisse, die in der Realität angewandt werden können.

Zwar ist die Interpretation schwierig, da ein gewisses Systemverständnis notwendig ist, doch die Ergebnisse können bereits einen deutlichen Mehrwert im Anwendungskontext bringen. Die kombinierte Analyse des Rollentableaus und der Werte für AS, PS, P- und Q-Wert ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung des Arbeitsschritts.

3.6. Wirkungsgefüge aller Wechselwirkungen

3.6.1. Aufstellen des Wirkungsgefüges

Das Wirkungsgefüge stellt das spezifische Zusammenspiel der Einflussparameter dar. Die Regelkreise dienen als Indikatoren und beschreiben mit den Rückkopplungen die Wechselwirkungen und das Systemverhalten. Für den Aufbau des Wirkungsgefüges werden die tatsächlich aktiven Variablenbeziehungen festgehalten. Das Wirkungsgefüge betrachtet das System aus einer anderen Perspektive als im Arbeitsschritt der Einflussmatrix, es sollen bisher unentdeckte Fehler identifiziert und korrigiert werden. Die Variablen werden mittels Wirkungspfeilen verbunden, um die Art und Weise der Wechselwirkung betrachten zu können. Es wird zwischen gleichgerichteter oder gegensinniger Wirkung differenziert. Es erfolgt ein Anstieg der Zielvariable, wenn die Ausgangsvariable ansteigt, so ist die Wirkung gleichsinnig (+) und wird mit einem durchgezogenen Pfeil markiert. Ist die Beziehung gegensinnig (-) verursacht ein Anstieg ein Absinken und die Wirkung wird mit einem gestrichelten Pfeil markiert. Sind mehrere Variablen durch wechselseitige Beziehungen verbunden, werden diese als Rückkopplungen bezeichnet.

Eine positive Rückkopplung ist vorhanden, wenn zwei Variablen mit jeweils zwei gleichartigen Pfeilen (Hin- und Rückrichtung) verbunden sind. Es gibt zwei Arten von positiven Rückkopplungen: zweimal gleichsinnige Wirkung oder zweimal gegensinnige Wirkung. Positive Rückkopplungen stehen für instabile Beziehungen, sie haben die Eigenschaft sich selbst zu verstärken. Dennoch sind sie hilfreich, um Entwicklungen in einem System zu initialisieren.

Negative Rückkopplungen, also eine Kombination aus gleich- und gegensinniger Beziehung zwischen zwei Variablen, sind besonders wichtig, da diese auf Selbstregulation im System hinweisen und Veränderungen abfedern können. Entsprechend ist es sinnvoll, wenn negative Rückkopplungen in einem System überwiegen.

Abbildung 14 zeigt den Unterschied zwischen negativen und positiven Rückkopplungen in Regelkreisen.

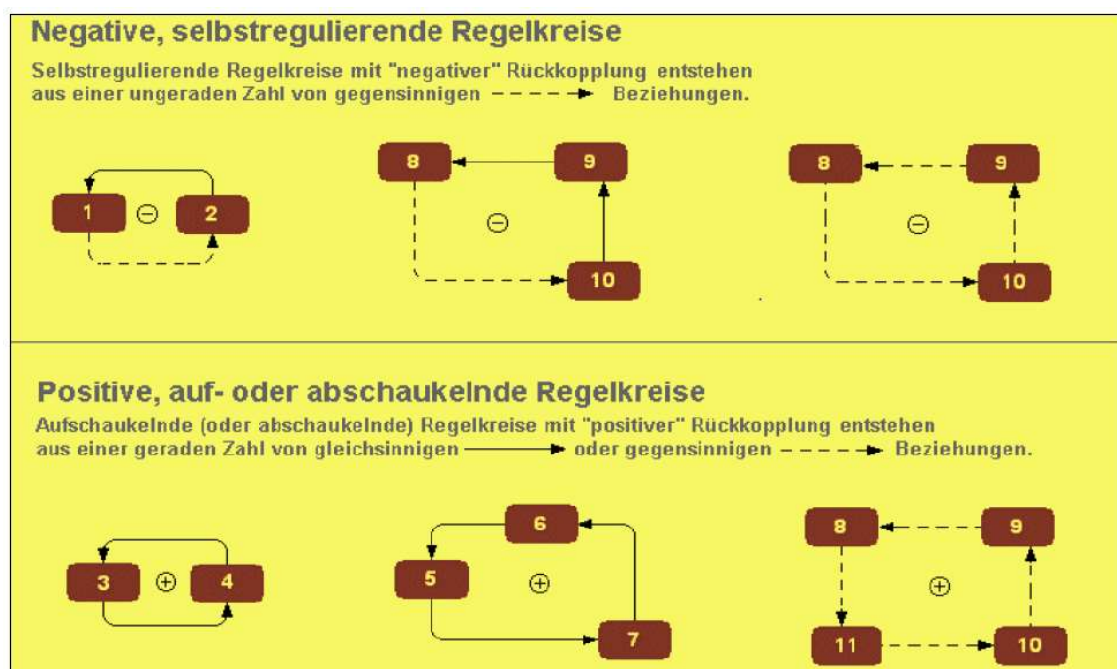


Abbildung 14: Beschreibung negativer und positiver Regelkreise (Harrer, 2016)

Um ein Wirkungsgefüge aufzubauen ist es hilfreich, zunächst eine Liste der Variablen mit ihren tatsächlich aktiven Variablenbeziehungen sowie deren Wirkungsart (gleich- bzw. gegensinnig) aufzustellen. Dabei ist zu beachten, dass je Variable maximal 16 Pfeile angebunden werden können, es sollten also möglichst wenige Wirkungen eingetragen werden. Im Wirkungsgefüge werden nur Wirkungen, die in der Konsensmatrix

mit 2er oder 3er Wirkung bewertet wurden, berücksichtigt. Triviale Wirkungen können situationsbedingt weggelassen werden (Harrer-Puchner, 2022). Der Aufbau und die Verknüpfung der Variablen in der Software finden händisch statt. Besondere Vernetzungen und Schwerpunkte lassen sich an der Anzahl der verknüpften Einflussgrößen erkennen. (Anders, 2016, 243 ff.; Harrer, 2016; Vester, 1991, 104 ff., 2015, 239 ff.)

3.6.2. Regelkreisanalyse und Methodik des Wirkungsgefüges

Das Wirkungsgefüge (s. Abbildung 15) wurde nach den oben beschriebenen Schritten mit allen Variablen und zwei verschiedenen Varianten aufgebaut.

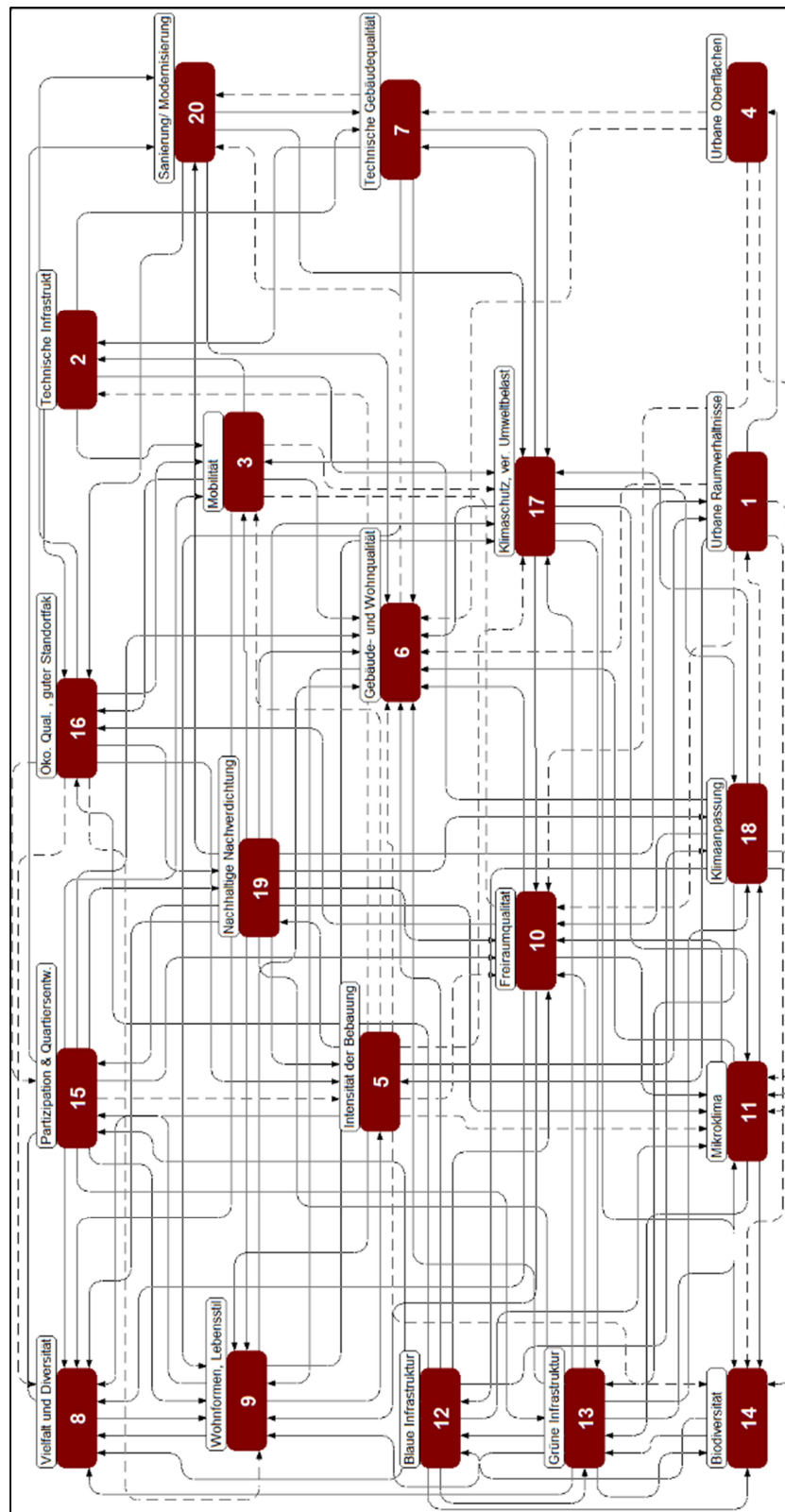


Abbildung 15: Wirkungsgefüge der Variante 2 (Vester, 2016)

Die erste Variante betrachtet die *Nachverdichtung* (19a) eher im klassischen Sinne, wie in allen bisherigen Arbeitsschritten, die zweite Variante geht von einer *Nachhaltigen Nachverdichtung* (19b) im Kontext des Klimawandels aus. Einige Wirkungen unterscheiden sich bei den beiden Varianten in ihrer Bewertungsrichtung nach Fuzzy-Logic:

Tabelle 4: Unterschiede der Variantenbetrachtung *Nachverdichtung* und *Nachhaltige Nachverdichtung*

Nachverdichtung (19a)	Nachhaltige Nachverdichtung (19b)
Maximale Ausnutzung des innerstädtischen Nachverdichtungspotenzials, sehr starke Bebauungsdichte, Verschlechterung der Freiraumqualität/ Lebensqualität (Verdrängung von Blauer und Grüner Infrastruktur), Steigerung der Flächeninanspruchnahme auf Quartiersebene und Senkung im Großraum Stadt.	Optimierung der baulichen Dichte durch Nachverdichtung (gutes Verhältnis von versiegelter (bebaut, unbebaut) zu unversiegelter Fläche), angenehme Dichte, Erhaltung und Steigerung der Freiraumqualität/ Lebensqualität (Steigerung von Grüner und Blauer Infrastruktur, Integrierung von Klimaanpassungsmaßnahmen). Steigerung der Energieeffizienz auf Gebäudeebene.
V6 Gebäude- und Wohnqualität -2L V10 Freiraumqualität -2L V11 Mikroklima -2L V13 Grüne Infrastruktur -2L V17 Klimaschutz -2L V18 Klimaanpassung -3L	V6 Gebäude- und Wohnqualität +2L V10 Freiraumqualität +2L V11 Mikroklima +2L V13 Grüne Infrastruktur +2L V17 Klimaschutz +2L V18 Klimaanpassung +3L

**In der Tabelle wurden nur die Wirkungen aufgeführt, die sich hinsichtlich der beiden Varianten aufgrund ihrer Wirkungsrichtung unterscheiden.*

Alle Arbeitsschritte innerhalb des Wirkungsgefüges sowie die noch folgende Regelkreisanalyse wurden für beide Varianten durchgeführt. Die Ergebnisse sind leicht unterschiedlich, haben aber gesamtsystematisch betrachtet keinen wesentlichen Einfluss. Variante 2 dient als Zielvorstellung für Nachverdichtungsszenarien in der Zukunft, daher wird im weiteren Verlauf der Arbeit mit Variante 2 *Nachhaltiger Nachverdichtung* im Kontext des Klimawandels weitergearbeitet. Alle entsprechenden Interpretationen und Ergebnisauswertungen können nach der gleichen Methode auch auf Variante 1 angewandt werden.

Das Wirkungsgefüge stellt in Kombination mit verschiedenen Einstelloptionen der Software eine Vielzahl an Ergebnismöglichkeiten bereit. Um die Ergebnisse besser interpretieren und Aussagen für das betrachtete komplexe System treffen zu können, wurde mit folgender Methodik gearbeitet.

Methodik

1. Parameteranalyse: Einstellungsoptionen der Software
2. Variablenanalyse: Überprüfung welche Variablen am stärksten in Regelkreise eingebunden sind
3. Ausblenden einzelner Variablen: Berechnung der Rückkopplungsdifferenz, um über die veränderte Vernetzung auf Variablenrelevanz zu schließen
4. Betrachtung ausgewählter interessanter Regelkreise

Schritt zwei und drei der Methodik dienen zur Identifikation der wichtigsten Variablen. In Schritt 4 dienen die ausgewählten Variablen als Indikator, um interessante Regelkreise zu erkennen. Nach der Parameteranalyse beginnt die Regelkreisanalyse.

Die Regelkreise innerhalb des Wirkungsgefüges dienen als Indikatoren, entsprechend bilden sie die Grundlage der Regelkreisanalyse, die innerhalb der Software durchgeführt werden kann. Neben der Darstellung aller stabilisierender (neg) und verstärkender (pos) Rückkopplungen wird die Einbindung der einzelnen Variablen in die verschiedenen Regelkreise und eine Gesamteinbindung angegeben. Weiterhin ermöglicht die Analyse das Ausblenden einzelner Variablen innerhalb des Wirkungsgefüges, um so eine Veränderung der Anzahl der stabilisierenden und verstärkenden Rückkopplungen zu berücksichtigen. Besonders stark verknüpfte Variablen gilt es zu identifizieren, da die Wechselwirkungen das Systemverhalten entscheidend beeinflussen.

Methodik Schritt 1: Parameteranalyse

Die Software bietet verschiedene Einstelloptionen (siehe Abbildung 16) hinsichtlich der Liste der verstärkenden und stabilisierenden Rückkopplungen, die innerhalb der Regelkreisanalyse angezeigt werden. Zum einen kann die „Maximale Anzahl der Regelkreise“ eingestellt werden, hier ist das Minimum 500 und das Maximum 16.000. In Korrelation hierzu steht die Länge der Rückkopplungen, diese verändert sich automatisch mit der Anzahl der betrachteten Regelkreise. Je mehr Regelkreise berücksichtigt werden, desto länger wird die Länge der Rückkopplungen. Die „Maximale Länge der Rückkopplungen“ lässt sich zudem manuell einstellen. Um die verstärkenden mit den stabilisierenden Rückkopplungen vergleichen zu können, ist eine gleiche Länge an Rückkopplungen notwendig.

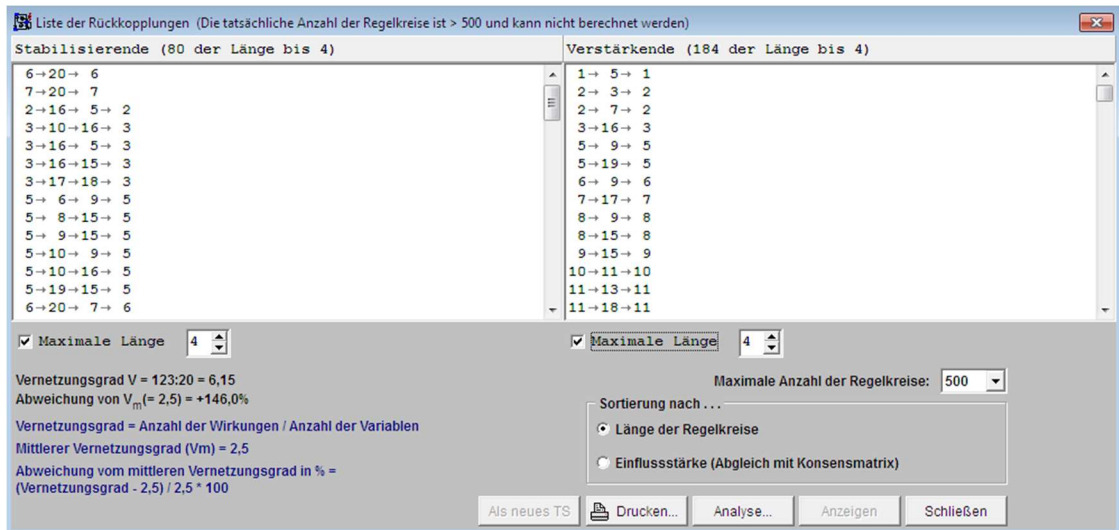


Abbildung 16: Einstelloptionen der Regelkreisanalyse in der Software (Vester, 2016)

Zur optimalen Einstellung dieser Parameter gibt es in der vorhandenen Literatur keine Angaben, daher wurde eine Parameteranalyse durchgeführt, um geeignete Werte zu ermitteln. Entsprechend wurden die Einstelloptionen „Maximale Anzahl der Regelkreise“ und „Maximale Länge der Rückkopplungen“ für beide Varianten variiert und verglichen. Es ergeben sich zwei mögliche Einstelloptionen (Fall 1, Fall 2):

Tabelle 5: Einstelloptionen der Parameteranalyse

Fall	Maximale Anzahl der Regelkreise	Maximale Länge der Rückkopplung	Stabilisierende Rückkopplungen	Verstärkende Rückkopplungen
1	500	4	80	184
2	1000	5	326	582

Wegen der übersichtlicheren Anzahl an Regelkreisen, werden alle weiteren Betrachtungen der Regelkreisanalyse mit den Einstelloptionen von Fall 1 durchgeführt.

Bei beiden Optionen überwiegen die verstärkenden Rückkopplungen, was bedeuten könnte, dass sich das System leicht aufschaukelt. Grundsätzlich sollten die stabilisierenden Rückkopplungen die verstärkenden überwiegen. Stabilisierende Rückkopplungen wirken puffernd, können ein System aber auch schnell träge machen oder hemmend oder blockierend wirken. Verstärkende Rückkopplungen dienen als Antreiber oder Motoren und können für bestimmte Systeme, in denen Veränderung erwünscht ist,

essenziell sein. Durch die starke Verknüpfung im Wirkungsgefüge ist die Anzahl an Rückkopplungen recht hoch, dies spricht für ein in sich autarkes Systemverhalten. Durchflusssysteme werden durch eine geringe Anzahl an Rückkopplungen charakterisiert und sind abhängig von äußeren Faktoren. (Harrer-Puchner, 2022)

Methodik Schritt 2 und 3: Analyse wichtiger Variablen

Zunächst wurden die einzelnen Variablen auf deren maximale Anzahl an Einbindungen in Regelkreisen untersucht. Anschließend werden einzelne stark vernetzte Variablen im Wirkungsgefüge ausgeblendet, um mittels der sich ergebenden Differenz der Rückkopplungen deren Systemrelevanz zu bestätigen. Die Analyse ergab, dass die in dargestellten Variablen für das System und entsprechende Wechselwirkungen von Relevanz sind.

Tabelle 6 dargestellten Variablen für das System und entsprechende Wechselwirkungen von Relevanz sind.

Tabelle 6: Auswahl wichtiger Variablen

Stärkste Einbindung in Regelkreise	Größte Rückkopplungsdifferenz
V5 Intensität der Bebauung V9 Wohnformen, Lebensstil V16 Öko. Qualität, guter Standortfaktor V10 Freiraumqualität	V5 Intensität der Bebauung V13 Grüne Infrastruktur V15 Partizipation u. Quartiersentwicklung V16 Öko. Qualität, guter Standortfaktor

**Die Reihenfolge ist ein Indikator für die Stärke der Einbindung bzw. die Höhe der Rückkopplungsdifferenz*

Bei Methodik Schritt 2 (Max. Einbindung in Regelkreisen) überwiegt die Einbindung der Variablen in stabilisierenden Regelkreisen. In Methodik Schritt 3 (Ausblenden von einzelnen Variablen) überwiegt die Anzahl und Abweichung der Rückkopplungsdifferenz bei den verstärkenden Rückkopplungen. Dies könnte ein zusätzlicher Indikator für das kritische und aufschaukelnde Verhalten der Variablen im Gesamtsystem darstellen. Der wesentliche Unterschied ist die Betrachtungsebene. In Schritt 2 wird die Variablenebene, in Schritt 3 die Systemebene betrachtet. Auf Systemebene überwiegen die verstärkenden Rückkopplungen, sprich das System hat zwar viele Motoren und ist nicht träge, kann sich aber schnell aufschaukeln. Die Variablenebene wird durch stabilisierende Rückkopplungen geprägt, dies lässt auf einen schlüssigen und gut gewählt Variablensatz schließen.

Methodik Schritt 4: Betrachtung ausgewählter interessanter Regelkreise

Der letzte Schritt der Regelkreisanalyse (vgl. Methodik Schritt 4) stellt die detaillierte Untersuchung einiger weniger interessanter Regelkreise (s. Tabelle 7) und ihrer Wirkungsketten dar. Lange Regelkreise mit vielen Zwischenstufen wirken oftmals erst zeitverzögert, werden spät bemerkt und können dann gefährliche Wirkungen verursachen. Kurze Regelkreise, bestehend aus 2-3 Variablen, ergeben schnelle Reaktionen und kommen in den längeren Regelkreisen immer wieder vor. Daher ist es sinnvoll, hier den Fokus bei der Regelkreisanalyse zu setzen. Aus den untersuchten Regelkreisen ergeben sich die für das System wesentlichen Wechselwirkungen die in Kapitel 4.1 beschrieben werden.

Tabelle 7: Ausgewählte interessante Regelkreise aus Variante 2 Nachhaltige Nachverdichtung

Verstärkende Regelkreise	
5-8-15-9-5	Intensität der Bebauung > Vielfalt und Diversität > Partizipation und Quartiersentwicklung > Wohnformen, Lebensstil > Intensität der Bebauung
5-10-8-15-5	Intensität der Bebauung > Freiraumqualität > Vielfalt und Diversität > Partizipation und Quartiersentwicklung > Intensität der Bebauung
5-19-10-9-5	Intensität der Bebauung > Nachhaltige Nachverdichtung > Freiraumqualität > Wohnformen, Lebensstil > Intensität der Bebauung
9-17-11-10-9	Wohnformen, Lebensstil > Klimaschutz > Mikroklima > Freiraumqualität > Wohnformen, Lebensstil
10-16-19-13-10	Freiraumqualität > Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor > Nachhaltige Nachverdichtung > Grüne Infrastruktur > Freiraumqualität
Stabilisierende Regelkreise	
5-10-16-15-5	Intensität der Bebauung > Freiraumqualität > Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor > Partizipation und Quartiersentwicklung > Intensität der Bebauung
5-19-8-15-5	Intensität der Bebauung > Nachhaltige Nachverdichtung > Vielfalt und Diversität > Partizipation und Quartiersentwicklung > Intensität der Bebauung

9-15-10-16-9	Wohnformen, Lebensstil > Partizipation und Quartiersentwicklung > Freiraumqualität > Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor > Wohnformen, Lebensstil
9-17-10-16-9	Wohnformen, Lebensstil > Freiraumqualität > Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor > Wohnformen, Lebensstil
10-16-15-13-10	Freiraumqualität > Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor > Partizipation und Quartiersentwicklung > Grüne Infrastruktur > Freiraumqualität

Beispielhaft wird ein verstärkender (s. Abbildung 17) und ein stabilisierender (s. Abbildung 18) Regelkreis aus Tabelle 7 mit ausgewählten Inhalten der Variablenbeschreibung und möglichen Einflüssen nachfolgend beschrieben. Dies ist eine exemplarische und vereinfachte Interpretation der betrachteten Regelkreise.

Verstärkender Regelkreis: *Wohnformen, Lebensstil > Klimaschutz > Mikroklima > Freiraumqualität > Wohnformen, Lebensstil*

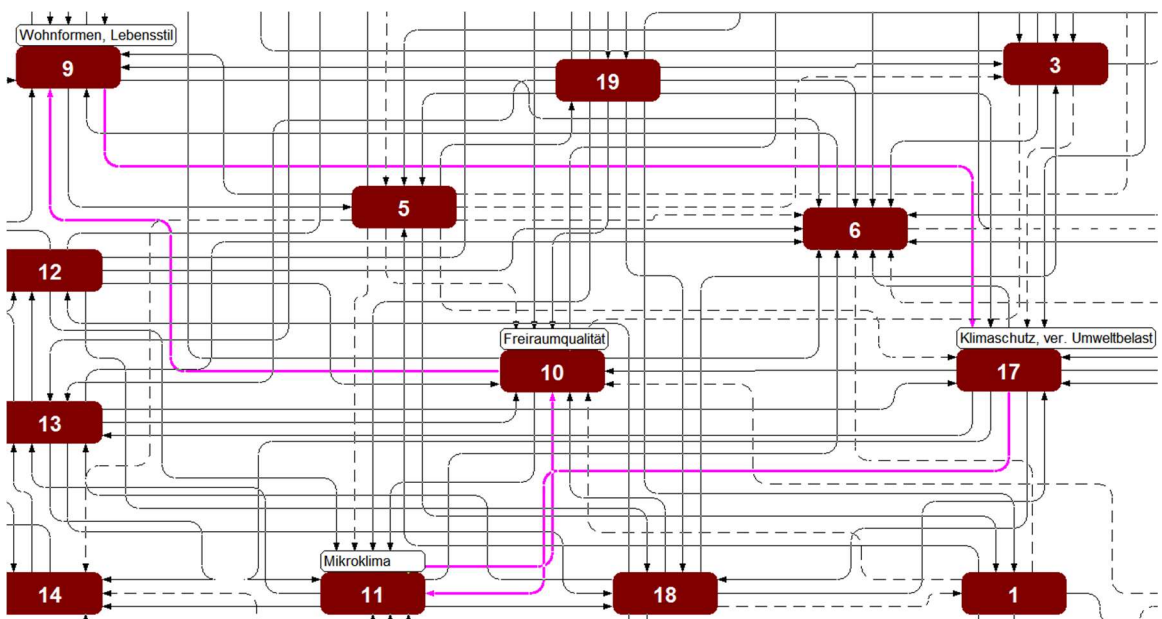


Abbildung 17: Verstärkender Regelkreis: *Wohnformen, Lebensstil > Klimaschutz > Mikroklima > Freiraumqualität > Wohnformen, Lebensstil* (Vester, 2016)

Die Variable *Wohnformen, Lebensstil* hat durch suffizientes Wohnen, wie einer reduzierten Wohnfläche und einem gesunden Lebensstil durch überwiegendes Fahrradfahren zur Fortbewegung eine gleichgerichtete Wirkung auf den *Klimaschutz*. Durch Ver-

besserung des Klimaschutzes können im Bereich Wohnen der Rohstoff- und Energiebedarf sowie Emissionen und Treibhausgase reduziert werden, was sich positiv auf das *Mikroklima* auswirkt. Eine Verbesserung des Mikroklimas und die Reduktion damit einhergehender Phänomene wie beispielsweise dem Urban Heat Island Effekt verbessern den Außenraumkomfort, was sich wiederum positiv auf die *Freiraumqualität* auswirkt. Eine gute *Freiraumqualität* durch eine hohe Luftqualität und angenehmen Aufenthaltskomfort steigert das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bewohner:innen und Nutzer:innen und wirkt sich vorteilhaft auf *Wohnformen* und den *Lebensstil* aus.

Stabilisierender Regelkreis: *Wohnformen, Lebensstil* > *Partizipation und Quartiersentwicklung* > *Freiraumqualität* > *Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor* > *Wohnformen, Lebensstil*

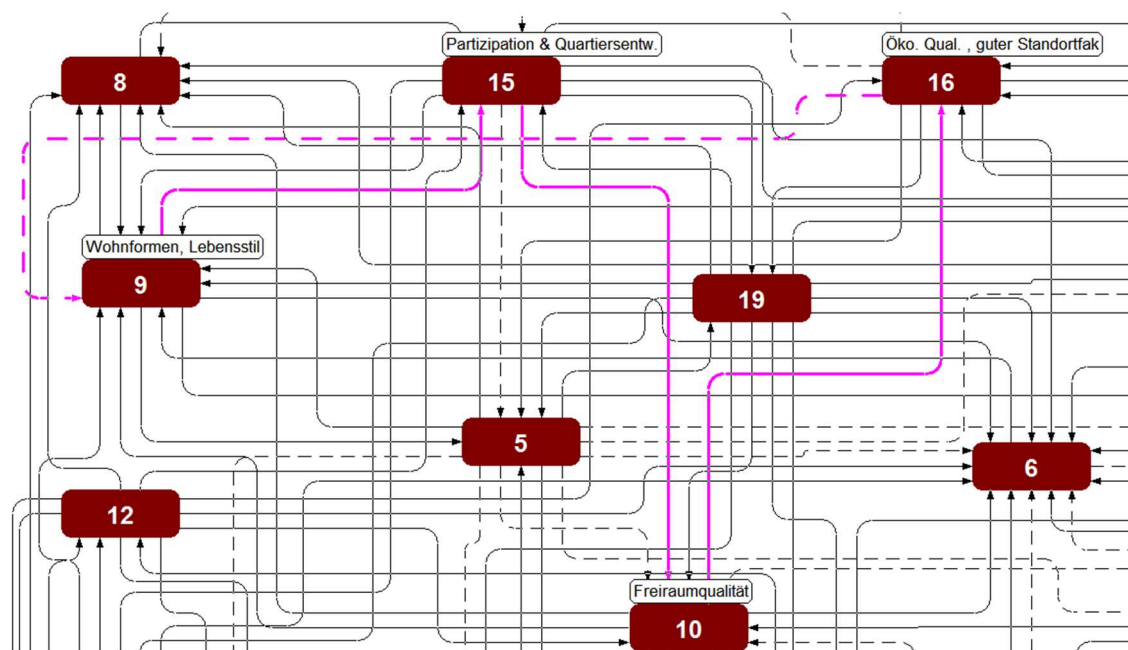


Abbildung 18: Stabilisierender Regelkreis: *Wohnformen, Lebensstil* > *Partizipation und Quartiersentwicklung* > *Freiraumqualität* > *Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor* > *Wohnformen, Lebensstil* (Vester, 2016)

Soziale Wohnformen und gemeinsame Wertevorstellungen von Bewohner:innen und Nutzer:innen als Teil der Variable *Wohnformen, Lebensstil* wirken sich positiv auf die *Partizipation und Quartiersentwicklung* aus. Soziales Miteinander und Austausch steigern Bürgerinitiativen und die Quartiersidentität. Durch aktive Bürgerbeteiligung und Initiativen im Außenraum, wie beispielsweise die Gestaltung von Sitz- und Spielmöglichkeiten oder Urban Gardening, steigt die Freiraum- und Aufenthaltsqualität. Dies wirkt

sich positiv auf die *Ökonomische Qualität* des Standortes aus, was zur Folge hat, dass die Nutzung und Dichte sowie entsprechende Preise steigen. Hohe Boden- und Baupreise und eine starke Nutzungsdichte wirken sich negativ auf bezahlbare Wohnformen und das Individualwohl und somit die Anfangsvariable *Wohnformen* und *Lebensstil* aus. (Anders, 2016, 245 ff.; Hafner, 2011, 86 ff.; Harrer, 2016, 15 ff.; Harrer-Puchner, 2022; Vester, 1991, 104 ff., 2015, 239 ff.; Wulfhorst, 2003, 89 ff.)

3.6.3. Evaluation des Wirkungsgefüges

Das Wirkungsgefüge ist ein sehr komplexer und zeitintensiver Arbeitsschritt. Es wirkt zunächst irritierend, dass die Wirkungsbetrachtung der Konsensmatrix kaum einen Einfluss hat, doch der Betrachtungsunterschied zwischen potenzieller und aktiver Wirkung in Kombination mit der limitierten Anzahl an umsetzbaren Wirkungen ergibt ein neues Bild des Systems.

Die Reduktion der Wirkungen auf ein Minimum beziehungsweise maximal 16 Stück pro Variable, etablierte sich erst während der Bearbeitung des Wirkungsgefüges, weshalb der Arbeitsschritt mehrfach durchgeführt werden musste. Eine Reduktion auf die wesentlichen Wirkungen macht das Wirkungsgefüge übersichtlicher und erhöht die Aussagekraft. Die Empfehlung möglichst wenig Beziehungen einzutragen, erfolgt durch Frau Harrer-Puchner. Allerdings ist bei der Anzahl an Wirkungen zu berücksichtigen, dass im Laufe der Zeit die Wirkungsgefüge immer dichter werden, da durch die Digitalisierung alles sehr stark vernetzt ist. (Harrer-Puchner, 2022)

Die Vielzahl an Einstelloptionen der Software erschwerte die Interpretation der Ergebnisse des Wirkungsgefüges zunächst stark. Die selbst entwickelte Parameteranalyse ergibt zwar geeignete Ergebnisse für die Interpretation und Auswertung, dennoch könnten auch andere Einstellparameter geeignet sein. Die nicht eingeplante Parameteranalyse ist zeitintensiv und wäre bei tieferem Systemwissen oder einer detaillierteren Softwareanleitung nicht notwendig.

Laut Harrer-Puchner ist für eine detaillierte Regelkreisanalyse des Wirkungsgefüges „Erfahrung und Fingerspitzengefühl“ (Harrer-Puchner, 2022) notwendig. Entsprechend schwierig ist eine qualitative und aussagekräftige Analyse der Variablen mit ihren Wechselwirkungen und Rückkopplungen bei wenig Systemerfahrung. Die Individualität der Bearbeiter:in spielt eine essenzielle Rolle bei der Interpretation des Wirkungsgefüges.

Die Auswahl der interessanten detaillierter betrachteten Regelkreise wird durch das Interesse und Hintergrundwissen der bearbeitenden Person beeinflusst.

Verbesserungsmöglichkeiten zur Analyse und Auswertung des Wirkungsgefüges:

- Betrachtung und interpretieren von mehr Regelkreisen
- Beim Ausblenden von Variablen, um deren Wichtigkeit im System zu analysieren, wurde bisher nur die Veränderung der Gesamtanzahl an Regelkreisen (Systemebene) betrachtet. Hier wäre zusätzlich die Berücksichtigung der veränderten Regelkreise der anderen Variablen sinnvoll (Variablenebene)
- Weglassen von Variablen im Gesamtwirkungsgefüge abhängig von der Fragestellung der Systembetrachtung
- Übersichtlichere Darstellung mit anderer Software. Bspw. Visio (Frommer, 2021), yED oder Node XL (Anders, 2016)

3.7. Teilszenario und Simulation

3.7.1. Teilszenarien entwickeln

Der Aufbau von Teilszenarien wird oftmals genutzt, um eine Fragestellung oder die Einführung von konkreten Maßnahmen im Systemkontext genauer zu betrachten. Weiterhin dienen Teilszenarien zur Erlangung eines tieferen Verständnisses der inneren Kybernetik des Systems und als Grundlage für die Simulation. Der Zusammenhang mit dem Gesamtwirkungsgefüge bleibt bestehen, da die Teilszenarien aus diesem hervorgehen und sich gegenseitig überlappen. Zum Aufbau von Teilszenarien ist es zunächst wichtig die konkrete Wirkung der Variablen in der Realität zu hinterfragen. Um hierfür die notwendigen Variablen auszusuchen, ist eine thematische Priorisierung notwendig. Hierarchie und Zugehörigkeit der Variablen spielt hier eine untergeordnete Rolle. Oftmals ist es hilfreich die ausgewählten Variablen für das Teilszenario in Untervariablen aufzusplitten, thematisch ähnliche Variablen zusammenzufassen oder zusätzlich Hilfsvariablen einzuführen. Durch die Umbenennung einzelner Variablen können diese konkretisiert werden. Starke indirekte Wirkungen zwischen Variablen sollten im Teilgefüge berücksichtigt werden. Bei dem Wirkungsverlauf A-B-C würde im Teilgefüge, wenn die Variable B entfällt, die Wirkung A-C übernommen werden. Verändert sich eine Variable

im Laufe der Zeit ohne Einfluss anderer Variablen, sollte dies für die spätere Simulation mittels einer eigenen Rückwirkung dargestellt werden.

Aus dem gesamten Wirkungsgefüge können beliebig viele Teilszenarien herausgezogen werden. Ein Teilszenario sollte aus drei bis zehn Variablen bestehen. Eine eindeutige kybernetische Funktion lässt sich insbesondere für kleinere Teilszenarien mit bis zu vier Variablen bestimmen. In den untersuchten Teilbereichen lassen sich durch genaue Analyse kritische Größen, aufschaukelnde Rückkopplungen, wirksame Ansatzhebel und Operatoren für Verbesserungen des Systems identifizieren. (Anders, 2016, S. 257–263; Harrer, 2016, S. 18; Vester, 1991, S. 111–114, 2015, S. 250–254; Wulfhorst, 2003, S. 94)

3.7.2. Teilszenario „Bauliche Dichte und Außenraum“

Um mit den Arbeitsschritten Teilszenario und dem Aufbau der Simulation vertraut zu werden, wurde zunächst ein Testteilszenario mit vier Variablen aufgebaut. Insbesondere für eine Abschätzung des Arbeitsaufwands und um die Aussagekraft der Ergebnisse besser abschätzen zu können, war dies hilfreich.

Die Variablen *Freiraumgestaltung* (ursprünglich: *Freiraumqualität*), *Nachhaltige Nachverdichtung*, *Bebauungsdichte* (ursprünglich: *Intensität der Bebauung*) und *Sanierung/Modernisierung* bilden als einige der für das System wesentlichen Variablen das Testteilszenario. Wichtige Erkenntnisse und Optimierungsmöglichkeiten des Testteilszenarios werden im Teilszenario „Bauliche Dichte und Außenraum“ (s. Abbildung 19) angewandt. Es ergibt sich die Variable *Bauliche Dichte*, die die sehr ähnlichen Variablen *Nachverdichtung* und *Bebauungsdichte* zusammenfasst. *Freiraumgestaltung* wird zu *Außenraum* umbenannt und integriert zudem *Grüne und Blaue Infrastruktur*. *Sanierung/Modernisierung* bleibt erhalten und stellt eine interessante Verbindung zwischen Außenraum, Bewohner:innen und Gebäuden her. Sie steht in enger Wirkbeziehung zu *Technischer Gebäudequalität* und *Gebäude- und Wohnqualität*. Ergänzt wird das Teilgefüge um die Variablen *Partizipation* und *Klimaschutz*. *Partizipation* beschreibt weiterhin die Variable *Partizipation und Quartiersidentität* und soll als gesellschaftliche Komponente die Einflussstärke des menschlichen Verhaltens darstellen. *Klimaschutz* umfasst eine Vielzahl an Klimaschutzmaßnahmen und die Verringerung der Umweltbelastung der menschengemachten globalen Erderwärmung und vereint die Menschen, Umwelt und Klima.

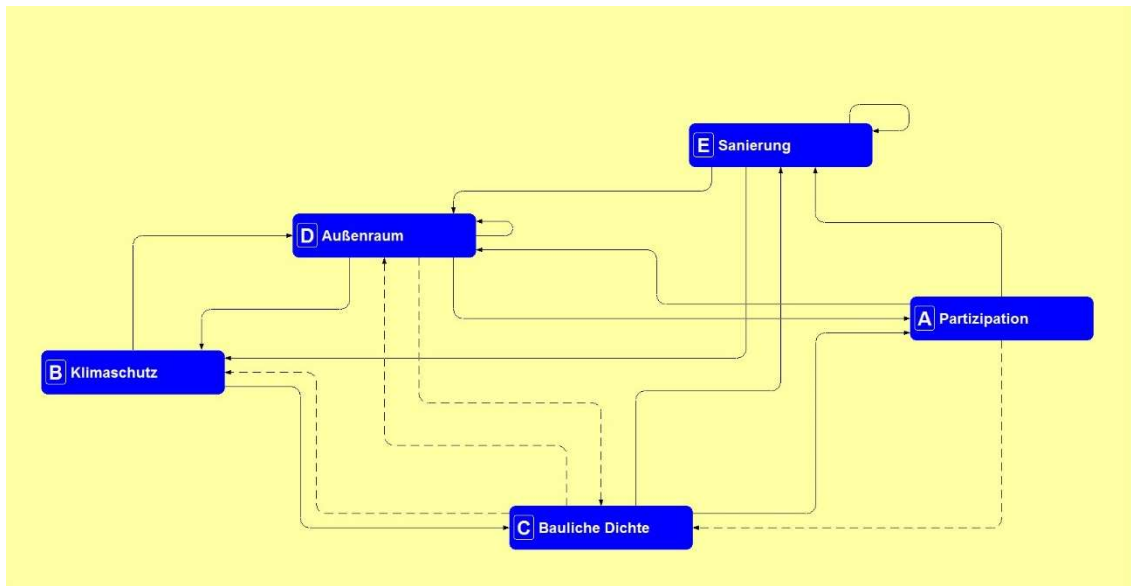


Abbildung 19: Teilgefüge "Bauliche Dichte und Außenraum" (Vester, 2016)

Das Teilgefüge soll die Wechselwirkungen zwischen baulicher Nachverdichtung und Außenraum als Grundthematik der Thesis herausgreifen und mithilfe der Simulation das Verhalten der einzelnen Komponenten und deren Zusammenspiel über einen gewissen Zeitraum hinweg darstellen.

Regelkreisanalyse

Die Regelkreisanalyse (s. Abbildung 20) des Teilszenarios ergab insgesamt 11 stabilisierende und 13 verstärkende Rückkopplungen. Durch die übersichtliche Anzahl an Rückkopplungen entfallen weitere Einstellungen der Software innerhalb der Regelkreisanalyse. Die leichte Dominanz der verstärkenden Rückkopplungen spricht für ein Teilsystem mit eigenem Antrieb, welches sich leicht aufschaukeln kann. Somit verhält sich das Teilsystem ähnlich wie das Gesamtwirkungsgefüge (s. Kapitel 3.4).

Stabilisierende Rückkopplungen (11)	Verstärkende Rückkopplungen (13)
A→C→A	A→D→A
B→C→B	B→D→B
A→D→C→A	C→D→C
B→C→D→B	A→C→D→A
C→E→D→C	A→E→D→A
A→C→E→D→A	B→C→E→B
A→E→D→C→A	B→D→C→B
B→D→C→E→B	A→C→B→D→A
A→C→E→B→D→A	A→D→B→C→A
A→E→B→C→D→A	A→E→B→C→A
A→E→B→D→C→A	A→E→B→D→A
	B→C→E→D→B
	A→E→D→B→C→A

Maximale Länge Maximale Länge

Drucken... Analyse... Anzeigen Schließen

Abbildung 20: Regelkreisanalyse des Teilszenarios (Vester, 2016)

Innerhalb der Regelkreisanalyse wurde der Fokus auf die Variablen *Bauliche Dichte* und *Außenraum* gelegt. Ähnlich wie bei dem Wirkungsgefüge sind die gleichen kurzen starken Regelkreise immer wieder auch in längeren Regelkreisen vertreten und bilden daher den Kern der Untersuchung. Die relevanten Wechselwirkungen des Arbeitsschritts Teilgefüge, werden in Kapitel 4.1 zusammengefasst. Nachfolgend werden je zwei Regelkreise, verstärkend und ein stabilisierend, im Detail beleuchtet. Inhalte der beschriebenen Regelkreise sind beispielhaft zu betrachten und Teile der Wirkungen sind ebenfalls in anderen Regelkreisen des Systems vertreten.

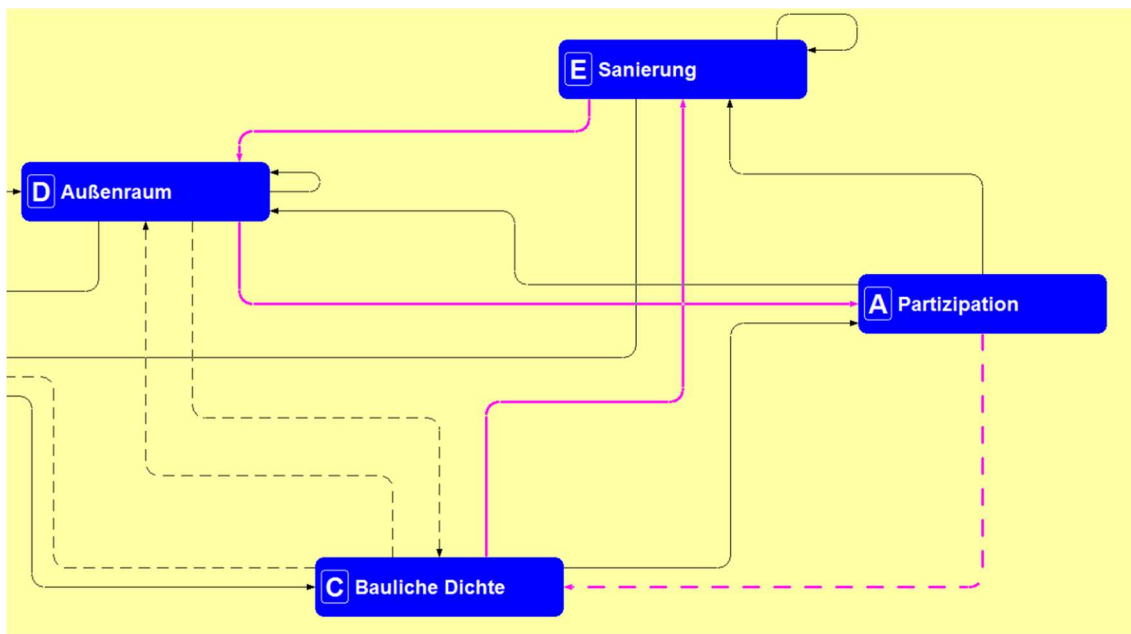


Abbildung 21: Stabilisierender Regelkreis: *Partizipation* > *Bauliche Dichte* > *Sanierung* > *Außenraum* > *Partizipation* (Vester, 2016)

Der Stabilisierende Regelkreis in Abbildung 21 beschreibt die Wirkung von *Partizipation* auf *Bauliche Dichte* über *Sanierung* hin zum *Außenraum*. Eine hohe *Bauliche Dichte* wird oftmals negativ assoziiert aufgrund von starker Flächeninanspruchnahme und hohem Versiegelungsgrad, sowie geringeren Freiraum- und Gestaltungsmöglichkeiten. Eine gut ausgeprägte *Quartiersidentität* mit starker Bürgerbeteiligung kann sich negativ auf Nachverdichtungs- und Bauvorhaben auswirken, die eine höhere *Bauliche Dichte* anstreben. Steigt die *Bauliche Dichte*, steigt gleichermaßen das Potenzial für Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen. Nachverdichtungsvorhaben bringen oft eine *Sanierung* der bestehenden Gebäude mit sich und bieten hinsichtlich des *Außenraums* nach dem Leitbild der doppelten Innenentwicklung großes Potenzial. So kann beispielsweise durch *Sanierung* die Energieeffizienz der Gebäude gesteigert werden und durch Begrünung der Fassaden und Dachflächen ein Vorteil für die Außenraumqualität hinsichtlich thermischen Komforts, *Mikroklima* und einer guten Atmosphäre geschaffen werden. Eine optimale Außenraumqualität und -gestaltung wirkt sich positiv auf das soziale Miteinander aus und stärkt die *Quartiersidentität*.

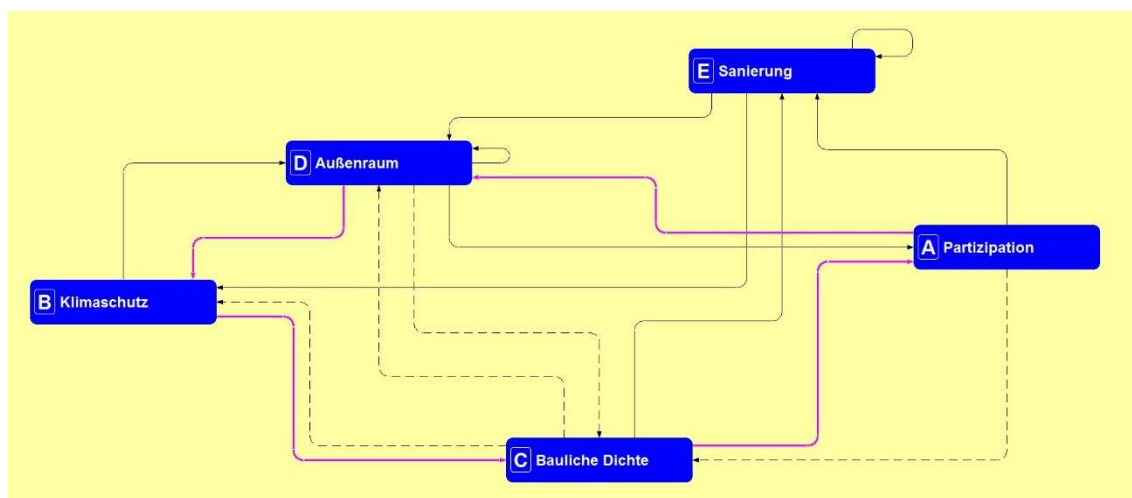


Abbildung 22: Verstärkender Regelkreis: *Partizipation* > *Außenraum* > *Klimaschutz* > *Bauliche Dichte* > *Partizipation* (Vester, 2016)

Ein starkes soziales Miteinander und ein hohes Maß an Initiative der Quartiersbewohner:innen stärkt den *Außenraum*, der als Aufenthaltsraum dient und Raum für gemeinsame Aktivitäten bietet. Ein qualitativer und gut gepflegter *Außenraum* trägt durch seinen großen Anteil an Blauer und Grüner Infrastruktur zu einer Verbesserung und Schutz des Klimas bei. Je höher die Wichtigkeit des Klimaschutzes auf gesellschaftlicher und politischer Ebene anerkannt wird, desto mehr Einfluss haben inbegriffene Maßnahmen. Die Erhöhung der *Baulichen Dichte* und im gleichen Zuge eine Verbesserung der Wohn-

und Aufenthaltsqualitäten zeigt, wie sich *Klimaschutz* positiv hinsichtlich nachhaltiger Nachverdichtung auf die Bauliche Dichte auswirken kann.

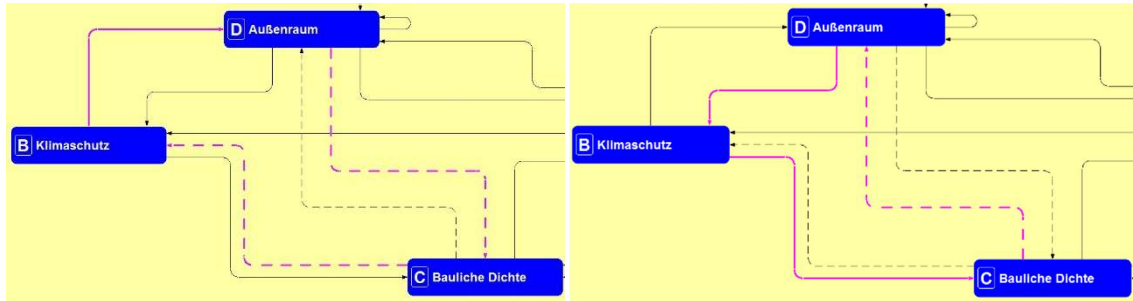


Abbildung 23: Verstärkender (links) und stabilisierender (rechts) Regelkreis: Klimaschutz, Außenraum, Bauliche Dichte (Vester, 2016)

Abbildung 23 stellt die gleichen drei Variablen jeweils in einem verstärkenden und stabilisierenden Regelkreis dar. Interessant ist, dass die Richtung der Wirkungen entgegengesetzt verläuft. Der verstärkende Regelkreis zeigt, wie *Klimaschutz* durch eine Verringerung der Emissionen, Luft- und Lärmverschmutzung positive Auswirkungen auf den *Außenraum* hat. Großflächige und qualitativ hochwertige Grüne und Blaue Flächen gilt es zu schützen. So kann der Erhalt eines Waldes oder Flusses ein mögliches Bauvorhaben kippen. Bauvorhaben haben einen hohen Ressourcenbedarf und Flächenverbrauch was negativ auf *Klimaschutz* und eine Verringerung der Umweltbelastung wirkt. Der stabilisierende Regelkreis beschreibt teilweise die gleichen Wirkungen wie in den vorhergehenden Regelkreisen. Die gegenläufige Wirkung von *Baulicher Dichte* auf *Außenraum* beschreibt die Einbußen von großflächig und qualitativ hochwertig ausgeprägtem *Außenraum* wie durch starke und dichte Bebauung.

Der wesentliche Unterschied der beiden Regelkreise ist die Stärke der negativen Rückkopplungen (s. Abbildung 14). Entscheidend ist, dass sich die Rückkopplung im verstärkenden Regelkreis (linke Abbildung) negativer verhält als die im stabilisierenden Regelkreis (rechte Abbildung) aufgrund der zwei gegenläufigen Wirkungen. Somit hat der verstärkende Regelkreis einen stärkeren Einfluss auf das Teilsystem und spiegelt exemplarisch die Tendenz des Systemverhaltens wider.

3.7.3. Aufbau der Simulation zum Teilszenario

Die Simulation bietet die Möglichkeit die Dynamik des Systemverhaltens abzubilden und ist hilfreich, um entsprechende Maßnahmen zu entwickeln und deren Auswirkungen zu

visualisieren. Dieser Arbeitsschritt ist optional und nicht das Ziel des Sensitivitätsmodells. Grundlage der Simulation ist das entwickelte Teilszenario. Oft ist eine Simulation notwendig, um bei verschachtelten Rückkopplungseffekten dominante zu analysieren.

Vesters Sensitivitätsmodell bietet die Möglichkeit einer Fuzzy Simulation, einer Mischung von qualitativen und quantitativen Angaben. Oft wird argumentiert, dass mit qualitativ nicht messbaren Größen nichts anzufangen sei, das Gegenteil ist aber der Fall. Werden bei einer Simulation alle qualitativen Größen herausgenommen, so entspricht das Ergebnis ebenfalls nicht der Wirklichkeit. Die Fuzzy Simulation bietet zwar immer etwas „unexakte, dafür aber niemals falsche Konzepte der Realität“ an. (Vester, 2015, S. 257)

Für den Aufbau der Simulation sind einige Schritte notwendig:

1. Beschreiben der Wirkskala (0-30) jeder Variablen und Festlegung des Optimums und der Grenzwerte (s. Abbildung 24 und Anhang B). Die Skalierung der Grenzwerte erfolgt systemspezifisch und plausibel. Als Grenzwert dient ein Zustand mit einschneidender Reaktion ab dem kein Ablauf der Simulation unter gleichen Randbedingungen mehr möglich ist.

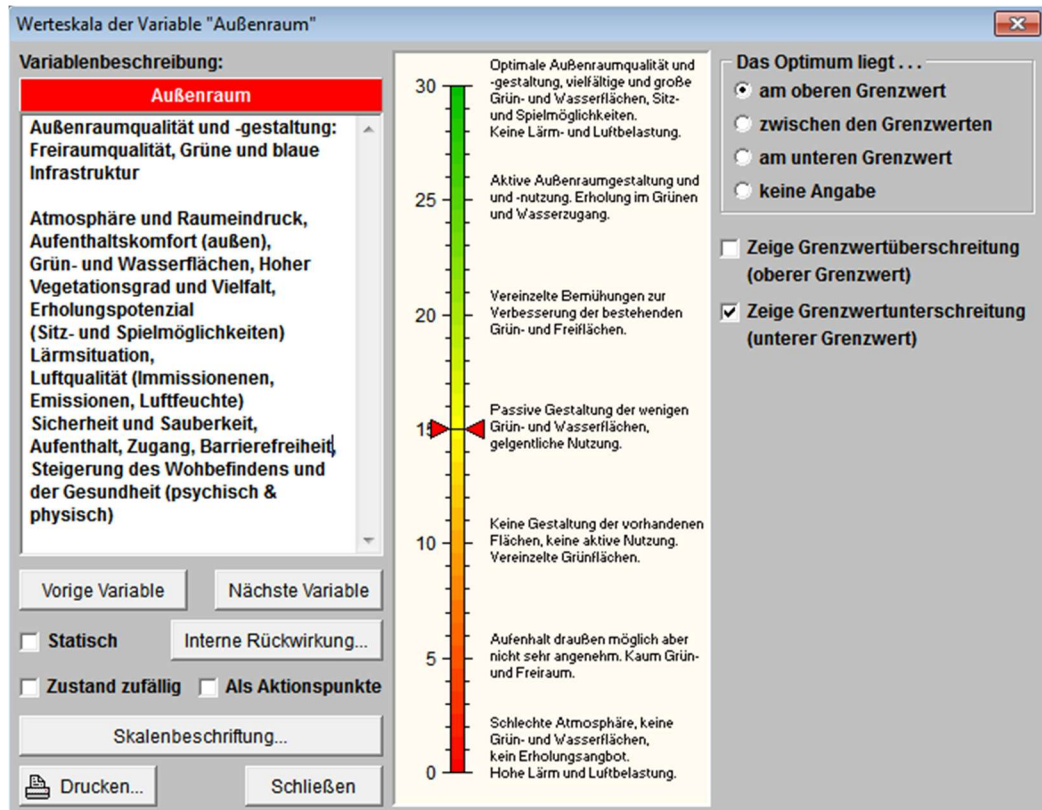


Abbildung 24: Werteskala der Variable Außenraum (Vester, 2016)

2. Erstellen eines Funktionsgraphs (s. Abbildung 25 und Anhang B) je Wirkungspfeil. Wie eine Variable auf eine andere Variable wirkt, wird mittels eines Graphen oder per Tabellenfunktion definiert. Die Entwicklung der Wirkungskurven basiert auf einer eigens entwickelten Systemlogik. Neben dem Wirkungsverlauf hat auch die Wirkungsstärke der Kurve einen Einfluss auf das Simulationsergebnis. Wirkt die Variable mit Zeitverzögerung, kann diese basierend der Ablaufunden festgelegt werden.

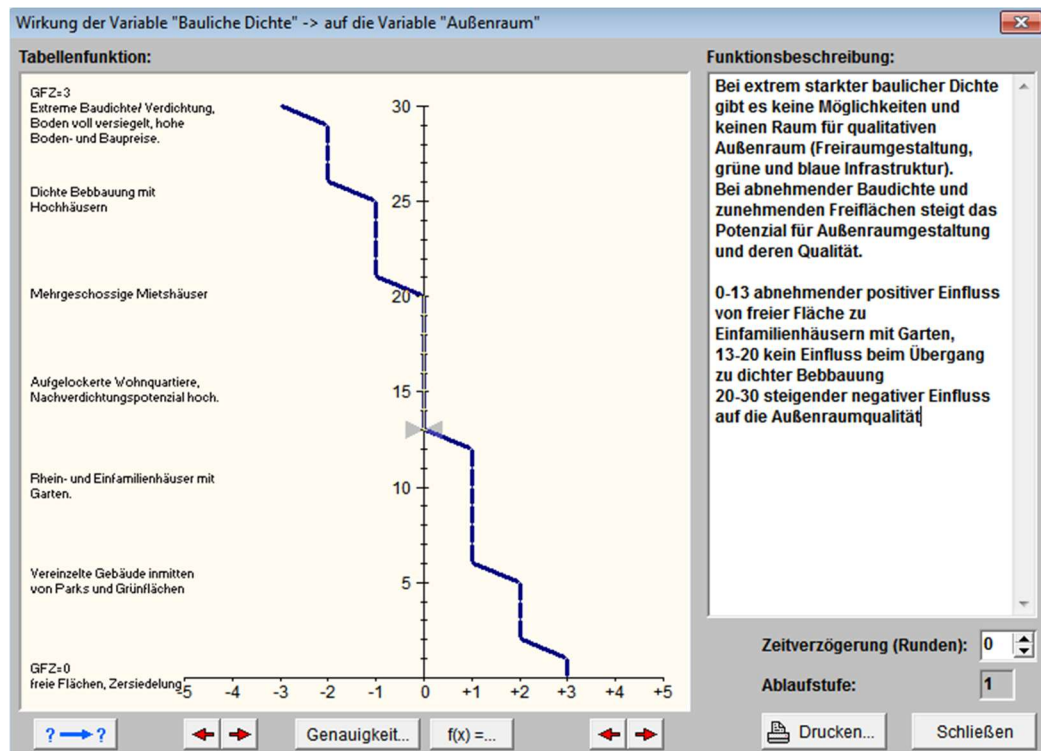


Abbildung 25: Funktionsgraph der Wirkung von *Baulicher Dichte* auf *Außenraum* (Vester, 2016)

3. Festlegung des Simulationsablaufs beschreibt die zeitliche Abfolge der Wirkungen innerhalb einer Simulationsrunde. Die Ablaufstufen können automatisch oder manuell eingestellt werden, in einer Ablaufstufe können ein oder mehrere Variablen aufeinander wirken.
4. Runden-Einheit festlegen. Die Zeiteinheit je Runde kann flexibel eingestellt werden und sollte sich nach der maximalen negativen oder positiven Wirkungsstärke des Wirkungsgraphen richten. „Eine doppelt so große (längere) Zeiteinheit bedeutet doppelte so große Werte in den Tabellenfunktionen und umgekehrt.“ (Müller, 2007a)
5. Einstellen der Startwerte oder Anfangszustände der Variablen. Die Startwerte sollten normalerweise den realen momentanen Werten oder entsprechend dem betrachteten Szenario entsprechen.

Aus der Beschreibung zum Aufbau der Simulation ergeben sich fünf wesentliche Parameter: Wirkungsverlauf, Startwert, Ablaufstufen, Rundendauer und Zeitverzögerung. Die Einstellung der genannten Werte haben einen wesentlichen Einfluss auf das Simulationsergebnis. Der Leitfaden zur Simulation von Malik Management (Harrer, 2016),

dem Softwarevertreiber gibt nur eine tendenzielle Richtung zur Parametereinstellung vor und dient nicht als Anleitung. Welcher der Parameter welchen Einfluss hat und wie die Festlegung im optimalen Fall aussieht, basiert auf der zu entwickelnden Systemlogik.

Policy-Tests stellen Varianten der Simulation dar. So kann durch die Veränderung eines Steuerhebels oder einer kritischen Variablen vor oder während des Simulationsdurchlaufs untersucht werden, welche Auswirkungen dies auf die anderen Komponenten und das gesamte System hat. (Harrer, 2016, S. 20–34; Harrer-Puchner, 2022; Müller, 2007a, 2007b; Vester, 2015, S. 255–263)

3.7.4. Simulation des Teilszenarios „Bauliche Dichte und Außenraum“

Vor der Simulation mit Policy-Tests muss die Simulation in der Software aufgebaut und richtig konfiguriert werden. Wie bereits beschrieben gibt es fünf wesentliche Einstellparameter, die den Aufbau und die Simulationsergebnisse bedingen: Wirkungsverlauf, Startwert, Ablaufstufen, Rundendauer und Zeitverzögerung. Abbildung 26 zeigt eine schematische Übersicht des Teilszenarios in der Simulationsoberfläche der Vester Software. Eine Variablenskala und ein Wirkungsverlauf sind beispielhaft dargestellt. Insgesamt besteht die Simulation aus fünf Variablenskalen für die jeweils Beschreibung, Skalenbeschriftung und Optimum festzulegen ist. Die insgesamt 15 Wirkungsverläufe basieren auf der entwickelten Logik. Jede Wirkung wird durch eine Beschreibung und den Kurvenverlauf definiert. Die Grafik soll die Vielzahl an Einstellungsmöglichkeiten innerhalb der Simulation verdeutlichen.

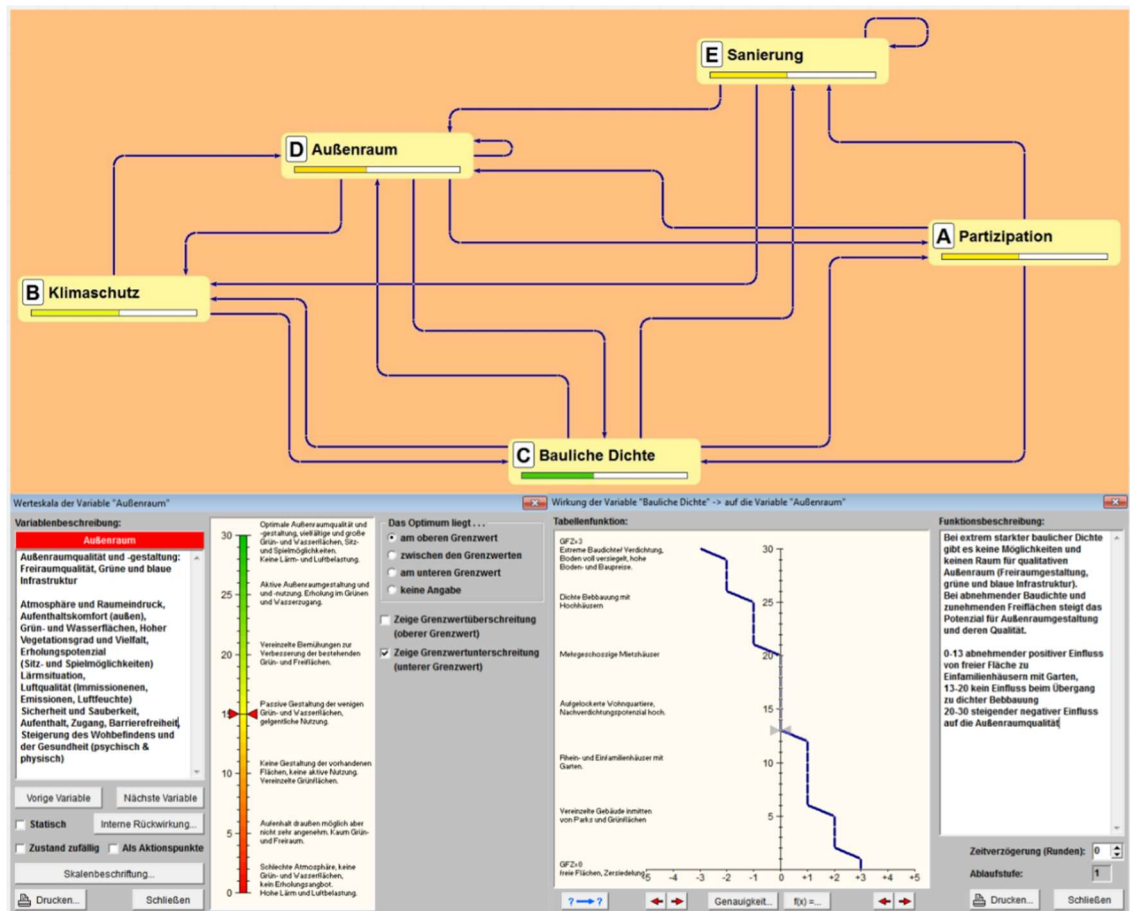


Abbildung 26: Schematische Übersicht der Simulation mit beispielhafter Variablenkalen (A-E) und Wirkungsverlauf (Vester, 2016)

In der vorgestellten Simulation wird die Rundendauer auf ein Jahr festgelegt und es werden insgesamt 15 Runden betrachtet. Eine interne Rückwirkung einer Variablen auf sich selbst beschreibt deren eigenständige Veränderung durch Zeit. Solche Rückwirkungen werden hier für die Variablen *Außenraum* und *Sanierung* berücksichtigt. Dadurch wird für den *Außenraum* zum Beispiel das Wachstum von Vegetation oder der Wechsel der Jahreszeiten und für *Sanierung* die Alterung von Bauwerken berücksichtigt. Um für die übrigen drei Parameter Wirkungsverlauf, Startwert und Ablaufstufen optimale Einstellungen zu finden, werden diese mithilfe von Parameteranalysen genauer analysiert.

Die Parameteranalyse und die darauffolgende Simulationseinstellung erfolgen nach folgendem Vorgehen:

1. Festlegen erster Startwerte
2. Ablaufparameteranalyse
3. Startwertparameteranalyse
4. Wirkungskurvenanalyse
5. Policy-Tests: Veränderung der Variablenstärke von *Baulicher Dichte* und *Außenraum*

Das beschriebene Vorgehen ist eine Möglichkeit von vielen. Entsprechend könnten die Ergebnisse bei der Bearbeitung in anderer Reihenfolge oder nach anderem Vorgehen anders ausfallen.

Zu 1. Festlegen eines ersten Startwerts

Auf Basis von qualitativer Analyse wird für alle Variablen ein realistischer Startwert zwischen 0-30 ermittelt (s. Tabelle 8) Dieser Startwert wird im Laufe der nachfolgenden Schritte iterativ überarbeitet. Der Verlauf der Wirkungskurven der neuen Startwerte verhält sich über das Simulationsintervall von 15 Jahren hinweg ausgeglichen.

Zu 2. Ablaufparameteranalyse

Der Ablauf der Simulation kann automatisch oder manuell erfolgen. Bei dem vom Programm aus automatisch festlegbarem Ablauf, muss lediglich entschieden werden, in welcher Reihenfolge die Variablen hintereinander wirken. Somit befinden sich alle Wirkungen, die an eine Variable angebunden sind, innerhalb der gleichen Ablaufstufe. Die manuelle Festlegung des Ablaufs bietet wesentlich mehr Möglichkeiten, da hier für jeden einzelnen Wirkungspfeil die Reihenfolge festgelegt werden kann. Ebenso können auch, wie beim automatischen Ablauf, mehrere Pfeile innerhalb der gleichen Ablaufstufe liegen. Alternativ bildet jeder Pfeil eine eigene Ablaufstufe.

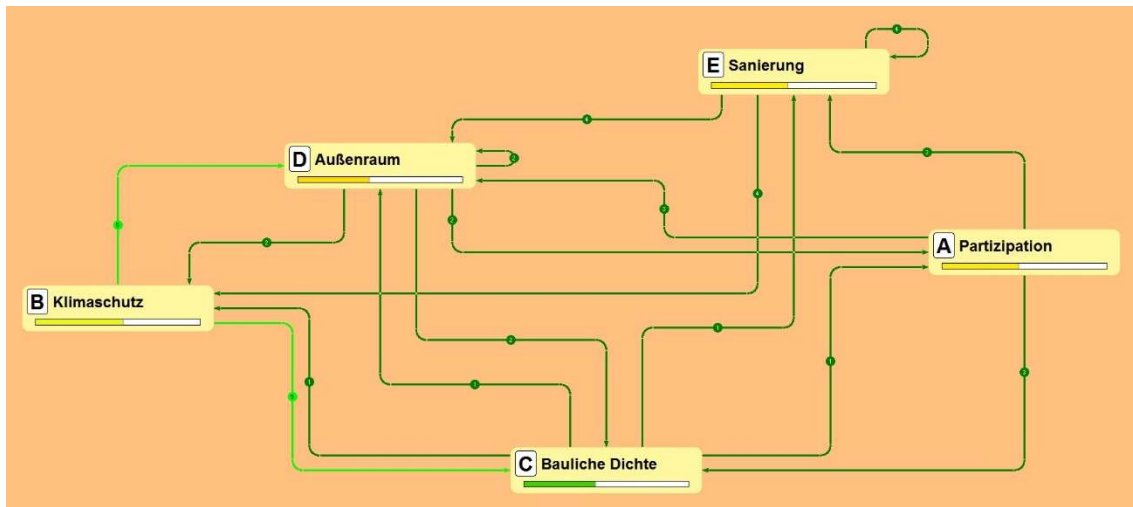


Abbildung 27: Automatischer Ablauf des Teilszenarios (Vester, 2016)

Entscheidender ist die Reihenfolge der einzelnen Variablen im Simulationsablauf. Experimente mit einer Vielzahl an Kombinationen ergeben, dass die Reihenfolge der Variablen *Sanierung* und *Klimaschutz* ausschlaggebend ist. Nachfolgend werden zwei sich ergebende, grundlegend unterschiedliche Simulationsverläufe exemplarisch dargestellt.

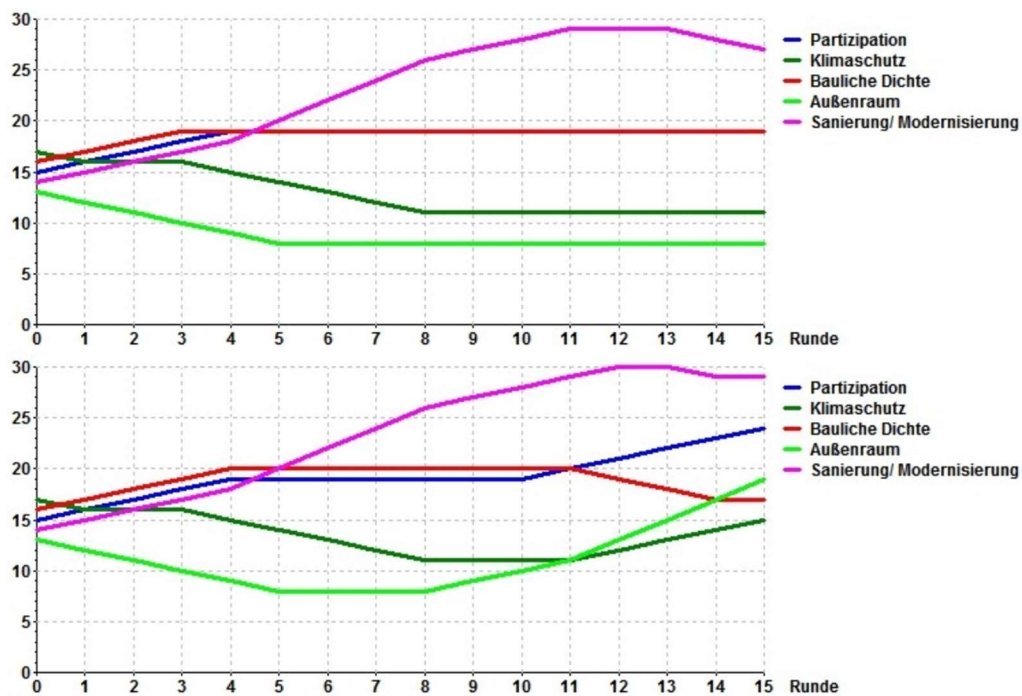


Abbildung 28: Automatischer Ablauf mit unterschiedlicher Reihenfolge der Variablen *Sanierung* und *Klimaschutz*. Oberer Graph: *Dichte* (1), *Außenraum* (2), *Klimaschutz* (3), *Sanierung* (4) und *Partizipation* (5). Unterer Graph: *Dichte* (1), *Außenraum* (2), *Sanierung* (3), *Klimaschutz* (4) und *Partizipation* (5) (Vester, 2016)

Die dargestellten Simulationen in Abbildung 28 unterscheiden sich lediglich in der Reihenfolge von *Klimaschutz* und *Sanierung*.

Die Auswirkungen der Reihenfolge von *Sanierung* und *Klimaschutz* hat einen deutlichen Einfluss auf die Simulationsverläufe der anderen Variablen. In dieser Arbeit wird im Folgenden die Reihenfolge des unteren Graphen aus Abbildung 28 verwendet.

Zu 3. Startwertparameteranalyse

Ausgehend von den aktuellen Startwerten werden je Variable stufenweise bis zu fünf über bzw. unter dem aktuellen Wert liegende Varianten simuliert. Abbildung 29 zeigt einen Ausschnitt der Ergebnisübersicht hinsichtlich der Parameteranalyse.

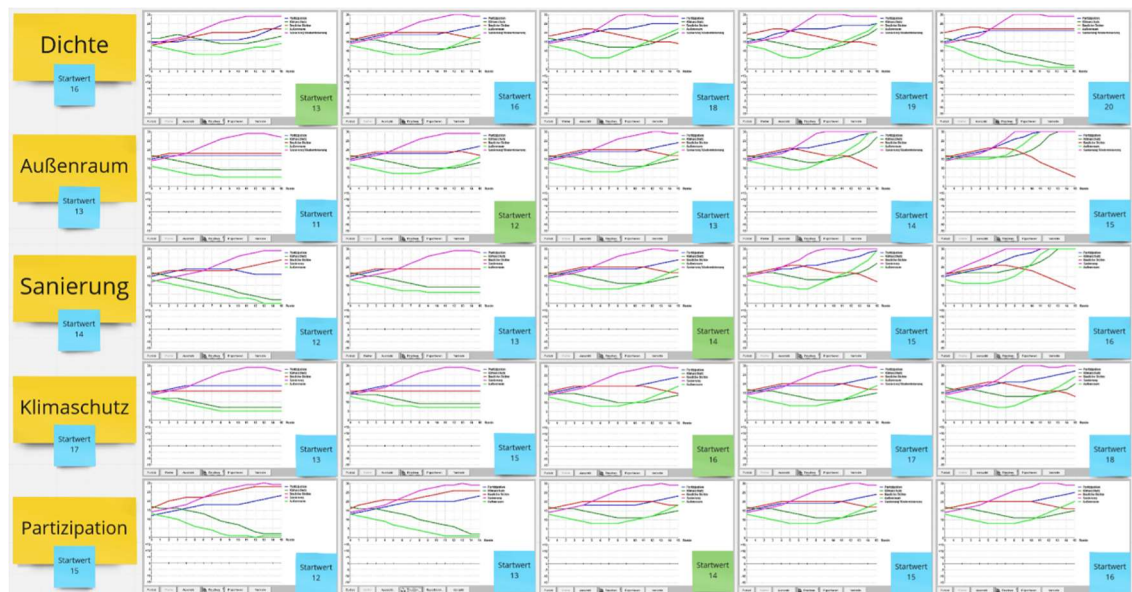


Abbildung 29: Ausschnitt Startwertparameteranalyse (Eigene Darstellung vgl. (Vester, 2016))

Die Startwerte liegen im mittleren Drittel (10-20) der Werteskala. Vereinzelt werden zusätzlich Varianten mit Werten im unteren (0-10) und oberen (20-30) Drittel der Werteskala simuliert. Ziel der Startwertparameteranalyse ist es, einen realistischen Startwert mit ausgeglichenen Kurvenverläufen für alle Einflussparameter zu finden. Die Analyse der Kurvenverläufe ergibt für die Variablen *Dichte*, *Partizipation* und *Klimaschutz* jeweils neue, optimierte Startwerte (s. Tabelle 8).

Tabelle 8: Alte und neue Startwerte je Variable

Variable	Startwert alt	Startwert neu
Dichte	16	13
Außenraum	13	13
Partizipation	15	14
Sanierung	14	14
Klimaschutz	17	16

Der zugehörige Kurvenverlauf ist in Abbildung 30 dargestellt.



Abbildung 30: Simulationskurvenverlauf mit den neu festgelegten Startwerten (Vester, 2016)

Zu 4. Wirkungskurvenanalyse

Die Wirkungskurvenanalyse setzt sich aus drei Teilen zusammen:

1. Vergleich des Kurvenverlaufs
2. Veränderung des Verlaufs
3. Wirkstärke einzelner Wirkungskurven

Insgesamt wurden acht Wirkungsverläufe exemplarisch untersucht. Augenmerk wird auf jene Kurvenverläufe gelegt, die in den bisherigen Simulationsergebnissen auffällig waren. Solche Auffälligkeiten sind zum Beispiel Ausreißer oder eine unverhältnismäßig starke Beeinflussung anderer Variablen. Ein Vergleich der Kurvenverläufe bestätigt die Vermutung, dass sich im gleichen Bereich neutral verhaltende Wirkungen keine direkte Wirkung aufeinander haben (s. Anhang C). Dennoch kann eine indirekte Wirkung über eine dritte Variable den Kurvenverlauf beeinflussen und verändern. Alle Systemkomponenten sind miteinander verknüpft und beeinflussen sich sowohl gegenseitig als auch das Gesamtergebnis, was die Komplexität des Systems bestätigt. Bei einem verbesserten Kurvenverlauf werden die neuen Einstellungen beibehalten.

In Abbildung 31 und Abbildung 32 sind exemplarisch drei Wirkungskurven mit zugehörigem Simulationsgraph dargestellt. Im oberen Graphen befindet sich jeweils die Ausgangssituation, in der Mitte wurde der Kurvenverlauf und unten die Wirkungsstärke verändert.

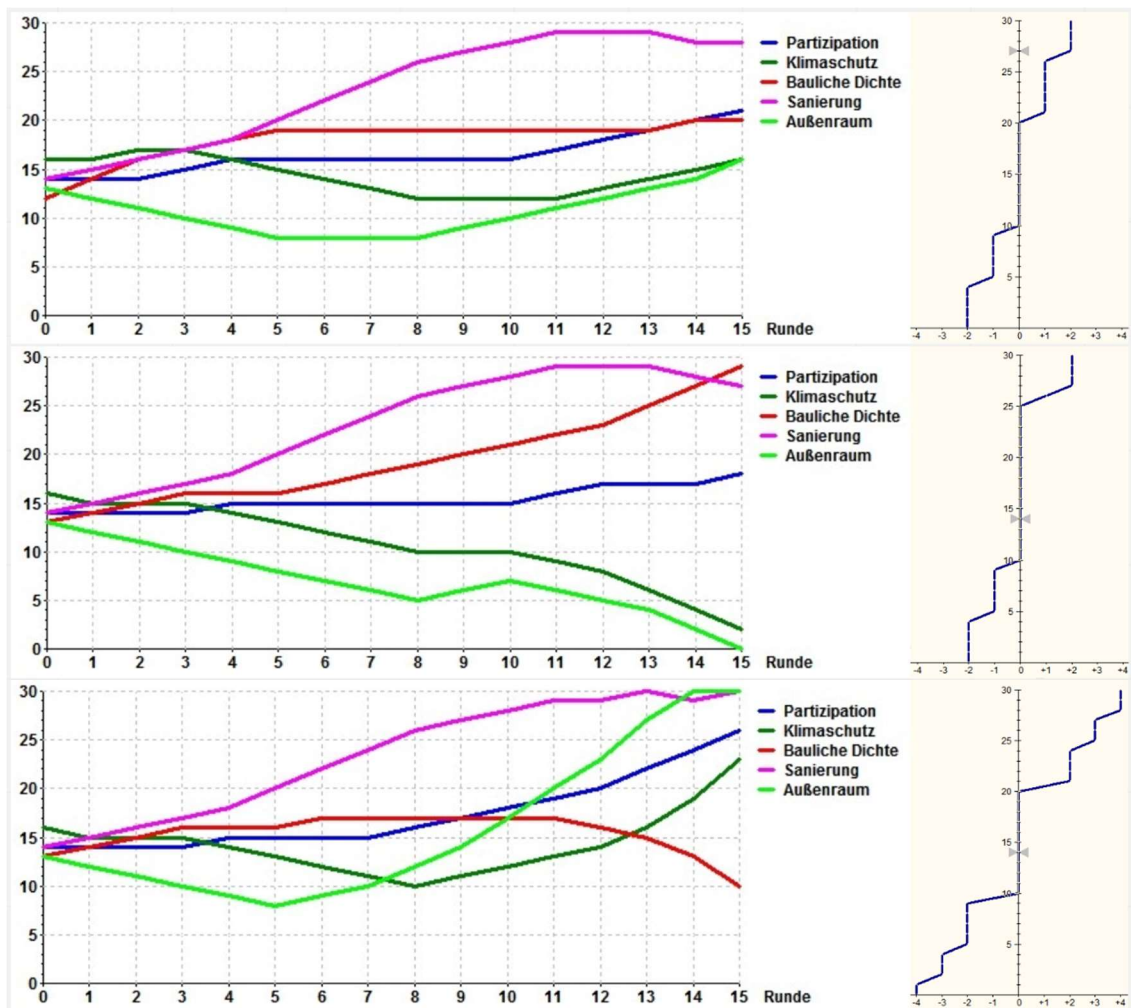


Abbildung 31: Wirkungskurvenanalyse der Wirkung *Sanierung* auf *Außenraum* (Vester, 2016)

Abbildung 31 zeigt, dass sowohl die Veränderung des Kurvenverlaufs als auch der Wirkungsstärke von *Sanierung* auf *Außenraum* einen starken Einfluss auf die Simulationsergebnisse hat. Die Variablen *Sanierung* und *Partizipation* verlaufen in allen drei Graphen recht ähnlich. *Außenraum* und *Klimaschutz* sind sich in ihrem Wirkverhalten recht ähnlich, *Außenraum* verändert sich immer etwas stärker, da ein direkter Einfluss schnell sichtbar wird. *Bauliche Dichte* verhält sich gegenüber *Außenraum* und *Klimaschutz* konträr. Im Ausgangsszenario hat „keine Sanierung“ bis hin zu „Sanierung nur bei dringender Notwendigkeit“ (Werteskala 0-10) einen negativen Einfluss auf den *Außenraum*. Ab einer „Sanierung aller notwendigen Gebäude“ (Skala 20-30) wirken sich die Maßnahmen positiv auf den *Außenraum* aus. Die *Bauliche Dichte* steigt ab Jahr acht deutlich an, wenn die neutrale Wirkung von *Sanierung* auf *Außenraum* auf der Wirkskala von 10-20 auf 10-25 erhöht wird. Wird der Einfluss von *Sanierung* auf *Außenraum* durch

eine Erhöhung der Wirkstärke von zwei auf vier verändert, so steigt die Außenraumqualität ab Jahr fünf rasant an. Die *Bauliche Dichte* ist insgesamt etwas schwächer und sinkt ab Jahr 11 mit zunehmender *Partizipation* und *Klimaschutz*.

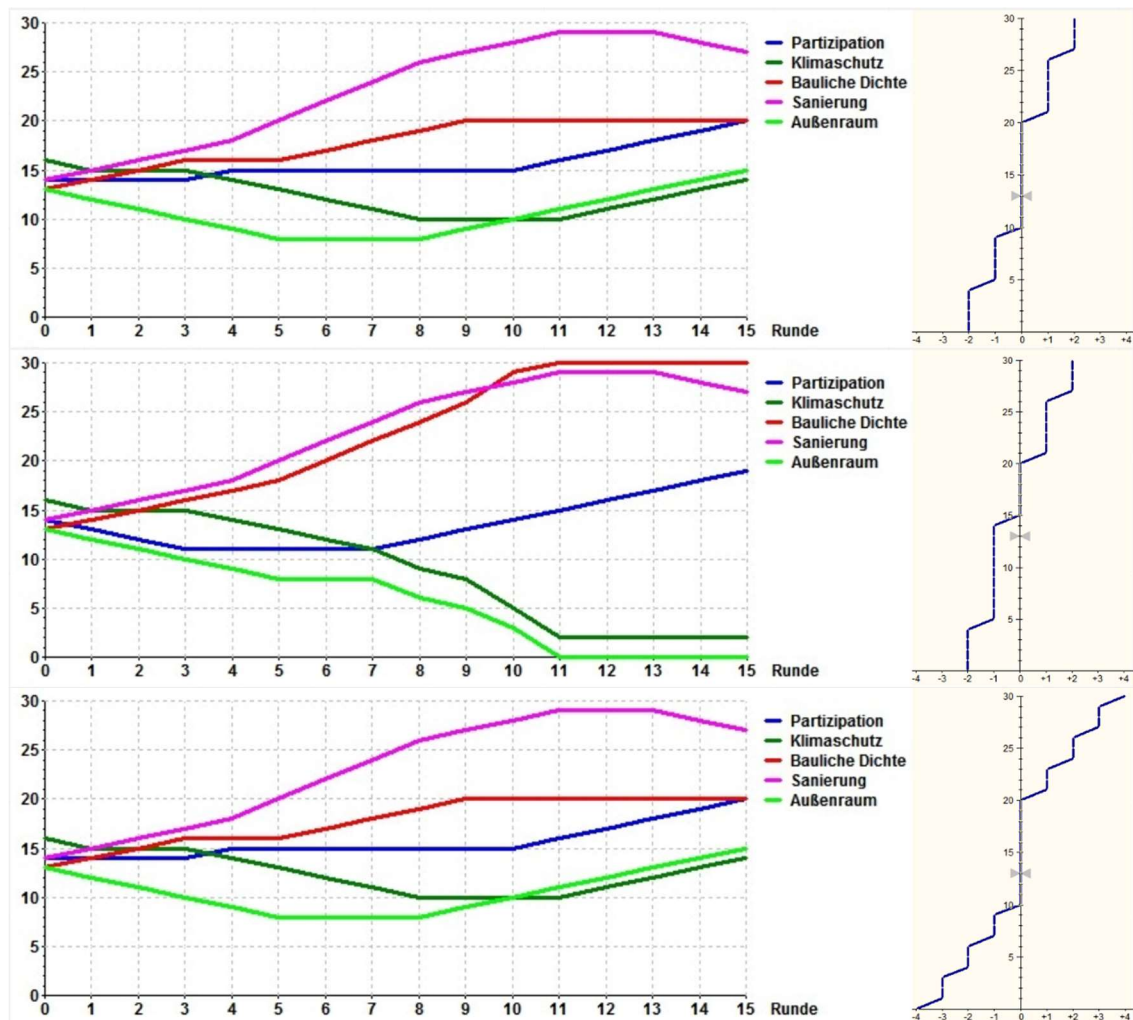


Abbildung 32: Wirkungskurvenanalyse der Wirkung *Außenraum* auf *Partizipation* (Vester, 2016)

Der Vergleich des oberen mit dem unteren Graphen in Abbildung 32 zeigt, dass eine Verstärkung der Wirkung bei diesem Szenario keinen Einfluss auf die Simulationsergebnisse hat. Bei dem mittig dargestellten Kurvenverlauf hat ein negativer Einfluss auf die Außenraumqualität Wirkskala 0-15 anstatt 0-10 einen negativen Einfluss auf die *Partizipation* innerhalb des Quartiers. *Außenraum* und *Klimaschutz* sinken ab Jahr sieben stark ab und verlaufen ab Jahr 11 konstant am unteren Ende der Wirkskala. Die *Bauliche Dichte* steigt schon nach fünf Jahren an und erreicht in Jahr 11 ihr Maximum. Die *Partizipation* steigt im mittleren Graphen im Vergleich zum Ursprungsszenario konstant ab Jahr sieben an.

Die lediglich recht geringe Veränderung des Kurvenverlaufs von *Außenraum* auf *Participation* hat einen unverhältnismäßig starken Einfluss auf das Simulationsergebnis. Dies zeigt die Relevanz einer gut durchdachten Logik und einer genauen Anpassung der einzelnen Wirkungskurven aufeinander. Tendenziell hat eine Veränderung des Kurvenverlaufs einen stärkeren Einfluss als die Veränderung der Wirkungsstärke. Die Variabilität der Kurveneinstellung ergibt unendlich viele Einstellungsmöglichkeiten. Aus zeitlichen Gründen wird hier mit der erarbeiteten Logik und leichten Veränderungen der Wirkungskurven weitergearbeitet.

Zu 5. Policy-Tests: Veränderung der Variablenstärke von *Baulicher Dichte* und *Außenraum*

Policy-Tests stellen verschiedene Varianten der Simulation dar. Hinsichtlich der Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen baulicher Nachverdichtung und Außenraum werden innerhalb der Policy-Tests die Variablen *Bauliche Dichte* und *Außenraum* variiert. Neben einer Veränderung des Startwertes wird während der Simulation eingegriffen und die *Bauliche Dichte* bzw. der *Außenraum* erhöht und verbessert.

In Abbildung 33 wird das Teilszenario mit unterschiedlichen Ausgangszuständen *Baulicher Dichte* und den daraus resultierenden Ergebnissen dargestellt.

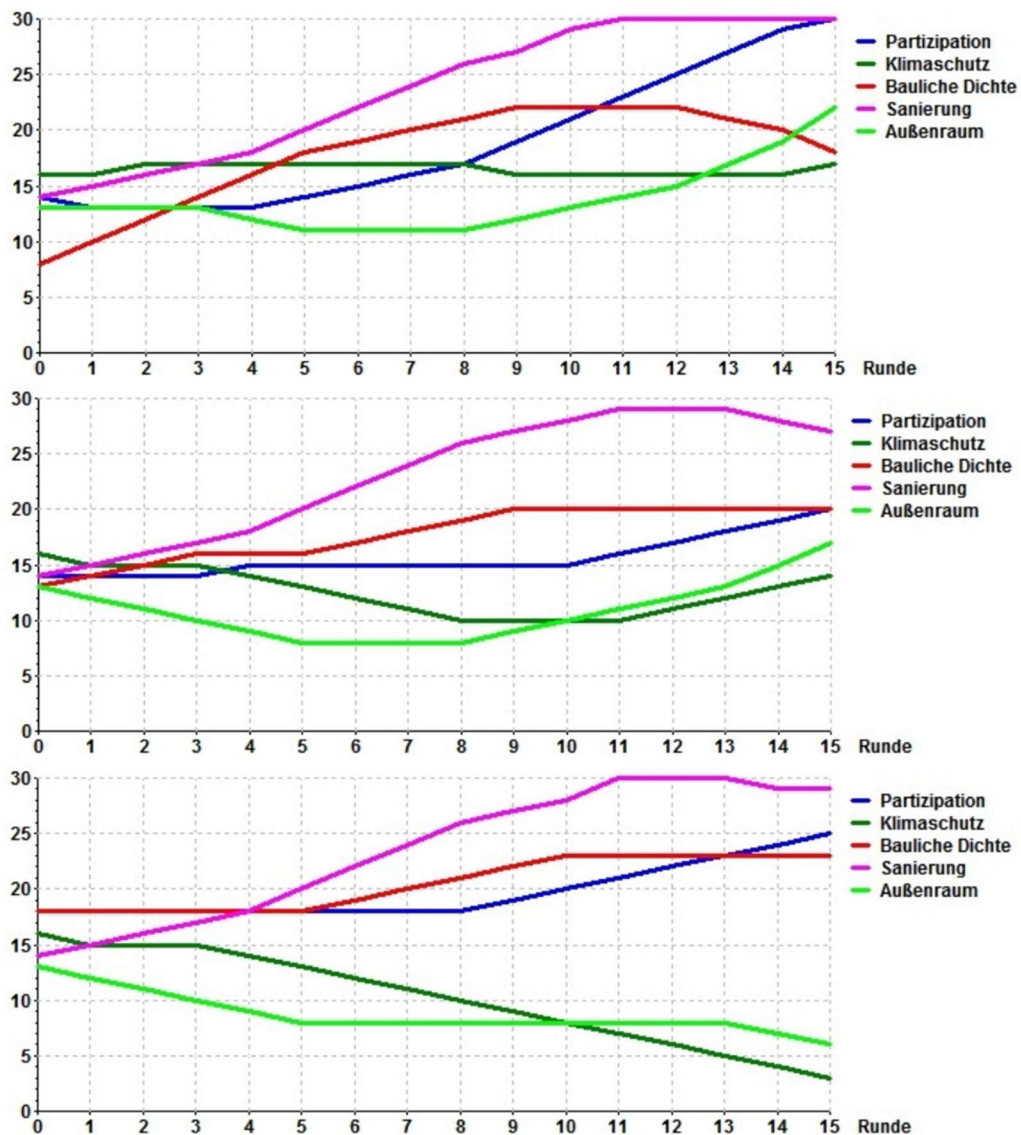


Abbildung 33: Simulationsverlauf bei verschiedenen Ausgangszuständen *Baulicher Dichte*. Die Startwerte für *Bauliche Dichte* steigen von oben (8) nach unten (18) an. (Vester, 2016)

Im oberen Graphen ist die *Bauliche Dichte* am geringsten und entspricht etwa einer Bebauung von Einfamilienhäusern mit Garten. Aufgrund der geringen Flächeninanspruchnahme steigt zunächst die *Bauliche Dichte* kontinuierlich bis Jahr neun an, ab Jahr 12 sinkt sie wieder leicht. *Sanierung* und *Partizipation* werden im Laufe des betrachteten Zeitraums immer stärker. *Klimaschutz* verhält sich weitestgehend neutral und wird erst am Ende des Betrachtungszeitraums von der Variable *Außenraum* übertroffen. Der mittlere Graph zeigt den Simulationsverlauf mit den aus der Parameteranalyse 1-4 entwickelten Einstellungen. Hier entspricht die Dichte zu Beginn der Simulation einem aufgelockerten Wohnquartier mit recht hohem Nachverdichtungspotenzial. Es zeigt sich

deutlich die positive Wechselwirkung der Variablen *Partizipation*, *Außenraum* und *Klimaschutz* untereinander. Die *Bauliche Dichte* verhält sich nach einem leichten Anstieg konstant. Ganz unten wird eine Bebauung mit mehrgeschossigen Mietshäusern dargestellt. Zwischen Jahr fünf und zehn steigt die Bebauungsdichte leicht an, was sich positiv auf die *Partizipation* im Quartier auswirkt. Gleichzeitig sinken die Gestaltungs- und *Außenraumqualität* und der *Klimaschutz*.

Der zweite Teil der Policy-Tests soll eine Steigerung der *Baulichen Dichte* (s. Abbildung 34) durch ein Nachverdichtungsszenario bzw. die Verbesserung und Ausweitung des Außenraums durch Begrünungsmaßnahmen (s. Abbildung 35) in Jahr fünf, acht und zehn zeigen.

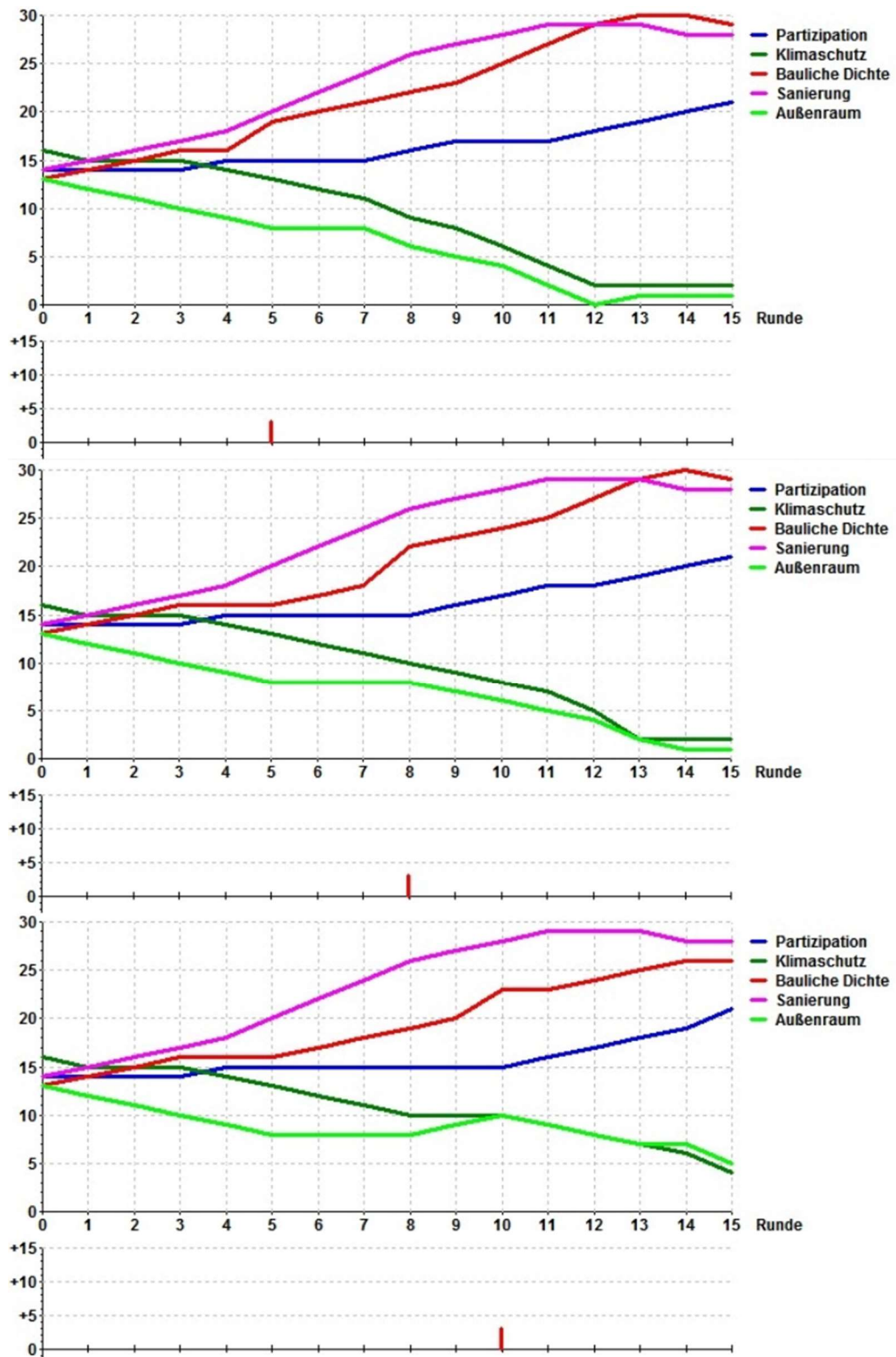


Abbildung 34: Erhöhung der *Baulichen Dichte* in Jahr 5, 8 und 10 durch Nachverdichtung (Vester, 2016)

Auf der Skala unterhalb der Kurvenverläufe ist der Zeitpunkt und die Stärke der Veränderung der *Baulichen Dichte* dargestellt. Die Nachverdichtung des exemplarisch betrachteten Quartiers wird in Jahr fünf, acht oder zehn um jeweils drei Punkte auf der Werteskala verstärkt. Je später die bauliche Nachverdichtung umgesetzt wird, desto moderater verlaufen die Kurven im Betrachtungszeitraum. Dennoch ist ein klarer Trend zu erkennen: durch die Steigerung der *Baulichen Dichte* verschlechtern sich *Außenraum* und *Klimaschutz*. Auch hier verhalten sich *Partizipation* und *Sanierung* in allen drei Szenarien ähnlich.

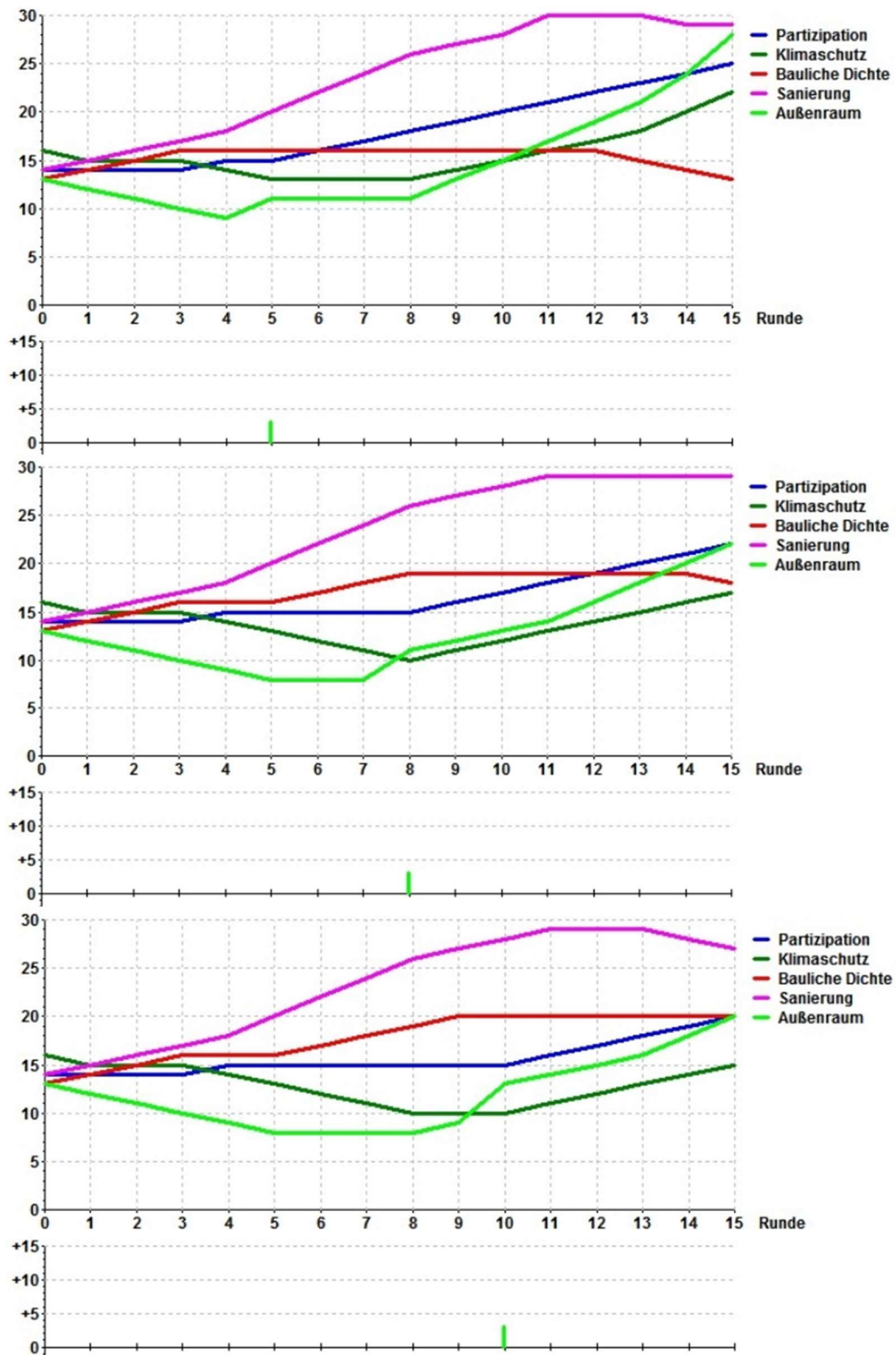


Abbildung 35: Verbesserung des Außenraums in Jahr 5, 8 und 10 durch Begrünungsmaßnahmen (Vester, 2016)

In Abbildung 35 wird die Auswirkung von einer aktiven Verbesserung des *Außenraums* um drei Punkte beispielsweise durch Begrünungsmaßnahmen zu drei verschiedenen Zeitpunkten dargestellt. Bei einer Verbesserung des *Außenraums* zu einem frühen Zeitpunkt steigt neben der *Außenraumqualität* auch die *Partizipation* und der *Klimaschutz* kontinuierlich an. Die *Bauliche Dichte* sinkt erst gegen Ende der 15 Jahre. Wird der Eingriff erst nach dem zweiten Drittel des Betrachtungszeitraums umgesetzt, treffen sich die Kurvenverläufe von *Partizipation*, *Außenraum* und *Baulicher Dichte* am Ende.

Beim Vergleich der beiden Eingriffe wird deutlich, dass sich eine Erhöhung der *Baulichen Dichte* wesentlich stärker auf die anderen Komponenten des Systems auswirkt als die Veränderung des *Außenraums*. Entsprechend ist *Bauliche Dichte* eine sehr kritische Variable, deren Veränderung mit Bedacht und unter Berücksichtigung aller Auswirkungen stattfinden sollte. (Harrer, 2016, S. 20–34; Harrer-Puchner, 2022; Müller, 2007a, 2007b; Vester, 2015, S. 255–263)

3.7.5. Anwendung der Simulationsergebnisse auf konkrete Fallbeispiele

In der Regel ist es einfacher vom Spezifischen hin zum Allgemeinen zu gehen als andersherum. Ein konkretes Fallbeispiel in Form eines Quartiers in dem ein Nachverdichtungsszenario geplant ist, gibt konkrete Rahmenbedingungen vor. Ob Wasser- und Grünflächen vorhanden sind, Mobilität eine wesentliche Rolle spielt oder ob eine Sanierung im Rahmen der Nachverdichtung geplant ist, sind für den Aufbau eines spezifischen Teilszenarios von wesentlicher Bedeutung. Ebenso sind die Simulationsergebnisse ausgehend von konkreten Startwerten, die sich an der aktuellen Situation im Quartier orientieren, entscheidend für deren Bewertbarkeit.

In dieser Arbeit wird von einem allgemeinen Fall ausgegangen, der die wesentlichen Komponenten, die bei einer Nachverdichtung auf Quartiersebene eine Rolle spielen, mit einbezieht. Durch eine Spezifizierung des Teilszenarios hinsichtlich der Variablen und der Art und Weise ihrer Wechselwirkungen, lässt sich dieses auf jedes konkrete Fallbeispiel anwenden. Gegebenenfalls müssen Variablen aufgeteilt, zusammengefasst, hinzugefügt oder neu definiert werden. Der Mehrwert dieser Vorgehensweise ist die vielfältige Nutzung durch einen großen Personenkreis. Neben der Spezifizierungsmöglichkeit auf Fallbeispiele, lassen sich allgemeine Handlungsempfehlungen erarbeiten. Um konkrete Handlungsempfehlungen erarbeiten zu können, ist einerseits eine Analyse der

wesentlichen Problem- und Fragestellungen der beteiligten Akteur:innen notwendig, andererseits sollten relevante Schlüsselkomponenten hinsichtlich baulicher Nachverdichtung und Außenraum festgelegt werden. Diese können in Teilszenarien abgebildet werden, um mithilfe der daraus resultierenden Simulation anschauliche Ergebnisse zu generieren.

3.7.6. Evaluation des Teilszenarios und der Simulation

Teilszenario

Die Herausforderung bei der Entwicklung eines guten und aussagekräftigen Teilszenarios ist die Auswahl und Begrenzung der Variablen. Entscheidend ist die Frage, was genau mithilfe des Teilszenarios untersucht bzw. welcher Themenschwerpunkt des Systems thematisiert werden soll. Die Ergänzung fehlender und indirekter Wirkungen muss mit Akkuratessse durchgeführt werden, da hiervon die Aussagekraft der Ergebnisse des Teilszenarios und der Simulation abhängen. Das Zusammenfassen und gleichzeitige Umbenennen von Variablen, ermöglicht die Erhöhung der Aussagekraft des Teilszenarios „Bauliche Dichte und Außenraum“ im Vergleich zum Testteilszenario. Durch das Zusammenfassen mehrerer Variablen können mehr relevante Systemkomponenten betrachtet werden. Gleichzeitig nimmt die Aussagekraft der einzelnen Variablen durch die Kombination der Variablenbeschreibungen ab. Es ist wichtig zu prüfen, auf welcher Betrachtungsebene das Teilszenario Fragen beantworten soll, entsprechend ist der Detaillierungsgrad zu wählen.

Simulation

Die Wechselwirkungen der Variablen und deren Einfluss auf das Gesamtsystem werden durch die Simulation und verschiedene Policy-Tests deutlich. Durch die Visualisierung können konkrete Maßnahmen oder Handlungsempfehlungen entwickelt werden. Die Darstellung des dynamischen Systemverhaltens ist sinnvoll und verdeutlicht die sonst recht komplexen, auf dem Prinzip der Kybernetik basierenden, Ergebnisse des Sensitivitätsmodells. Weiterhin ermöglicht die Kleinteiligkeit der Arbeitsschritte Teilszenario und Simulation sowohl allgemeine als auch sehr spezifische Untersuchungen, die in jedem Fall konkrete Antworten liefern.

Allerdings ist der Aufbau der Simulation aufwändig und zeitintensiv, da zunächst eine eigene Logik für Wirkablauf und -art der Simulation entwickelt werden muss. Die Parameteranalyse, die in dieser Arbeit durchgeführt wurde, diente lediglich zur Erlangung eines besseren Verständnisses des Arbeitsschritts und fällt bei vorhandener Erfahrung und Systemkenntnis weg.

3.8. Kybernetische Gesamtsystembewertung

Die kybernetische Gesamtsystembewertung basiert auf den acht Regeln der Biokybernetik. Berücksichtigt werden alle Arbeitsschritte und die sieben Lebensbereiche der Kriterienmatrix. Die biokybernetische Bewertung dient als permanente Kontrolle der Arbeitsschritte und soll die Charakteristik des betrachteten Systems gegenüber eines intakten Ökosystems vergleichen. Als letzten Arbeitsschritt des Sensitivitätsmodells verdeutlicht erneute die iterative Überarbeitung des Systems die ganzheitliche Betrachtungs- und Herangehensweise. (Harrer, 2016, S. 35–37; Vester, 2015, S. 157–172, 2016)

Tabelle 9: Die acht biokybernetischen Regeln (Harrer, 2016; Vester, 2016)

Nr.	Regel	Beschreibung, Systemanwendung
1	Selbstregulation	Nutzung von Regelkreisen - Negative Rückkopplungen sollten positive überwiegen, um das System im Gleichgewicht zu halten.
2	Wachstumsunabhängigkeit	Ein vom quantitativen Wachstum abhängiges System ist nicht überlebensfähig. Flexibilität und Anpassung existieren nur, wenn das System wächst, ohne davon abhängig zu sein. Ein Umschwenken von quantitativem zu qualitativem Wachstum muss jederzeit möglich sein.
3	Funktionsorientierung	Das System sollte Funktions- nicht produktorientiert sein. Austauschbarkeit von Produkten und Dienstleistungen erhöht die Anpassung und Flexibilität.
4	Jiu-Jitsu-Prinzip	Nutzung vorhandener Kräfte erhöhen den Wirkungsgrad.
5	Mehrfachnutzung	Multistabilität erzeugt weniger Ausfälle und spart Aufwand und Ressourcen.
6	Recycling	Nutzung von Kreisprozessen erhöht die Selbstregulation, den Vernetzungsgrad und die Unabhängigkeit.

7	Symbiose	„Gegenseitige Nutzung von Verschiedenartigkeit durch Kopplung und Austausch.“ Symbiose vermehrt die Selbstregulation, erleichtert Jiu-Jitsu, Recycling und Mehrfachnutzung, stabilisiert die Diversität von Strukturen und erlaubt eine höhere Dichte.
8	Biologisches Design	Vereinbarkeit mit der Natur erhöht die Überlebensfähigkeit. Feedback-Planung anwenden für eine nachhaltige Entstehung mit der Natur und Lebensnähe.

In den folgenden Abschnitten werden die acht Regeln der Biokybernetik aus Tabelle 9 auf die Ergebnisse der Systembetrachtung angewandt und bewertet.

Zu Regel 1: Selbstregulation

Die Selbstregulation des Systems „Außenraum und bauliche Nachverdichtung auf Quartiersebene“ ist nicht vollständig gewährleistet, da Regelkreise mit positiven Rückkopplungen im Wirkungsgefüge überwiegen. Sie haben die Eigenschaft Systeme in Gang zu bringen und können als Motoren des Systems betrachtet werden. Negative Rückkopplungen können neben dem stabilisierenden Effekt unter Umständen dämpfend oder blockierend auf Systeme wirken. Langfristig ist für das betrachtete System eine Selbstregulation erwünscht, die durch eine Steigerung der negativen Rückkopplungen erreicht wird. Der gegenwärtige Wandel der Prioritäten im Wohnumfeld und der Bauindustrie, durch Suffizienz, Zirkularität und Ressourcenschonung, setzt eine grundlegende Veränderung voraus. Diese kann durch eine Steigerung und letztliches Überwiegen der Regelkreise mit positiven Rückkopplungen zustande kommen.

Zu Regel 2: Wachstumsunabhängigkeit

Quantitatives Wachstum ist oft durch eine starke Marktwirtschaft gegeben. In der Kriterienmatrix ist der Lebensbereich Wirtschaft mit einer Summe von drei Punkten am schwächsten ausgeprägt und hat keinen großen Einfluss auf das System. Die Überprüfung des Variablensatzes ergab nur fünf Variablen mit quantitativen und wachstumsstärkenden Eigenschaften wie beispielsweise *Ökonomische Qualität*, *guter Standortfaktor* oder *Sanierung*, *Modernisierung*. Die große Diversität des Systems in Kombination mit der qualitativen Ausrichtung lässt auf Wachstumsunabhängigkeit schließen.

Zu Regel 3: Funktionsorientierung

Da das System als übergeordnetes Ziel die Wechselwirkungen von Außenraum und Nachverdichtung untersucht, ist eine reine Produkt- oder Dienstleistungsausrichtung unwahrscheinlich. Einflussgrößen die in der Kriterienmatrix das Kriterium „öffnet das System durch Input“ abdecken, weisen auf Wachstumsunabhängigkeit hin. Die Variablen *Mikroklima* und *Biodiversität* werden ebenso abgedeckt wie die Zielvariablen *Bauliche Dichte* und *Außenraum* aus der Simulation. Die Kombination der genannten Einflussgrößen spricht für eine hohe Systemdiversität, die auch zur Funktionsorientierung beiträgt.

Zu Regel 4: Jiu-Jitsu-Prinzip

Um die vorhandenen Kräfte zu nutzen, ist deren Kenntnis notwendig. Zum einen spielen hier die in der Rollenverteilung und dem Wirkungsgefüge identifizierten Schalthebel des Systems eine zentrale Rolle, zum anderen verfügen Variablen mit verstärkt sozialer Bedeutung über entscheidende Kräfte wie die Variablen *Partizipation und Quartiersidentität* und *Vielfalt und Diversität*, die das System durch Initiative und die soziale Gemeinschaft beeinflussen. Mit zunehmender Bewohnerzahl und Diversität steigt die soziale und bauliche Dichte und der Bedarf nach qualitativem Außenraum. Eine starke Bürgerbeteiligung und das damit einhergehende Identitätsgefühl, bietet großes Entwicklungs- und Gestaltungspotenzial für den Außenraum. Dieser gewinnt zusätzlich durch den Schalthebel *Blaue Infrastruktur*, an Qualität. Grundlage hierfür bilden die Urbanen Raumverhältnisse, die durch bauliche Nachverdichtungsprozesse verändert werden und so den Kreis der Wechselwirkungen zur Kräftenutzung schließt.

Zu Regel 5: Mehrfachnutzung

Die starke Vernetzung des Wirkungsgefüges und die Vielfalt der Einflussgrößen weist auf eine hohe Systemdiversität hin. Ein weiterer Indikator für die Mehrfachnutzung ist der Variablensatz. Die trennscharfe Definition der einzelnen Variablen und eine Abgrenzung der Variablenbeschreibung stellte eine Herausforderung dar. Die inhaltliche Nähe einiger Einflussgrößen und entsprechende Überschneidungsmöglichkeiten ermöglicht eine Mehrfachnutzung.

Zu Regel 6: Recycling

Um die Selbstregulation und Unabhängigkeit des Systems zu gewährleisten, ist die Nutzung von Kreisprozessen von Vorteil. *Biodiversität*, *Blaue* und *Grüne Infrastruktur* und eine hohe *Freiraumqualität* dienen als Ressourcen zur Lebenserhaltung. Neben Ressourcen spielen Entsorgungsprozesse eine entscheidende Rolle bei Recyclingvorgängen. Im untersuchten System kommen diese bei *Technischer Gebäudequalität* und *Infrastruktur* vermehrt vor. Das Systemkriterium „öffnet das System durch Input bzw. Output“ in der Kriterienmatrix, ist zusätzlich ein Indiz zur Erfüllung der Regel 6 und durch genügend Variablen abgedeckt.

Zu Regel 7: Symbiose

Symbiosemöglichkeiten sind aus der Vernetzung im Wirkungsgefüge und der unterschiedlichen Art der Systemteile erkennbar. Durch die vielen Regelkreise mit positiver Rückkopplung und gleichsinniger Bedingung der Variablenwirkungen, stellt sich Symbiose ein. Hier sind beispielsweise die Variablen *Mikroklima*, *Blaue* und *Grüne Infrastruktur*, *Klimaschutz* und die Variablen mit sozialer Bedeutung hervorzuheben. Die insgesamt starke Vernetzung innerhalb des Systems erleichtert die biokybernetischen Prinzipien Jiu-Jitsu, Mehrfachnutzung und Recycling.

Zu Regel 8: Biologisches Design

Die Vielfalt an Einflussfaktoren des Systems und der hohe Vernetzungsgrad stellt eine Parallele zur Natur dar. Besonders die enge Verknüpfung und starke Wechselwirkung der Bereiche „Infrastruktur, Mensch und Umwelt“ sind ein Indiz für die Kompatibilität mit der Natur. Dennoch ist die Optimierung des biologischen Designs ein Schritt in die gewünschte Entwicklung der Systemkomponenten.

Bis auf die Selbstregulation, Regel 1, sind alle weiteren Regeln des Systems mehr biokybernetisch als technokratisch ausgeprägt. Langfristig sollen die Systemkomponenten „Außenraum und Nachverdichtung“ betreffend durch Regelkreise mit negativen Rückkopplungen dominiert werden. Der Entwicklungsprozess des betrachteten Themenkomplexes bringt viel Wandel und eine Veränderung, die vollständige Erfüllung aller biokybernetischen Regeln ist zukünftig nicht ausgeschlossen. Dennoch weist das Sys-

tem schon jetzt ein erfolgreiches „evolutionäres Management“ und somit eine lebensfähige Gestaltung mit nachhaltiger Funktion auf. (Harrer, 2016, S. 35–37; Hörz et al., 2016, S. 195; Kraus, 2012; Vester, 2015, S. 157–172, 2016)

4. Diskussion

Die Diskussion fasst alle relevanten Einflussparameter und wesentlichen Wechselwirkungen (4.1) zusammen, bewertet die einzelnen Arbeitsschritte des Modell hinsichtlich Verbesserungsmöglichkeiten und Potenzial (4.2.1) und diskutiert die Modelleignung (4.2.2) für die untersuchte Thematik. Abschließend wird ein Anwendungsfall (4.2.3) des Sensitivitätsmodells vorgestellt sowie einige Schwierigkeiten und Anwendungsgrenzen (4.3) aufgezeigt.

Die Software des Sensitivitätsmodells bildet den Rahmen, um komplexe Zusammenhänge besser verstehen und bearbeiten zu können. Alle Arbeitsschritte des Modells werden eigenständig, unterstützt durch die Softwareoberfläche bearbeitet. Die Rollenverteilung als direktes Ergebnis der Einflussmatrix stellt eine Ausnahme mit Ergebnisoutput durch die Software dar. Für eine erfolgreiche Modellbearbeitung ist Fach- und Systemwissen notwendig. Die Bearbeitung in einer Gruppe mit ausgewählten Expert:innen und Personen, die über Systemkenntnis verfügen, ist zu empfehlen.

4.1. Inhaltliche Ergebnisse

Hauptgegenstand der Untersuchung dieser Arbeit sind die relevanten Einflussparameter und wesentlichen Wechselwirkungen hinsichtlich des Systemverhaltens in Bezug auf bauliche Nachverdichtung und Außenraum auf Quartiersebene.

Die relevanten Einflussparameter können aus den Arbeitsschritten der Rollenverteilung (s. Kapitel 3.5.2) und dem Wirkungsgefüge (s. Kapitel 3.6.2) abgeleitet werden. Die Rollenverteilung gibt Aufschluss über die Charaktereigenschaft der einzelnen Variablen in Bezug auf das Gesamtsystemverhalten. Die Charaktereigenschaften *kritisch*, *aktiv*, *reaktiv* und *puffernd* ergeben sich aus den Kennwerten Aktivsumme (AS), Passivsumme (PS), Produkt (P-Wert) und Quotient (Q-Wert) als Teilergebnisse der Einflussmatrix. Besonders wichtige Variablen für das System besitzen eine hohe AS, hier hat bereits eine kleine Veränderung der Variablen eine große Wirkung auf das Systemverhalten. Als sogenannte Stellhebel agieren *Intensität der Bebauung*, *Nachverdichtung* und *Grüne Infrastruktur*. Messfühler des Systems sind *Freiraumqualität*, *Gebäude- und Wohnqualität* sowie *Klimaschutz*, sie weisen eine hohe PS auf. *Freiraumqualität*, *Klimaschutz* und *-anpassung* dienen als Initialzündler oder Katalysatoren des Systems, ihre Beteiligung

am Gesamtsystemverhalten ist stark ausgeprägt. Einen hohen Q-Wert besitzen *Blaue Infrastruktur* und *Urbane Raumverhältnisse*, sie bilden die Basis der Raumgestaltung und haben somit einen entscheidenden Einfluss auf die anderen Parameter und deren Wechselwirkungen. Wichtige Variablen des Wirkungsgefüges werden aufgrund einer besonders starken Einbindung in Regelkreise und einem hohen Vernetzungsgrad identifiziert. Beide Eigenschaften stellen Indikatoren für eine entscheidende Beeinflussung des Systemverhaltens dar. Die drei am stärksten in Regelkreise eingebunden Variablen sind *Intensität der Bebauung*, *Wohnformen*, *Lebensstil* und *Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor*. Einen besonders starken Vernetzungsgrad haben die Variablen *Intensität der Bebauung*, *Grüne Infrastruktur* und *Partizipation und Quartiersentwicklung*.

Im Teilszenario werden einige Variablen zusammengefasst. *Intensität der Bebauung* und *Nachverdichtung* werden zu *Baulicher Dichte* umbenannt aufgrund ihrer sehr ähnlichen Charaktereigenschaften als Ergebnis der Rollenverteilung. *Außenraum* beschreibt *Freiraumqualität*, *Grüne* und *Blaue Infrastruktur*. Somit ergeben sich die für das System sechs besonders relevante Einflussparameter: *Bauliche Dichte*, *Außenraum*, *Klimaschutz*, *Partizipation und Quartiersentwicklung* und *Wohnformen, Lebensstil*.

Die für das System wesentlichen Wechselwirkungen ergeben sich aus dem Wirkungsgefüge (s. Kapitel 3.6.2) und dem Teilszenario (s. Kapitel 3.7.2). Aus den einzelnen Regelkreisen lassen sich direkte Wechselwirkungen zwischen den Variablen ablesen. Die wichtigen Regelkreise können anhand der relevanten Einflussparameter identifiziert werden. Kurze starke Regelkreise kommen immer wieder auch in längeren Regelkreisen vor, daher wird hier der Fokus gesetzt. Es wird zwischen zwei Arten an Wechselwirkungen differenziert: Gleich- bzw. gegengerichtete. Eine gleichgerichtete Wirkung verstärkt den aktuellen Zustand der Variable, von der die Wirkung ausgeht, eine gegengerichtete Wirkung verhält sich konträr und wird auch als stabilisierend bezeichnet. Aufgrund der Vielzahl an Regelkreisen und relevanten Wirkungsketten, die sich aus dem Wirkungsgefüge und dem Teilszenario ergeben, beschränkt sich die Analyse der wesentlichen Wechselwirkungen auf die detailliert betrachteten Regelkreise des Wirkungsgefüges in Kapitel 3.6.2, Tabelle 7 und des Teilszenarios in Kapitel 3.7.2. Die für das Systemverhalten wesentlichen Wechselwirkungen sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Übersicht der wesentlichen Wechselwirkungen

Wechselwirkungen des Wirkungsgefüges
<p><u>Gleichgerichtete, verstärkende Wirkung (+)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Freiraumqualität > Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor – Freiraumqualität > Vielfalt und Diversität – Freiraumqualität > Wohnformen, Lebensstil – Grüne Infrastruktur > Freiraumqualität – Mikroklima > Freiraumqualität – Nachverdichtung > Freiraumqualität – Nachverdichtung > Grüne Infrastruktur – Nachverdichtung > Vielfalt und Diversität – Intensität der Bebauung > Nachverdichtung – Intensität der Bebauung > Vielfalt und Diversität – Klimaschutz > Freiraumqualität – Klimaschutz > Mikroklima – Vielfalt und Diversität > Partizipation und Quartiersentwicklung – Partizipation und Quartiersentwicklung > Freiraumqualität – Partizipation und Quartiersentwicklung > Nachverdichtung – Partizipation und Quartiersentwicklung < > Wohnformen, Lebensstil – Wohnformen, Lebensstil < > Klimaschutz – Wohnformen, Lebensstil > Intensität der Bebauung – Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor > Nachverdichtung <p><u>Gegengerichtete, stabilisierende Wirkung (-)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor > Partizipation und Quartiersentwicklung – Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor > Wohnformen, Lebensstil – Intensität der Bebauung > Freiraumqualität – Partizipation und Quartiersentwicklung > Intensität der Bebauung
Wechselwirkungen des Teilszenarios
<p><u>Gleichgerichtete, verstärkende Wirkung (+)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Außenraum < > Partizipation – Außenraum < > Klimaschutz – Bauliche Dichte > Partizipation – Bauliche Dichte > Sanierung – Sanierung > Außenraum

Gegengerichtete, stabilisierende Wirkung (-)

- Außenraum < > Bauliche Dichte
- Partizipation > Bauliche Dichte
- Bauliche Dichte > Klimaschutz

*[>] einseitige Wirkung; [< >] doppelseitige Wirkung

Deutlich zu erkennen ist, dass die verstärkenden Wirkungen insbesondere im Wirkungsgefüge deutlich überwiegen. Diese Wirkungsverteilung spiegelt den kritischen Charakter und das Systemverhalten wider. Das Gesamtsystem verhält sich *aktiv-kritisch*, was bedeutet, dass es viele Initialzündler und Katalysatoren gibt. Gleichzeitig kann sich das System aufgrund des *aktiv-kritischen* Charakters schlecht selbst stabilisieren. Im Wirkungsgefüge kommen besonders oft die Variablen *Freiraumqualität, Wohnformen, Lebensstil, Partizipation* und *Nachverdichtung* vor. Zwischen diesen Variablen existieren die stärksten Wechselwirkungen. Im Teilszenario stehen der *Außenraum* und die *Bauliche Dichte* im Mittelpunkt. Der Vergleich von Wirkungsgefüge und Teilszenario lässt erkennen, dass die soziale und interaktive Komponente durch die Variablen *Partizipation* und *Wohnformen, Lebensstil* auf gesamtsystemischer Ebene überwiegen.

Die Bearbeitung der genannten Arbeitsschritte ermöglicht die Bestimmung relevanter Einflussvariablen und deren Wechselwirkungen. Um diese in der Realität besser einordnen zu können, sowie die Ergebnisse zu validieren, ist der Abgleich mit konkreten Fallbeispielen zu empfehlen. Zusammenfassend ergibt sich, dass *Außenraum* und *Bauliche Dichte* sowie mit diesen beiden Variablen eng verknüpfte Einflussparameter starke Wechselwirkungen aufweisen. Dies verdeutlicht nochmals die Notwendigkeit, Faktoren, die Außenraum und bauliche Nachverdichtung betreffen bereits in Entscheidungs- und Entwurfsszenarien frühzeitig einzubeziehen.

4.2. Eignung und Anwendung des Sensitivitätsmodells

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über Potenzial und Nutzen des angewandten Sensitivitätsmodells, sowie Verbesserungsmöglichkeiten der einzelnen Arbeitsabschnitte. Im Anschluss wird die Modelleignung bewertet sowie eine mögliche Modellanwendung in der Praxis vorgestellt.

4.2.1. Potenzial und Verbesserungsmöglichkeiten der Modellarbeitsschritte

Die Systembeschreibung und der Variablensatz bilden die Grundlage des Systems und sind wesentlich für das thematische Verständnis der bearbeitenden Personen. Das Aufstellen des relevanten Variablensatzes bedarf eines erheblichen Anteils der zeitlichen Ressourcen in Relation zur Gesamtbearbeitungszeit. Aufgrund der inhaltlichen Spannweite und Vielseitigkeit dieses Arbeitsschritts besteht folglich beschriebenes Optimierungspotenzial. Die Variablendefinitionen sollten detailliert und die Aggregationsebene verbessert werden. Mittels ausführlicher Kennzahlenrecherche der Einzelaspekte in jeder Variablenbeschreibung kann die Bewertungsrichtung weiter verfeinert werden. Ein weiteres Potenzial besteht darin, externer Einflussfaktoren mit einzubeziehen.

Die Konsensmatrix als Ergebnis des Expertenworkshops beinhaltet insgesamt 400 Wirkungsbewertungen. Jede einzelne Wirkung im System mittels Cross-Impact-Matrix zu hinterfragen ist zeitaufwendig, trägt jedoch wesentlich zum Verständnis der Variablen und ihrer Wirkung bei. Die Einflussmatrix berücksichtigt potenzielle Wirkungen; im Wirkungsgefüge werden dagegen nur die tatsächlich vorhandenen Wirkungen bewertet. Für die quantitative Bewertung ist ein konkretes Beispiel hilfreich. Die *Intensität der Bebauung* wirkt sich beispielsweise durch die Reduktion der Durchlüftungsverhältnisse oder die Zunahme der thermischen Masse und dadurch verstärkte Wärmespeicherung stark auf das *Mikroklima* aus. Die Unterstützung der Expert:innen im Expertenworkshop ist sowohl für die Qualität als auch die Validierung des Variablensatzes entscheidend. Die Bearbeitung komplexer Zusammenhänge in der Gruppe stellt, aufgrund des Wissenstransfers und daraus entstehender Diskussion, einen erheblichen Mehrwert dar.

Die Rollenverteilung basiert auf dem Prinzip der Kybernetik. Durch die Fuzzyness oder auch Unschärfe entsteht ein Interpretationsspielraum der Ergebnisse. Die richtige Einordnung und Bewertung der Ergebnisse setzt Fach- und Systemverständnis voraus. Um die Ergebnisse und Variablencharaktere besser bewerten zu können, ist ein ausführlicher Abgleich mit ähnlichen Arbeiten sowie mit Expert:innen der verschiedenen Fachbereiche zu empfehlen.

Der Aufbau des Wirkungsgefüges stellt eine neue Herangehensweise der Wirkungsbewertung innerhalb der Systemkomponenten dar. Einflussmatrix und Wirkungsgefüge werden getrennt voneinander bearbeitet. Die Ergebnisse der Einflussmatrix können nur geringfügig zum Aufstellen des Wirkungsgefüges genutzt werden. Variablenwirkungen

mit 0er und 1er Bewertungen werden nicht im Wirkungsgefüge berücksichtigt. Alle anderen Wirkungen müssen erneut hinterfragt werden, da die Anzahl an Wirkungen je Variable im Wirkungsgefüge stark begrenzt ist. Die Ergebnisauswertung des Wirkungsgefüges mittels Regelkreisanalyse ist komplex, da die Software viele Einstellmöglichkeiten hat. Je stärker das System vernetzt ist, desto aufwendiger ist die Regelkreisanalyse. Eine genaue Anleitung bzw. Hinweise zum Vorgehen im Rahmen der Regelkreisanalyse gibt es weder im Programm noch in der Fachliteratur des Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester. Die Interpretation der Ergebnisse basiert auf der Regelkreisanalyse und bedarf „Erfahrung und Fingerspitzengefühl“ (Harrer-Puchner, 2022). Hilfreich ist die iterative Integration vorheriger Ergebnisse. Weniger relevante Variablen wegzulassen und die Ergebnisdarstellung mithilfe einer anderen Software vorzunehmen, kann die Ergebnisdarstellung übersichtlicher gestalten. Ebenfalls ist zu empfehlen, weitere Regelkreise und Wirkungsketten detailliert zu untersuchen.

Das Teilszenario ist im Vergleich zum Wirkungsgefüge klein und übersichtlich. Dadurch ist es in Bezug auf den Aufbau als auch die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse leichter zu handhaben. Das Teilszenario ist essenziell, um die Ergebnisse der vorhergehenden Arbeitsschritte in die Realität zu überführen. Dieser Arbeitsschritt ermöglicht die Analyse und Beantwortung konkreter Fragestellungen. Es können unbegrenzt viele Teilszenarien entwickelt und somit eine Vielzahl konkreter Fragestellungen oder Fallbeispiele untersucht und beantwortet werden. Dies stellt ein immenses Potenzial des Modells dar.

Die Simulation ist ein optionaler Arbeitsschritt des Modells und basiert auf dem Teilszenario. Aufbau und Einstellen der Simulation ist komplex und aufwendig. Für die Simulation muss eine eigene Logik entwickelt werden, dies erfordert ein tieferes Verständnis der Variablen und ihrer Wirkungen. Die Wirkungskurven zwischen zwei Variablen können graphisch oder mathematisch-formelbasiert erstellt werden. Trotz ausführlicher Anleitung des Simulationsexperten der Firma System Logics T.T. (System Logics T.T., 2022), fehlt es an Systemkenntnis und -erfahrung, um die Simulation optimal einzustellen. Im Rahmen dieser Arbeit dient die Simulation mittels mehrerer Parameteranalysen unter anderem der Erlangung eines detaillierteren Programm- und Methodenverständnisses. Trotz ihrer Komplexität ist die Simulation zu empfehlen, da sie das dynamische Systemverhalten abbildet und zur Entwicklung konkreter Maßnahmen dient. Die Policy-Tests bieten unendlich viele Möglichkeiten für Ausgangs- und Entwicklungsszenarien.

Die Umsetzung weiterer Simulationsszenarien stellt ein großes Optimierungspotenzial dar und sollte zur Entwicklung von Handlungsempfehlungen angewandt werden.

Resümierend sind die Anzahl der Arbeitsschritte und der intensive Bearbeitungsumfang des Modells durch die gegebene Modellkomplexität durchaus berechtigt. Das Aufstellen des Variablensatzes und die Wirkungsbewertung mittels Einflussmatrix sind essenziell, um das komplexe System kennen und verstehen zu lernen. Die Rollenverteilung generiert erste Ergebnisse und erweitert das kybernetische Systemverständnis. Die Kenntnis der Bedeutung und Rolle jeder einzelnen Variable im System ist notwendig um wichtige Einflussparameter sowie deren Wirkungsbeziehungen im Wirkungsgefüge berücksichtigen zu können. Besonderes Potenzial liegt in den Arbeitsschritten Teilgefüge und Simulation. Sie dienen zur Untersuchung konkreter Fallbeispiele und Fragestellungen.

Wie auch in dieser Arbeit wird das Systemwissen typischerweise erst während des Bearbeitungsprozesses erlangt. Dadurch waren einige relevante Informationen zur Bearbeitung des jeweiligen Arbeitsschrittes nicht vorhanden. Die Ergebnisse und Erkenntnisse der einzelnen Arbeitsschritte können mit dem erarbeiteten Systemverständnis noch besser verknüpft werden.

4.2.2. Modelleignung

Das Sensitivitätsmodell basiert auf der allgemeinen Systemtheorie und untersucht den Zusammenhang aller systemrelevanten Einflussfaktoren. So werden Struktur, Funktion, zeitliche Dynamik und Beeinflussbarkeit des Systems berücksichtigt. Die Vielzahl an komplexen Zusammenhängen kann mithilfe des Modells übersichtlich und transparent abgebildet werden. Bereits einzelne Arbeitsschritte bieten erste Ergebnisse. Durch die ganzheitliche Systembetrachtung können unbeachtete Nebenwirkungen oder eine falsche Schwerpunktbildung vermieden werden. Die Erkenntnis relevanter Stellhebel sowie der partizipative und kollaborative Ansatz bewirken eine gute Eignung der Modelanwendung für Entscheidungs- und Planungsprozesse in frühen Phasen von Bauvorhaben. Dadurch ist die Methodik des Sensitivitätsmodells ideal, um Wechselwirkungen zwischen Variablen der baulichen Nachverdichtung und dem Außenraum in frühen Planungsphasen zu untersuchen. (Anders, 2016, S. 93; Küppers, 2018; Wulfhorst, 2003, S. 97)

Die Methodik und Anwendung des Sensitivitätsmodells sind komplex und arbeitsintensiv. In der Regel beträgt die Bearbeitung von Fragestellungen mit systemischem Ansatz zwischen ein bis drei Jahre, abhängig vom Umfang und den Beteiligten des Projekts. Die Bearbeitung findet immer im Team statt, zusammengesetzt aus Expert:innen des fachlichen Kontextes und Personen mit Systemkenntnis (Harrer-Puchner, 2022). Dadurch eignet sich die Modellanwendung insbesondere für Langzeituntersuchungen und Großprojekte. Der gegebene Bearbeitungszeitraum der Masterthesis von sechs Monaten ist zu kurz, um die gegebene Fragestellung qualitativ und umfassend zu lösen. Neben einer Vertiefung der Fachkenntnis des Themenkomplexes baulicher Nachverdichtung und Außenraum musste das Systemwissen eigenständig erlernt werden. Für die Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen bedarf es mehr Zeit. Die Grundlage hierfür bilden weitere Teilszenarien mit Simulation zur Beantwortung konkreter Fragestellungen.

Trotz der umfangreichen Bearbeitung stellt die Thesis die Dringlichkeit der Anwendung systemischer Ansätze in den Vordergrund. Oftmals werden komplexe Problemstellungen nicht als solche erkannt, was zu einer Fehlbehandlung führt. Die aktuelle Nachhaltigkeitsdebatte stellt die Handhabung komplexer Fragestellungen in der Vergangenheit in Frage, da beispielsweise das Lösen von Einzelproblemen zu neuen unvorhergesehenen Problemen führen kann. Zudem können Konflikte durch eine frühzeitige Partizipation aller Beteiligten vermieden werden. Modelle zur Bearbeitung komplexer Problemstellungen werden oftmals als Aufwand und nicht als Nutzen gewertet, da zusätzliche Ressourcen, finanzielle Mittel, ausreichendes Know-how und eine gewisse institutionelle Voraussetzung benötigt werden. Insbesondere auf Bundes- und Verwaltungsebene sind Abläufe und Regularien verankert, die eine flexible und andersartige Herangehensweise häufig mit einem kurzen Zeithorizont nicht ermöglichen. (Anders, 2016, S. 106; Vester, 2015, S. 36)

4.2.3. Anwendung des Modells

Geplant ist die Anwendung des erarbeiteten Modells zur Analyse komplexer Probleme im Bereich der nachhaltigen Stadt- und Quartiersplanung insbesondere für Prozesse der doppelten Innenentwicklung. Die Modellanwendung stellt die Schnittstelle zwischen Städtebau, Freiraumplanung, Natur- und Klimaschutz dar und dient der Verbesserung immer wieder auftretender Konflikte der betroffenen Akteur:innen.

Ziel der Modellanwendung ist es dabei, konkrete Handlungsempfehlungen hinsichtlich der Erhaltung und Entwicklung von qualitativem Außenraum bei Nachverdichtungsszenarien zu erarbeiten. Die Handlungsempfehlungen sollen auf wiederkehrende Problemstellungen auf institutioneller und kommunaler Ebene eingehen und somit einen Mehrwert für zukünftige Planungsprozesse generieren. Das Vorhaben soll durch Institutionen auf Bundesebene gefördert werden. Die Analyse der wesentlichen Konfliktherde in Planungsprozessen insbesondere in frühen Phasen macht einen Workshop mit allen relevanten Akteur:innen erforderlich. Die Überarbeitung und Verfeinerung des in dieser Arbeit erstellten Modells betreffend der analysierten Problemstellungen soll durch ein Expert:innenteam, zusammengestellt aus den betroffenen Ziel- und Akteursgruppen, sowie fachlich unterstützt durch entsprechende Ministerien, stattfinden. In Zusammenarbeit mit Systemexpert:innen sollen verschiedene Teilszenarien erstellt werden und daraus, anhand spezifischer Szenarien, mithilfe der Simulation entsprechende Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Die Anwendung des Sensitivitätsmodells vom Spezifischen hin zum Allgemeinen ist in der Regel einfacher, da sich der Modellaufbau an konkreten Fallbeispielen und vorhandenen Gegebenheiten orientiert. Durch den allgemeinen Ansatz dieser Arbeit mit der Intention zur Spezifizierung und der Ableitung von Handlungsempfehlungen entsteht ein Mehrwert für eine größere Zielgruppe. Die Zielgruppe umfasst zwei Akteur:innen: Einerseits Staatliche und Nichtstaatliche Verwaltungsintitutionen. Die Verwaltung besteht aus verschiedenen Fachämtern, wie Stadtplanung, Grünflächen- und Landschaftsplanung, Naturschutz, Liegenschaften, Verkehr und Infrastrukturbetreiber. Verwaltungsexterne Akteur:innen sind Bürger:innen, Umwelt- und Naturschutzverbände, Wohnungsgenossenschaften und Investor:innen. Insbesondere die Zusammenarbeit der betroffenen Akteur:innen ist ein wichtiger formeller und informeller Baustein für die konfliktfreie Umsetzung von Nachverdichtungsprozessen.

Die Handlungsempfehlungen sollen die besten Stellschrauben und wichtige Wechselwirkungen lokalisieren und den Planer:innen dadurch in frühen Planungsphasen nützen. Besonders auf kommunaler Ebene sollen die Handlungsempfehlungen einen Mehrwert schaffen und die Kooperation aller Beteiligten inklusive der relevanten Entscheidungsträger:innen fördern. Dadurch können Konflikte vermindert werden. Dies wirkt sich langfristig positiv auf Entscheidungs- und Planungsprozesse und deren Folgen für den urbanen Lebensraum aus. Durch den ganzheitlichen Ansatz und die Beteiligung aller relevanten Akteur:innen soll eine Verbesserung der Wohn- und Lebensqualität dank einer

hochwertigen Außenraumgestaltung im Rahmen von Nachverdichtungsprozessen stattfinden. Unter Berücksichtigung von Klimaschutz und -anpassung kann das Mikroklima innerhalb der Stadt verbessert werden. Die vorgestellte Modellanwendung kann und soll einen Beitrag zur lebenswerten Gestaltung umweltfreundlicher Wohnquartiere leisten und dadurch im gesamtgesellschaftlichen Kontext wirken.

4.3. Anwendungsgrenzen des Sensitivitätsmodells

Die Betrachtung und Bewertung komplexer Systeme mit einfachen Bewertungsstrukturen ist schwierig. Oftmals wird auf quantitativen Bewertungsmethoden gesetzt, da diese exakte Ergebnisse liefern. Doch das Lösen vielschichtig vernetzter Zusammenhänge mit quantitativen Methoden führt in der Regel zu Problem (s. Kapitel 2.4.2). Zudem werden die Ergebnisse oftmals nach dem Blackbox-Prinzip generiert und nicht ausreichend hinterfragt und geprüft. Vorteil der qualitativen Betrachtung ist, dass durch die Vereinfachung selbst komplexe Systeme mit unzähligen Parametern übersichtlich bleiben.

Defizite in der vorgegebenen Arbeitsweise des Sensitivitätsmodells sind der hohe Zeit- und Arbeitsumfang. Eine Modellbearbeitung im Team ist erforderlich um differenzierte Ergebnisse zu erlangen und stellt gleichermaßen Vor- und Nachteile dar. Die zusätzliche Funktion des Modells als Kommunikations- und Partizipationstool stellt einen klaren Vorteil in Beteiligungsprozessen dar und dient zum präventiven Konfliktmanagement. Durch die Vielfalt an vorhandenem Wissen- und Erfahrungsschatz der Beteiligten wird eine objektive Herangehensweise gewährleistet. Einen Nachteil des Bearbeitungsprozesses im Team stellen die geforderten Faktoren Zeit, Geld, Verfügbarkeit und Fachkenntnis der Expert:innen dar. Die Unterstützung durch Personen mit Systemkenntnis ist stark zu empfehlen und optimiert die Bearbeitung des vorgestellten Ansatzes.

Auf Modelleben können einige Merkmale die Bearbeitung einschränken. Der iterative und rekursive Arbeitsansatz korrigiert das aufgebaute Systemmodell ständig selbst und stellt ein unbegrenztes Optimierungspotenzial dar. Dies wirft die Frage auf, wann das Modell ohne weitere Verfeinerung und Verbesserung genutzt werden kann und gestaltet den Bearbeitungsprozess langwierig. Weitere Anwendungsgrenzen des Sensitivitätsmodells sind die begrenzte Anzahl an Variablen und die Schwierigkeit, technokratische und soziale Faktoren gleichermaßen zu berücksichtigen. Durch eine Modellerweiterung

mittels Ergänzung quantitativer Werte und Schnittstellen zu bestehenden Simulationsprogrammen könnte die Modellaussagekraft deutlich erhöht werden. (Anders, 2016, S. 96–106; Küppers, 2018; Vester, 2015, S. 257)

5. Fazit

In dieser Arbeit wird die Stadt als komplexes System betrachtet. Das Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester wird als geeignete Methode zur Untersuchung vielschichtiger und komplexer Problemstellungen ausgewählt. Der systemische Ansatz ermöglicht eine ganzheitliche, strukturierte und partizipative Untersuchung hinsichtlich Außenraum und baulicher Nachverdichtung. Der Aufbau und die Anwendung des Modells dienen der Untersuchung relevanter Einflussfaktoren und zentraler Wechselwirkungen. Die Modellbearbeitung wird mit der Bewertung der Ergebnisse und Beantwortung der Forschungsfragen komplettiert. Um einen Mehrwert für Planungsprozesse auf institutioneller und kommunaler Ebene zu schaffen, wird ein geeigneter Modellanwendungsfall mit der Möglichkeit zur Ableitung von Handlungsempfehlungen vorgestellt. Im Folgenden werden die Forschungsfragen und Hypothesen dieser Arbeit aufgegriffen:

F1: Ist die Methodik des Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester geeignet, um Wechselwirkungen zwischen Variablen der baulichen Nachverdichtung und dem Außenraum in frühen Planungsphasen zu untersuchen?

Die Methodik des Sensitivitätsmodells erweist sich als geeignet, um Wechselwirkungen zwischen Variablen der baulichen Nachverdichtung und dem Außenraum in frühen Planungsphasen zu untersuchen. Das Auffinden relevanter Stellhebel und Wechselwirkungen ermöglicht institutionellen Akteur:innen frühzeitig positiv wirkende Maßnahmen zu integrieren. Eine konfliktfreie Umsetzung wird durch den partizipativen und kollaborativen Ansatz, der alle Beteiligten in den Planungsprozess einbezieht, ermöglicht. Die systemische Betrachtung unter Berücksichtigung der Komplexität ist notwendig, um alle wesentlichen für das Systemverhalten entscheidenden Einflussparameter miteinbeziehen zu können. Aufgrund der umfangreichen Modellanwendung sollte der Fokus auf Großprojekte mit längerem Untersuchungszeitraum gelegt werden.

Durch die verschiedenen Arbeitsschritte des Sensitivitätsmodells konnten auch die Forschungsfragen zwei und drei beantwortet werden.

F2: Was sind die relevanten Einflussparameter hinsichtlich des Systemverhaltens in Bezug auf bauliche Nachverdichtung und Außenraum auf Quartiersebene?

Die sechs zentralsten Einflussparameter des untersuchten Systems sind *Bauliche Dichte*, *Außenraum*, *Klimaschutz*, *Partizipation und Quartiersentwicklung* und *Wohnformen, Lebensstil*. *Baulicher Dichte und Außenraum* als Parameter des Teilszenarios integrieren die Variablen *Intensität der Bebauung*, *Nachverdichtung*, *Freiraumqualität* sowie *Grüne* und *Blaue Infrastruktur* aus den vorherigen Arbeitsschritten.

F3: In welchen Beziehungen stehen die Einflussparameter zueinander und welche Wirkungsketten sind wesentlich für die bauliche Nachverdichtung?

Es gibt eine Vielzahl an positiven und negativen Wechselwirkungen, die für Prozesse der baulichen Nachverdichtung von hoher Relevanz sind. Wesentliche Wirkungsketten ergeben sich aus den Regelkreisen der Arbeitsschritte Wirkungsgefüge und Teilszenario, diese können anhand der wichtigsten Einflussparameter identifiziert werden. Zwischen den Variablen *Freiraumqualität*, *Wohnformen*, *Lebensstil*, *Partizipation* und *Nachverdichtung* des Wirkungsgefüges sowie *Außenraum* und *Bauliche Dichte* im Teilszenario können bedeutende Wechselwirkungen analysiert werden. Zusammenfassend ergeben sich für alle Einflussparameter, die eng mit den beiden Variablen *Außenraum* und *Bauliche Dichte* verknüpft sind, starke Wechselwirkungen. Darauf gilt es hier in frühen Planungsphasen besonders zu achten.

Die Beantwortung der Forschungsfragen stützt die zu Beginn aufgestellten Hypothesen dieser Arbeit:

Hypothese 1: Die Anwendung des Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester im komplexen System „bauliche Nachverdichtung und Außenraum“ ermöglicht die Identifikation und Analyse der wesentlichen Einflussparameter auf das System und deren systemische Wechselwirkungen.

Hypothese 2: Die Kenntnis der wichtigsten Einflussparameter und des Systemverhaltens ermöglicht die Ableitung von Handlungsempfehlungen für geplante Nachverdichtungsvorhaben.

Um aus dem aufgebauten Modell „Außenraum und bauliche Nachverdichtung auf Quartiersebene“ konkrete Handlungsempfehlungen ableiten zu können ist eine Modellverfeinerung erforderlich.

6. Ausblick

Priorisiertes Ziel ist die Umsetzung der vorgestellten Modellanwendung in Kapitel 4.2.3, zur Erarbeitung von konkreten Handlungsempfehlungen. Durch die Unterstützung und Anwendung der Handlungsempfehlungen kann auf institutioneller und kommunaler Ebene eine bessere Zusammenarbeit und Optimierung von Planungsprozessen ermöglicht werden. Weiterhin ist die Untersuchung konkreter Fallbeispiele mit dem entwickelten Modell zu empfehlen. Durch Spezifizierung der relevanten Einflussparameter realer Anwendungsfälle können Problemherde und Stellhebel frühzeitig erkannt und berücksichtigt werden. Dies ermöglicht es, den Außenraum bestmöglich während des Nachverdichtungsprozesses zu schützen und zu qualifizieren.

Die Erweiterung des Modells und der Software hinsichtlich quantitativer Bewertungsmethoden und Simulation stellt ein großes Potenzial dar. Mithilfe von exakten Daten und Ergebnissen können wichtige Wechselwirkungen tiefgehend analysiert und gezielt Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Denkbar ist die Entwicklung von Schnittstellen zu bereits bestehenden Simulationsprogrammen wie beispielsweise ENVI-met, ein Programm für Mikroklimaanalysen. Denkbar ist auch eine Modelloptimierung durch die Weiterentwicklung der Software hinsichtlich der Ergebnisauswertung. Die Vereinfachung der Ergebnisauswertung, insbesondere der Arbeitsschritte Rollenverteilung, Wirkungsgefüge und Teilszenario, könnte eine große Zeit- und Arbeitersparnis darstellen. Beispielsweise könnten durch Angaben zu der untersuchten Thematik oder Fragestellung relevante Variablen und entsprechende Regelkreise durch die Software hervorgehoben werden. Auch eine genauere Anleitung für den Simulationsaufbau und eine Verbesserung bzw. Modernisierung der Benutzeroberfläche ist zu empfehlen.

Eine Weiterführende Untersuchung könnte den Vergleich des Sensitivitätsmodells nach Prof. Vester mit ähnlichen systemischen Ansätzen darstellen. Das MetaMap Modell von R. Maher, 2018 sowie der System Dynamics Ansatz von Forrester, 1969 sind zwei Methoden, die sich zur Untersuchung komplexer System- und Problemstellungen eignen. Interessant ist ein Vergleich dieser Methoden untereinander hinsichtlich Einarbeitung und Modellverständnis, Anwendung und Nutzen, sowie Schwierigkeiten durch die gegebene Komplexität. Die Untersuchung soll Gemeinsamkeiten, Unterschiede sowie die jeweiligen Vor- und Nachteile der Methode hervorheben.

Aufgrund der gegenwärtigen globalen Entwicklungen sollten die erzielten Ergebnisse dieser Arbeit im Kontext von Klimaschutz und -anpassung umfassend in Bezug auf Qualität und Nachhaltigkeit bewertet werden.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Allgemeines Vorgehen	6
Abbildung 2: Nachverdichtungsarten (von links nach rechts): Aufstockung, Anbau, Schließung des Blockrandes, Verdichtung im Blockinnenbereich, Konversion (Eigene Darstellung vgl. (Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2014)).....	14
Abbildung 3: Struktur und Ablauf des Sensitivitätsmodells (Vester, 2015, S. 199)	18
Abbildung 4: Systemdarstellung des Sensitivitätsmodells (Eigene Darstellung).....	21
Abbildung 5: Systembild (Eigene Darstellung)	23
Abbildung 6: Übersicht der Variablen strukturiert nach den drei Säulen der Nachhaltigkeit (Eigene Darstellung vgl. (Gander, 2015, S. 16))	26
Abbildung 7: Kriterienmatrix (Eigene Darstellung).....	34
Abbildung 8: Übersicht der Wirkungsstärke für die Bewertung der Einflussmatrix (Harrer, 2016).....	36
Abbildung 9: Konsensmatrix (Vester, 2016).....	40
Abbildung 10: Interpretation der Rollenverteilung (Vester, 1991, S. 101).....	42
Abbildung 11: Rollenverteilung Konsensmatrix nach dem Expertenworkshop (Harrer, 2016)	45
Abbildung 12: Analyse Einfluss der Wirkungsstärke auf die Rollenverteilung (Vester, 2016)	47
Abbildung 13: Überarbeitete Konsensmatrix (Harrer, 2016).....	48
Abbildung 14: Beschreibung negativer und positiver Regelkreise (Harrer, 2016).....	52
Abbildung 15: Wirkungsgefüge der Variante 2 (Vester, 2016).....	54
Abbildung 16: Einstelloptionen der Regelkreisanalyse in der Software (Vester, 2016).....	57
Abbildung 17: Verstärkender Regelkreis: <i>Wohnformen, Lebensstil > Klimaschutz > Mikroklima > Freiraumqualität > Wohnformen, Lebensstil</i> (Vester, 2016)	60
Abbildung 18: Stabilisierender Regelkreis: <i>Wohnformen, Lebensstil > Partizipation und Quartiersentwicklung > Freiraumqualität > Ökonomische Qualität, guter Standortfaktor > Wohnformen, Lebensstil</i> (Vester, 2016).....	61
Abbildung 19: Teilgefüge "Bauliche Dichte und Außenraum" (Vester, 2016).....	65
Abbildung 20: Regelkreisanalyse des Teilszenarios (Vester, 2016)	66
Abbildung 21: Stabilisierender Regelkreis: <i>Partizipation > Bauliche Dichte > Sanierung > Außenraum > Partizipation</i> (Vester, 2016).....	66
Abbildung 22: Verstärkender Regelkreis: <i>Partizipation > Außenraum > Klimaschutz > Bauliche Dichte > Partizipation</i> (Vester, 2016).....	67
Abbildung 23: Verstärkender (links) und stabilisierender (rechts) Regelkreis: <i>Klimaschutz, Außenraum, Bauliche Dichte</i> (Vester, 2016).....	68
Abbildung 24: Werteskala der Variable Außenraum (Vester, 2016)	70
Abbildung 25: Funktionsgraph der Wirkung von <i>Baulicher Dichte</i> auf <i>Außenraum</i> (Vester, 2016).....	71
Abbildung 26: Schematische Übersicht der Simulation mit beispielhafter Variablenskalen (A-E) und Wirkungsverlauf (Vester, 2016)	73
Abbildung 27: Automatischer Ablauf des Teilszenarios (Vester, 2016)	75
Abbildung 28: Automatischer Ablauf mit unterschiedlicher Reihenfolge der Variablen <i>Sanierung</i> und <i>Klimaschutz</i> . Oberer Graph: <i>Dichte</i> (1), <i>Außenraum</i> (2), <i>Klimaschutz</i> (3), <i>Sanierung</i> (4) und <i>Partizipation</i> (5). Unterer Graph: <i>Dichte</i> (1), <i>Außenraum</i> (2), <i>Sanierung</i> (3), <i>Klimaschutz</i> (4) und <i>Partizipation</i> (5) (Vester, 2016)	75

Abbildung 29: Ausschnitt Startwertparameteranalyse (Eigene Darstellung vgl. (Vester, 2016)).....	76
Abbildung 30: Simulationskurvenverlauf mit den neu festgelegten Startwerten (Vester, 2016).....	77
Abbildung 31: Wirkungskurvenanalyse der Wirkung <i>Sanierung</i> auf <i>Außenraum</i> (Vester, 2016).....	79
Abbildung 32: Wirkungskurvenanalyse der Wirkung <i>Außenraum</i> auf <i>Partizipation</i> (Vester, 2016).....	80
Abbildung 33: Simulationsverlauf bei verschiedenen Ausgangszuständen <i>Baulicher Dichte</i> . Die Startwerte für <i>Bauliche Dichte</i> steigen von oben (8) nach unten (18) an. (Vester, 2016).....	82
Abbildung 34: Erhöhung der <i>Baulichen Dichte</i> in Jahr 5, 8 und 10 durch Nachverdichtung (Vester, 2016)	84
Abbildung 35: Verbesserung des <i>Außenraums</i> in Jahr 5, 8 und 10 durch Begrünungsmaßnahmen (Vester, 2016).....	86

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Variablen und Variablenbeschreibung	28
Tabelle 2: Zeit- und Ablaufplan Expertenworkshop	37
Tabelle 3: Übersicht Variablencharakter der Rollenverteilung	50
Tabelle 4: Unterschiede der Variantenbetrachtung <i>Nachverdichtung</i> und <i>Nachhaltige Nachverdichtung</i>	55
Tabelle 5: Einstelloptionen der Parameteranalyse	57
Tabelle 6: Auswahl wichtiger Variablen	58
Tabelle 7: Ausgewählte interessante Regelkreise aus Variante 2 <i>Nachhaltige Nachverdichtung</i>	59
Tabelle 8: Alte und neue Startwerte je Variable	77
Tabelle 9: Die acht biokybernetischen Regeln (Harrer, 2016; Vester, 2016)	89
Tabelle 10: Übersicht der wesentlichen Wechselwirkungen	96

9. Literaturverzeichnis

- Adrian, L., Bunzel, A., Frerichs, S., Küpper, C., Noky, B., Pätzold, R. & Simon, A. (2018). Umwelt- und Aufenthaltsqualität in kompakt-urbanen und nutzungsge-
mischten Stadtstrukturen: Analysen, Fallbeispiele, Handlungsansätze unter
Nutzung und Weiterentwicklung des Bauplanungs- und Umweltrechts. Verfüg-
bar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/me-
dien/1410/publikationen/2018-01-29_texte_06-2018_stadtstrukturen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/me-
dien/1410/publikationen/2018-01-29_texte_06-2018_stadtstrukturen.pdf)
- Ahlhaus, P., Alaily-Mattar, N., Elbel, K., Förster, A., Gebhardt, V., Geyer, P., Hama-
cher, T., Keller, R., Kettel, W., Lang, W., Lindauer, M., Metzler, F., Michaeli, M.,
Nemeth, I., Ostenrieder, M., Priester, R., Rienietz, R., Schinabeck, J., Schnei-
der, P., . . . , Wulfhorst, G. (2014). *Stadtlabor Nürnberger Weststadt: Ein inter-
disziplinäres Forschungsprojekt der technischen Universität München in Zu-
sammenarbeit mit der Stadt Nürnberg*. Endbericht (Langfassung).
- Ali-Toudert, F. & Ji, L. (2017). Modeling and measuring urban sustainability in multi-
criteria based systems — A challenging issue. *Ecological Indicators*, 73, 597–
611. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.046>
- Anders, S. (2016). *Stadt als System: Methode zur ganzheitlichen Analyse von Pla-
nungskonzepten*. WorldCat.
- Angermeier, G. (2018). Cross Impact Matrix. *Projektmagazin*. Zugriff am 10. April
2022, verfügbar unter [https://www.projektmagazin.de/glossarterm/cross-im-
pact-matrix](https://www.projektmagazin.de/glossarterm/cross-im-
pact-matrix)
- Artmann, M., Kohler, M., Meinel, G., Gan, J. & Ioja, I. (2019). How smart growth and
green infrastructure can mutually support each other — A conceptual frame-
work for compact and green cities. *Ecological Indicators*, 96, 10–22.
- Banihashemi, F., Erlwein, S., Harter, H., Meier-Dotzler, C. & Zölch, T. (2021). *Grüne
und graue Maßnahmen für die Siedlungsentwicklung: Klimaschutz und Klima-
anpassung in wachsenden Städten*. Grüne Stadt der Zukunft.
- Bauer A., Mittermüller J., Rupp J. & Wutz S. (2021). *Grün in der wachsenden Stadt:
Perspektiven und Aktivierung der Stadtgesellschaft*. Grüne Stadt der Zukunft.
- Bauer A., Linke S., Erlwein S., Meier-Dotzler C. (2021). *Klimaresilienz in der kompak-
ten Stadt: Zielkonflikte und Potentiale innerstädtischer Nachverdichtung: Fact
Sheet 5*. Grüne Stadt der Zukunft.
- Baugesetzbuch*. (1960). Zugriff am 19. April 2022, verfügbar unter [https://www.ge-
setze-im-internet.de/bbaug/BJNR003410960.html](https://www.ge-
setze-im-internet.de/bbaug/BJNR003410960.html)
- Blome, D. & Tichelmann, U. (2019). Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen - Aufsto-
ckung und Umnutzung von Nichtwohngebäuden: Deutschlandstudie 2019.
- Bott, H., Grassl, G. & Anders, S. (Hrsg.). (2018). *DETAIL Special. Nachhaltige Stadt-
planung: Lebendige Quartiere, Smart Cities, Resilienz* (2. Aufl.). Detail Busi-
ness Information GmbH.
- Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2014). Städtebauliche Nachverdich-
tung im Klimawandel (ExWoSt-Fachgutachten).
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz & Bau und Reaktorsicherheit (2015).
Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft: Grünbuch Stadtgrün.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz & Bau und Reaktorsicherheit (2017). Ur-
banes Grün in der doppelten Innenentwicklung.
- BWL-Lexikon.de. (2020, 29. Juni). ▷ *Sensitivitätsanalyse » Definition, Erklärung &
Beispiele + Übungsfragen*. Zugriff am 21. April 2022, verfügbar unter
<https://www.bwl-lexikon.de/wiki/sensitivitaetsanalyse/>

- Carmona, M. (2019). Place value: place quality and its impact on health, social, economic and environmental outcomes. *Journal of Urban Design*, 24(1), 1–48. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1080/13574809.2018.1472523>
- datenbanken-verstehen.de. (2019, 19. Oktober). *Fuzzy Logic: Definition & Erklärung*. Zugriff am 6. April 2022, verfügbar unter <https://datenbanken-verstehen.de/lexikon/fuzzy-logic/>
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (2018). Aufenthaltsqualitäten innen und außen - Kriterienkatalog Gebäude Neubar: DGNB System.
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (2020a). Kriterienkatalog Gebäude im Betrieb: DGNB System.
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (2020b). Kriterienkatalog Quartiere: DGNB System.
- Deutschland in Zahlen: Kennzahlensuche*. (2022, 4. Juni). Zugriff am 6. April 2022, verfügbar unter <https://www.deutschlandinzahlen.de/index.php>
- Dömer, K., Drexler, H. & Schultz-Granberg, J. (2017). *Bezahlbar. Gut. Wohnen: Strategien für erschwinglichen Wohnraum* (2. Auflage). Jovis Verlag.
- Drexler, H. & El Khouli, S. (2012). *Nachhaltige Wohnkonzepte: Entwurfsmethoden und Prozesse. Edition Detail*. Edition Detail. Verfügbar unter <https://se-arch.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=642104>
- Erlwein, S., Rosenberger, L., Linke, S., Zölch, T., Wirth, V. & Timmermann, A. (2021). *Potenziale von grüner Infrastruktur für ein nachhaltiges Starkregenmanagement: Fact Sheet 1*. Grüne Stadt der Zukunft.
- Erlwein, S., Zölch, T. & Pauleit, S. (2021). Regulating the microclimate with urban green in densifying cities: Joint assessment on two scales. *Building and Environment*, 205, 108233. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108233>
- Everding, D. (Hrsg.). (2017). *Energetische Potenziale und klimatische Grenzen der Nachverdichtung städtischer Quartiere am Beispiel der Region Frankfurt/Rhein-Main*. CORP.
- Fatone, S., Conticelli, E. & Tondelli, S. (2012). Environmental sustainability and urban densification. In M. Pacetti, P. G., C. A. Brebbia & G. Latini (Hrsg.), *WIT Transactions on Ecology and The Environment, The Sustainable City VII* (S. 217–228). WIT Press Southampton, UK. Verfügbar unter <https://doi.org/10.2495/SC120191>
- Forrester, J. (1995). The beginning of system dynamics.
- Forrester, J. W. (1969). *Industrial dynamics: Students' edition* (6th printing). MIT Press.
- Frey, C. & R. Patil, S. (2002). Identification and Review of Sensitivity Analysis Methods.
- Frommer, F. (10. Dezember 2021). Interview durch L. Lerner.
- Gander, M. (2015). *AussenraumQualitäten - AussenraumRealitäten: Gestaltungsprinzipien für Planung und Architektur*.
- Gestaltung in der Architektur: Raum*. (2022, 19. April). Zugriff am 19. April 2022, verfügbar unter <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/kunst/artikel/gestaltung-der-architektur-raum#>
- Hafner, A. (2011). *Wechselwirkung Nachhaltigkeit und (Bau-)Qualität: Systemische Betrachtung des Zusammenspiels von Nachhaltigkeitsaspekten und Kriterien der (Bau-)Qualität im Sensitivitätsmodell und in der Analyse von beispielhaften Gebäuden*. Technischen Universität München, München.
- Hagen, K., Stiles, R. & Trimmel, H. (2010). Wirkungszusammenhänge Freiraum und Mikroklima.

- Harrer, G. (2016). Malik Sensitivitätsmodell: Zur Methodik der Arbeitsschritte und Vorgehensweise (Prof. Vester).
- Harrer-Puchner, G. (11. März 2022). Interview durch L. Lerner.
- Harter, H., Weiler, V. & Eicker, U. (2017). Developing a roadmap for the modernisation of city quarters – Comparing the primary energy demand and greenhouse gas emissions. *Building and Environment*, 112, 166–176. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.031>
- Hörz, H., Krause, W. & Sommerfeld, E. (Hrsg.). (2016). *Sitzungsberichte / Leibniz-Sozietät der Wissenschaften: Band 125/126 (Jahrgang 2016). Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip: Arbeitskreis "Prinzip Einfachheit" der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin*. Leibniz-Sozietät der Wissenschaften.
- INFRAS (2015). Städtischer Wärmeinsel-Effekt: Grundlagenarbeit für die Klimarisikoplanungen 2060.
- Jennifer McGUINN et al. (2020). Social Sustainability – Concepts and Benchmarks.
- Kausche, M. (2017). *Sensitivitätsanalyse*. Zugriff am 21. April 2022, verfügbar unter https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-19581-6_5?noAccess=true
- Ketterer, C., Ghasemi, I., Reuter, U., Rinke, R., Kapp, R., Bertram, A. & Matzarakis, A. (2013). Veränderung des thermischen Bioklimas durch stadtplanerische Umgestaltung: Beispiel Stuttgart-West.
- Klemm, W., Heusinkveld, B., Lenzholzer, S., Jacobs, M. & van Hove, B. (2015). Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands. *Building and Environment*, 83, 120–128. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.013>
- Klemme, M. (2019). Urban, dicht und grün? Städtische Verdichtung als Chance und Problem. *Haufe*. Zugriff am 14. April 2022, verfügbar unter https://www.haufe.de/immobilien/wohnungswirtschaft/nachverdichtung-in-den-staedten-chancen-und-herausforderungen_260_501382.html
- Kraus, C. (2012, 18. Juni). *Die acht Grundregeln der Biokybernetik*. Zugriff am 13. April 2022, verfügbar unter <https://www.clemens-kraus.de/tech/systeme/8-grundregeln-der-biokybernetik.htm>
- Küppers, J. (2018). Komplexe Konfliktlagen systemisch & partizipativ bearbeiten: Sensitivitätsmodell Prof. Vester®.
- Lehmann, S. (2017). Sustainable urbanism: towards a framework for quality and optimal density? *Future Cities and Environment*, 2(0), 8. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1186/s40984-016-0021-3>
- Linke, S. & Putz A. (2021). *Die Planung einer grünen Stadt der Zukunft: Handlungsmöglichkeiten und Instrumente*. Grüne Stadt der Zukunft.
- Loibl, W., Vuckovic, M., Etminan, G., Ratheiser, M., Tschannett, S. & Österreicher, D. (2021). Effects of Densification on Urban Microclimate—A Case Study for the City of Vienna. *Atmosphere*, 12(4), 511. Verfügbar unter <https://doi.org/10.3390/atmos12040511>
- Maher, R., Maher, M., Mann, S. & McAlpine, C. (2018). Integrating design thinking with sustainability science: a Research through Design approach. *Sustainability science*, 13(6), 1565–1587. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0618-6>
- Matzig, G. (29. November 2017). Städtebau - Was macht die Nachverdichtung mit uns? *Süddeutsche Zeitung*. Zugriff am 15. April 2022, verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/kultur/staedtebau-wenn-staedtebau-zur-gesundheitsfrage-wird-1.3769287>
- Meyer, J. (2003b). Städtebau: Ein Grundkurs.

- Müller, J. (2007a). Leitfaden für die Simulation: Sensitivitätsmodell nach Prof. Vester.
- Müller, J. (2007b). Mathematische Grundlagen des Simulationstools im Sensitivitätsmodell Prof.
- Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung - Problematik.* (2022, 5. Juni). Zugriff am 6. Mai 2022, verfügbar unter <http://www.naturnahe-regenwasserbewirtschaftung.info/index.php?page=warum>
- Neppl, M., Becker, S. & Burgbacher, M. (2015/2016). *Was ist ein Quartier? Quartiersforschung in Ettlingen.* Karlsruher Institut of Technology, Karlsruhe.
- Penn-Bressel, G. „Urban, kompakt, durchgrünt“- Strategien für eine nachhaltige Stadtentwicklung.
- Place Value Wiki.* (2022, 4. Juni). Verfügbar unter <https://sites.google.com/view/place-value-wiki>
- Prof. Dr. Eberhard Feess (19. Februar 2018). Definition: Kybernetik. *Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.* Zugriff am 20. April 2022, verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kybernetik-41182>
- Project for Public Spaces (Hrsg.). *What Makes a Successful Place?* Verfügbar unter <https://www.pps.org/article/grplacefeat>
- Riechel, R. (2021). Räumliche Dimensionen der Zukunftsstadt: Integrierte Perspektiven auf bauliche Strukturen und Freiräumen. *SynVer*Z – Synthese- und Vernetzungsprojekt Zukunftsstadt.*
- Rupp, J., Schmitz, H., Jean-Louis, G., Linke, S. & Putz, A. (2021). *Gemeinschaftliche Finanzierung von grünen, lebenswerten Stadtquartieren: Fact Sheet 3.* Grüne Stadt der Zukunft.
- Saleh, M. & Al-Hagla, K. (2012). Parametric Urban Comfort Envelope - An Approach toward a Responsive Sustainable Urban Morphology. *International Journal of Social, Human Science and Engineering* (Vol:6 No:11, 2012).
- Saphörster, O. (2007). *Neue Qualitäten für den Außenraum von 50er Jahre Zeilensiedlungen: zwischen gestalterischen, umweltpolitischen und wohnungswirtschaftlichen Herausforderungen.* Technische Universität Berlin.
- Sinus-Milieus Deutschland. (2022, 4. Juni). *Sinus-Milieus Deutschland.* Verfügbar unter <https://www.sinus-institut.de/sinus-milieus/sinus-milieus-deutschland>
- Skiba A., Erlwein S., Linke S., Mittermüller J., Rupp J. (2021). *Die Planung einer grünen Stadt der Zukunft: Einleitung und Synthese.*
- Stemler, J. (2021). *Handlungsempfehlungen für Wettbewerbe bezüglich Klimaschutz und Klimaanpassung: Betrachtung von Auslobung und Vorprüfung in Wettbewerben zu Städtebau und Wohnungsbau.* Technische Universität München.
- System Logics T.T.: Holistic System Analysis Consulting & Research.* (2022, 4. August). Zugriff am 23. April 2022, verfügbar unter <https://www.system-logics.com/>
- Tiitu, M., Viinikka, A., Kopperoinen, L. & Geneletti, D. (2018). Balancing Urban Green Space and Residential Infill Development: A Spatial Multi-Criteria Approach Based on Practitioner Engagement. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 20(03), 1840004. <https://doi.org/10.1142/S1464333218400045>
- Umweltbundesamt (2017a). Die Stadt von morgen: Umweltschonend mobil – lärmarm – grün – kompakt – durchmischt. Verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>
- Umweltbundesamt (2017b). Umwelt- und Aufenthaltsqualität in urbanen Quartieren: Empfehlungen zum Umgang mit Dichte und Nutzungsmischung.
- Umweltbundesamt. (2022a, 5. August). *Häufige Fragen zum Klimawandel.* Zugriff am 8. Mai 2022, verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/haeufige-fragen-klimawandel#extremwetter>

- Umweltbundesamt. (2022b, 5. August). *Siedlungs- und Verkehrsfläche*. Zugriff am 8. Mai 2022, verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaechen-bo-den-land-oekosysteme/flaechen/siedlungs-verkehrsflaechen#anhaltender-flaechenverbrauch-fur-siedlungs-und-verkehrszwecke>
- Umweltbundesamt. (2022c, 5. September). *Was sind die Gründe für die Zersiedelung, wie ist sie regional ausgeprägt?* Zugriff am 8. Mai 2022, verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/umweltatlas/bauen-wohnen/wirkungen-bauen/zersiedelung-verkehr/was-sind-die-gruende-fuer-die-zersiedelung-wie-ist>
- Vester, F. (1991). *Ausfahrt Zukunft Supplement: Material zur Systemuntersuchung*.
- Vester, F. (2015). *Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität; ein Bericht an den Club of Rome* (10. Aufl.). Dtv: Bd. 33077. Dtv.
- Vester, F. (2016). *Malik Sensitivitätsmodell [Computer software]*. Malik Management. St. Gallen.
- Website der Bundesregierung. (2022, 5. September). *Klimafreundlich Bauen und Wohnen*. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimafreundlich-wohnen-1672900>
- Welling, M., Hirsch, I., Linke, S., Zölch, T., Bauer, A. & Mittermüller, J. (2021). *Potenziale des Münchner Grüngürtels für die klimaresiliente Stadtentwicklung: Fact Sheet 2*. Grüne Stadt der Zukunft.
- Wikipedia. (2022, 21. April). *Sensitivitätsanalyse*. Zugriff am 11. Oktober 2021, verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Sensitivitätsanalyse>
- wortbedeutung.info. (2022, 19. April). *Außenraum* [Bedeutung, Definition]. Zugriff am 19. April 2022, verfügbar unter <https://www.wortbedeutung.info/Au%C3%9Fenraum/>
- Wulfhorst, G. (2003). *Flächennutzung und Verkehrsverknüpfung an Personenbahnhöfen: Wirkungsabschätzung mit systemdynamischen Modellen. Stadt, Region, Land. Bericht: Bd. 49*. Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr RWTH Aachen.
- Zeitler, M. (2004). *Das Leitbild 'Stadt der kurzen Wege'* (1. Auflage, digitale Originalausgabe). GRIN Verlag. Verfügbar unter <https://www.grin.com/document/30828>
- Zhou, X. & Parves Rana, M. (2012). Social benefits of urban green space: A conceptual framework of valuation and accessibility measurements. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 23(2), 173–189. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1108/14777831211204921>

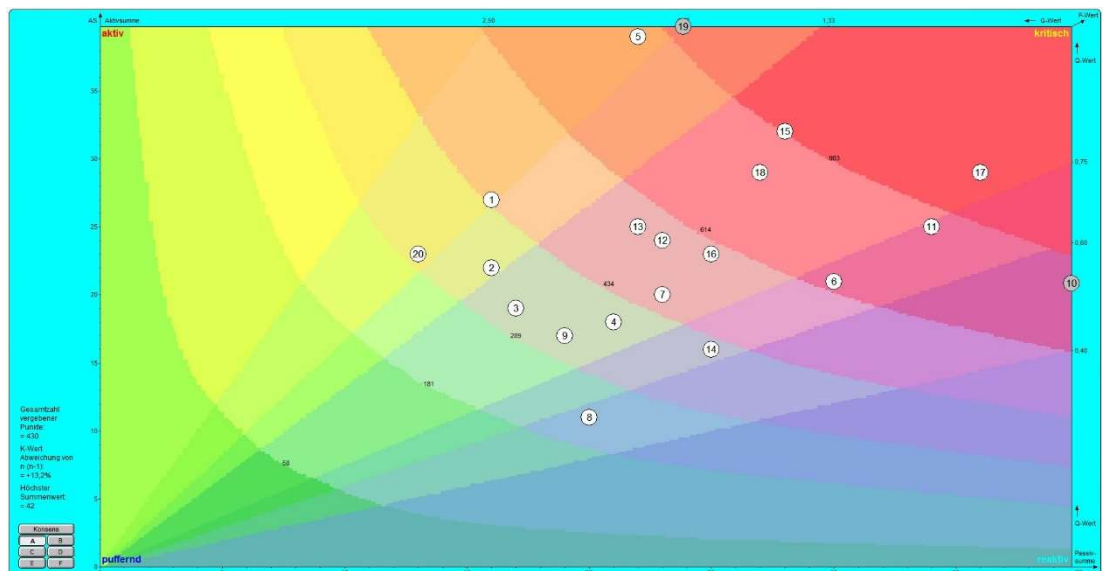
10. Anhangverzeichnis

- Anhang A Ergebnisse Expertenworkshop (Einflussmatrizen Gruppe A-C)
- Anhang B Einstellungen Simulation (Werteskalen und Wirkungskurven)
- Anhang C Parameteranalysen Simulation (Digitaler Anhang)
- Anhang D Arbeitsschritte Vester (Digitaler Anhang)
- Anhang E Vergleich Sensitivitätsanalysen (Digitaler Anhang)
- Anhang F Sensitivitätsmodell Vester Software (Digitaler Anhang)

Anhang A Ergebnisse Expertenworkshop

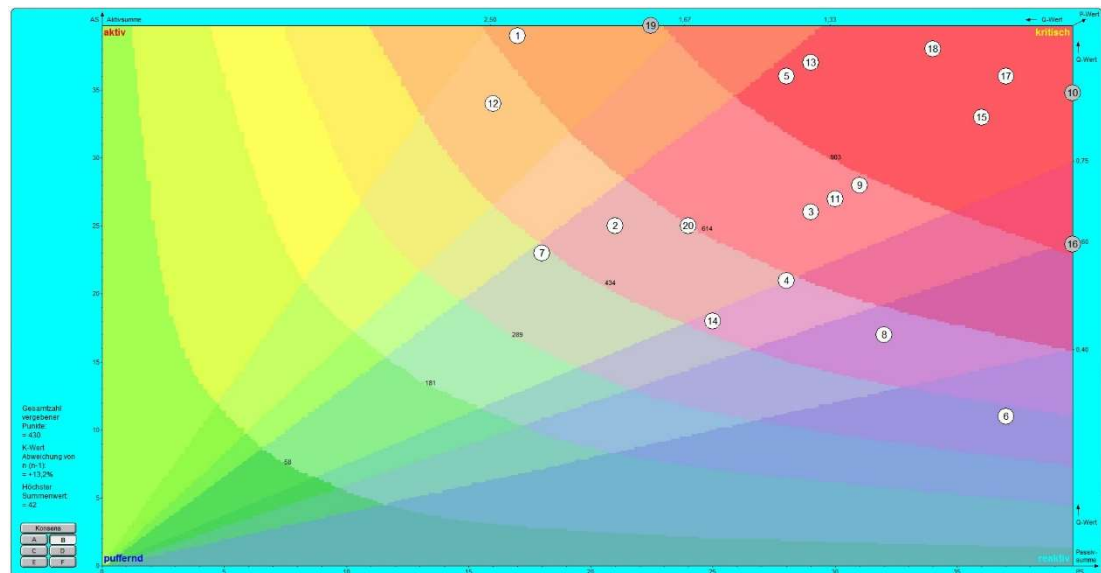
Gruppe A

Wirkung von Variable \downarrow auf Variable \rightarrow		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	AS	P
1	Urbane Raumverhältnisse	X	2	1	3	2	2	1	1	0	3	3	0	0	1	3	1	1	2	1	0	27	432
2	Technische Infrastrukt	1	X	2	1	0	1	2	0	1	1	1	1	0	1	2	2	3	1	1	1	22	352
3	Mobilität	1	1	X	1	1	1	0	0	0	2	2	0	1	1	1	3	2	1	1	0	19	323
4	Urbane Oberflächen	1	0	0	X	1	1	2	0	0	3	2	2	1	1	0	0	2	1	0	1	18	378
5	Intensität der Bebauung	3	2	2	3	X	2	1	2	2	3	2	2	2	2	1	2	3	2	2	1	39	858
6	Gebäude- und Wohnqualität	1	1	0	1	1	X	1	1	2	2	1	1	1	0	2	2	1	1	1	1	21	630
7	Technische Gebäudequalität	0	2	0	1	0	2	X	1	1	1	1	1	0	0	1	2	2	2	1	2	20	460
8	Vielfalt und Diversität	0	0	1	0	1	1	0	X	2	1	0	0	0	0	2	1	1	0	1	0	11	220
9	Wohnformen, Lebensstil	0	0	1	0	2	2	1	3	X	1	0	0	0	1	2	0	2	0	2	0	17	323
10	Freiraumqualität	0	0	1	1	1	2	0	2	2	X	2	1	1	1	1	1	2	2	1	0	21	840
11	Mikroklima	0	0	0	1	1	2	2	1	0	3	X	1	2	3	1	2	2	1	1	2	25	850
12	Blaue Infrastruktur	1	1	0	1	1	1	2	0	1	2	3	X	2	2	1	1	2	2	1	0	24	552
13	Grüne Infrastruktur	1	0	0	1	1	1	2	1	1	2	3	2	X	3	1	1	2	2	1	0	25	550
14	Biodiversität	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	2	2	2	X	1	0	2	2	1	0	16	400
15	Partizipation & Quartiersentw.	2	2	2	1	1	2	1	2	2	3	1	2	2	1	X	2	1	2	2	1	32	896
16	Öko. Qual. , guter Standortfak	0	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	0	2	X	2	1	3	1	23	575
17	Klimaschutz, ver. Umweltbelast	0	1	1	0	1	2	2	1	1	3	3	2	3	3	1	1	X	2	1	1	29	1044
18	Klimaanpassung	2	0	2	1	2	1	1	1	0	3	3	3	2	2	2	1	2	X	1	0	29	783
19	Nachhaltige Nachverdichtung	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	X	2	40	960
20	Sanierung/ Modernisierung	0	1	0	2	1	3	2	0	1	2	2	0	0	0	2	2	2	1	2	X	23	299
		16	16	17	21	22	30	23	20	19	40	34	23	22	25	28	25	36	27	24	13	PS	
		169	138	112	86	177	70	87	55	89	53	74	104	114	64	114	92	81	107	167	177	Qx100	



Gruppe B

Wirkung von Variable ↓ auf Variable →		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	AS	P
1	Urbane Raumverhältnisse	X	2	3	3	3	1	0	2	2	3	3	2	3	2	1	3	1	3	2	0	39	663
2	Technische Infrastrukt	0	X	3	3	0	1	2	0	1	2	2	1	2	1	0	3	2	1	1	0	25	525
3	Mobilität	1	3	X	1	0	2	0	2	3	2	1	0	1	1	2	3	3	1	0	0	26	754
4	Urbane Oberflächen	0	1	1	X	0	2	1	0	0	2	2	1	1	1	1	1	2	3	0	2	21	588
5	Intensität der Bebauung	3	2	2	2	X	2	0	2	2	3	2	0	2	2	3	2	2	2	2	1	36	1008
6	Gebäude- und Wohnqualität	0	0	0	0	0	X	1	2	1	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	2	11	407
7	Technische Gebäudequalität	0	2	0	1	0	3	X	1	3	0	1	0	0	0	2	2	3	2	1	2	23	414
8	Vielfalt und Diversität	0	0	1	0	1	1	0	X	3	2	0	0	0	0	3	3	1	0	1	1	17	544
9	Wohnformen, Lebensstil	1	1	2	0	3	3	1	3	X	1	1	0	1	1	2	2	2	1	2	1	28	868
10	Freiraumqualität	2	1	3	2	2	2	1	3	2	X	2	1	1	1	3	3	2	1	2	1	35	1400
11	Mikroklima	1	0	2	0	2	2	1	1	1	3	X	0	2	2	1	2	2	2	2	1	27	810
12	Blaue Infrastruktur	1	0	0	3	1	1	0	3	2	3	3	X	3	3	3	2	2	3	1	0	34	544
13	Grüne Infrastruktur	1	0	2	2	2	3	1	2	2	3	3	1	X	3	3	2	2	2	2	1	37	1073
14	Biodiversität	1	0	1	2	1	1	0	0	0	2	0	2	3	X	0	0	1	2	1	1	18	450
15	Partizipation & Quartiersentw.	0	1	3	1	2	1	0	3	3	2	1	1	2	1	X	3	2	2	3	2	33	1188
16	Öko. Qual. , guter Standortfak	0	0	2	1	2	2	1	2	3	2	0	0	0	0	3	X	0	1	3	3	25	1050
17	Klimaschutz, ver. Umweltbelast	1	2	0	1	3	3	2	1	1	3	3	2	2	2	2	2	X	2	2	2	36	1332
18	Klimaanpassung	2	2	2	3	2	2	2	1	0	3	3	3	3	2	2	2	2	X	1	1	38	1292
19	Nachhaltige Nachverdichtung	3	2	2	2	3	2	2	2	1	2	3	2	3	2	3	3	3	3	X	3	46	1196
20	Sanierung/ Modernisierung	0	2	0	1	1	3	3	2	1	2	0	0	0	1	1	3	3	2	0	X	25	600
		17	21	29	28	28	37	18	32	31	40	30	16	29	25	36	42	37	34	26	24	PS	
		229	119	90	75	129	30	128	53	90	88	90	212	128	72	92	60	97	112	177	104	Qx100	



Gruppe C

Wirkung von Variable \downarrow auf Variable \rightarrow		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	AS	P
1	Urbane Raumverhältnisse	X	2	3	2	2	2	1	3	3	2	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	40	1080
2	Technische Infrastrukt.	1	X	3	3	2	1	3	1	2	2	1	2	1	0	1	3	3	1	1	2	33	990
3	Mobilität	2	2	X	3	3	2	0	2	2	2	1	2	3	1	2	3	3	3	2	0	38	1292
4	Urbane Oberflächen	1	1	1	X	0	3	2	2	1	3	1	3	2	1	1	3	2	1	0	2	30	1020
5	Intensität der Bebauung	2	2	2	2	X	2	1	2	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	2	1	40	1320
6	Gebäude- und Wohnqualität	1	1	0	2	1	X	1	2	2	1	1	1	1	1	2	3	2	1	2	2	27	1242
7	Technische Gebäudequalität	0	2	0	2	1	2	X	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	25	850
8	Vielfalt und Diversität	1	0	2	1	1	2	0	X	2	2	0	1	2	1	3	2	2	2	1	2	27	972
9	Wohnformen, Lebensstil	2	2	2	1	2	2	2	2	X	2	1	1	2	1	3	3	2	1	3	2	36	1332
10	Freiraumqualität	1	1	1	2	2	3	0	3	3	X	3	3	3	3	3	3	2	3	2	0	41	1681
11	Mikroklima	0	2	2	1	1	3	2	2	2	3	X	2	2	2	1	2	2	2	1	2	34	1122
12	Blaue Infrastruktur	2	2	1	2	1	3	1	1	2	3	3	X	3	3	3	3	2	3	1	0	39	1326
13	Grüne Infrastruktur	2	2	3	2	3	3	2	2	2	3	3	3	X	3	2	3	3	3	2	1	47	1833
14	Biodiversität	0	0	1	0	2	2	0	1	1	2	1	0	1	X	1	1	2	0	1	0	16	496
15	Partizipation & Quartiersentw.	2	1	2	1	2	2	1	3	2	2	1	1	2	1	X	2	1	2	3	2	33	1188
16	Öko. Qual., guter Standortfak	2	2	3	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3	1	2	X	1	3	3	3	45	2115
17	Klimaschutz, ver. Umweltbelast	1	2	3	2	2	3	2	1	1	3	3	3	3	3	2	2	X	2	3	3	44	1760
18	Klimaanpassung	3	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3	3	3	2	2	3	2	X	1	1	43	1720
19	Nachhaltige Nachverdichtung	3	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	3	X	2	36	1188
20	Sanierung/ Modernisierung	1	2	1	3	1	3	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	X	32	928
		27	30	34	34	33	46	26	36	37	41	33	34	39	31	36	47	40	40	33	29	PS	
		148	110	112	88	121	59	96	75	97	100	103	115	121	52	92	96	110	107	109	110	Qx100	



Anhang B Einstellungen Simulation

Werteskalen der Variablen

Variablenbeschreibung:

Außenraum

Außenraumqualität und -gestaltung:
Freiraumqualität, Grüne und blaue Infrastruktur


Atmosphäre und Raumeindruck, Aufenthaltskomfort (außen), Grün- und Wasserflächen, Hoher Vegetationsgrad und Vielfalt, Erholungspotenzial (Sitz- und Spielmöglichkeiten) Lärmsituation, Luftqualität (Immissionen, Emissionen, Luftfeuchte) Sicherheit und Sauberkeit, Aufenthalt, Zugang, Barrierefreiheit, Steigerung des Wohlbefindens und der Gesundheit (psychisch & physisch)

Vorige Variable Nächste Variable

Statisch Interne Rückwirkung...

Zustand zufällig Als Aktionspunkte

Skalenbeschriftung...



30 Optimale Außenraumqualität und -gestaltung, vielfältige und große Grün- und Wasserflächen, Sitz- und Spielmöglichkeiten. Keine Lärm- und Luftbelastung.

25 Aktive Außenraumgestaltung und -nutzung, Erholung im Grünen und Wasserzugang.

20 Vereinzelte Bemühungen zur Verbesserung der bestehenden Grün- und Freiflächen.

15 Passive Gestaltung der wenigen Grün- und Wasserflächen, gelgentliche Nutzung.

10 Keine Gestaltung der vorhandenen Flächen, keine aktive Nutzung. Vereinzelte Grünflächen.

5 Aufenthalt draußen möglich aber nicht sehr angenehm. Kaum Grün- und Freiraum.

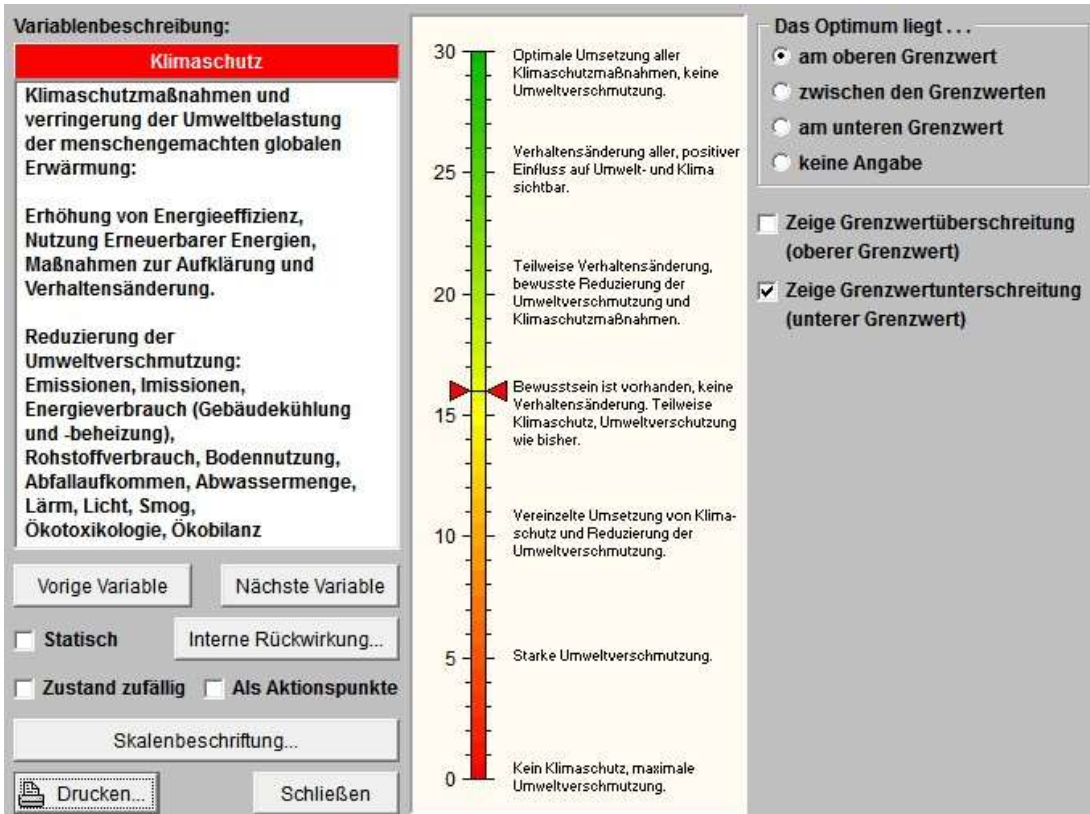
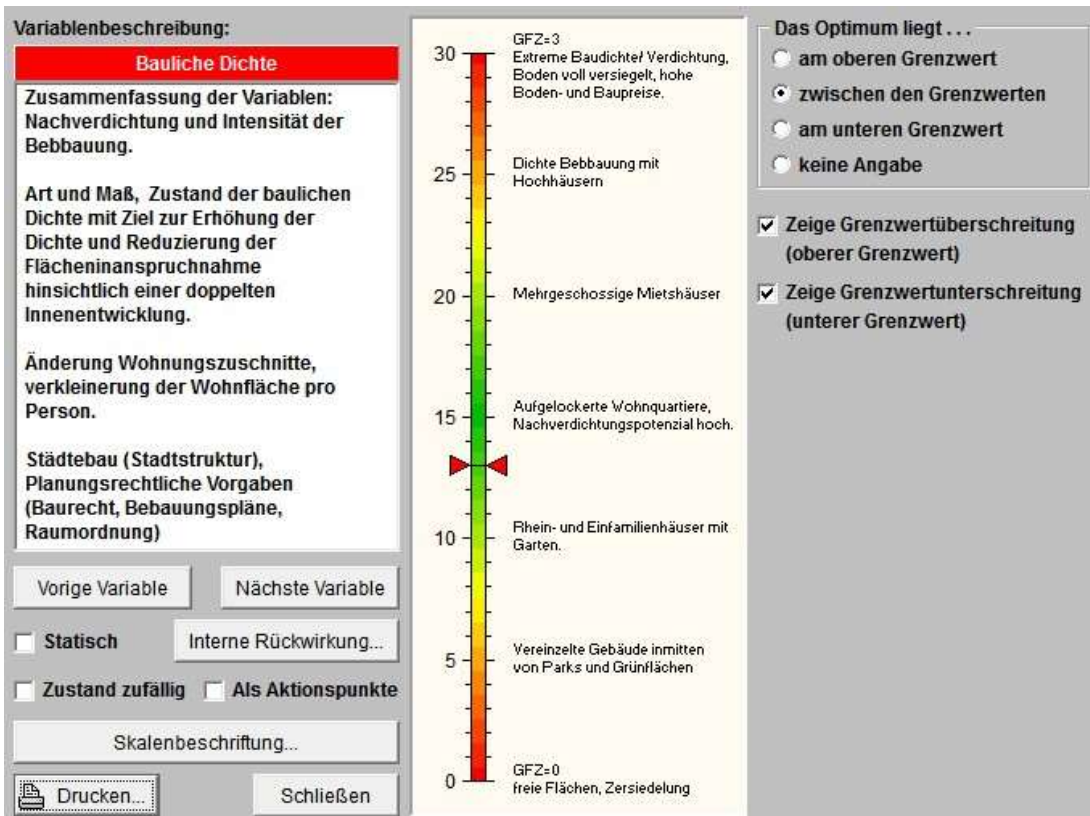
0 Schlechte Atmosphäre, keine Grün- und Wasserflächen, kein Erholungsangebot. Hohe Lärm und Luftbelastung.

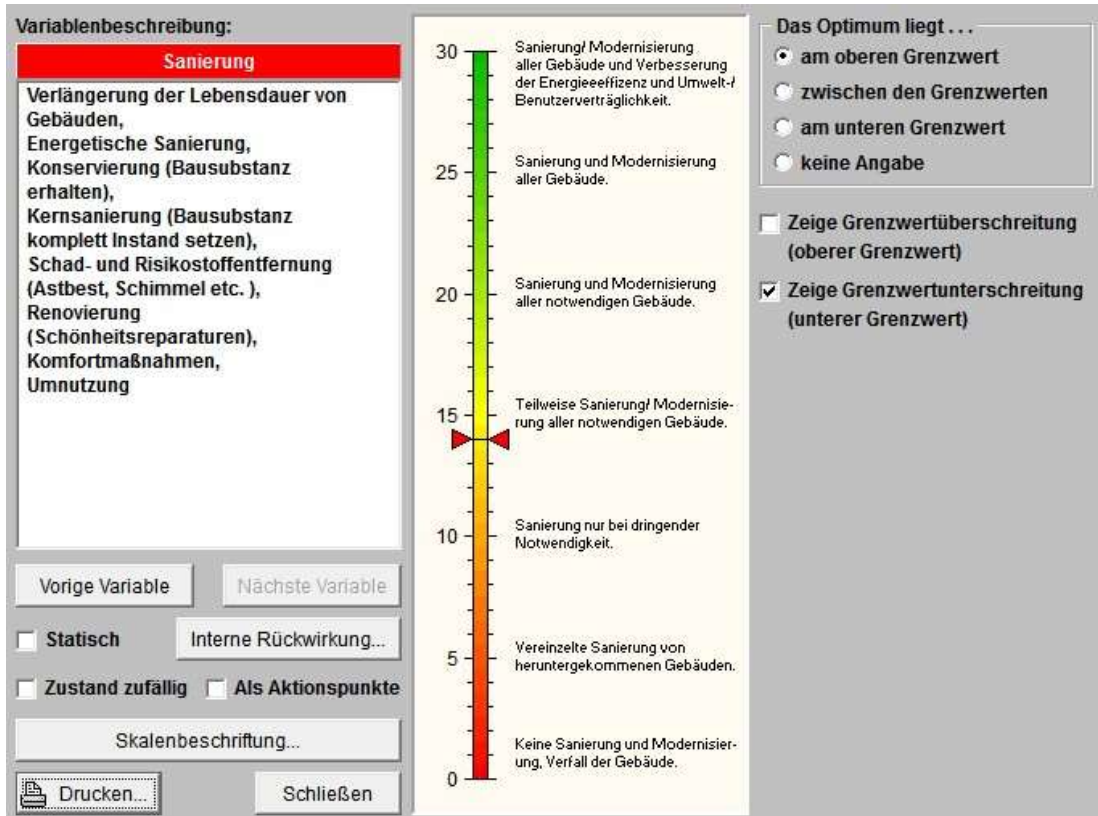
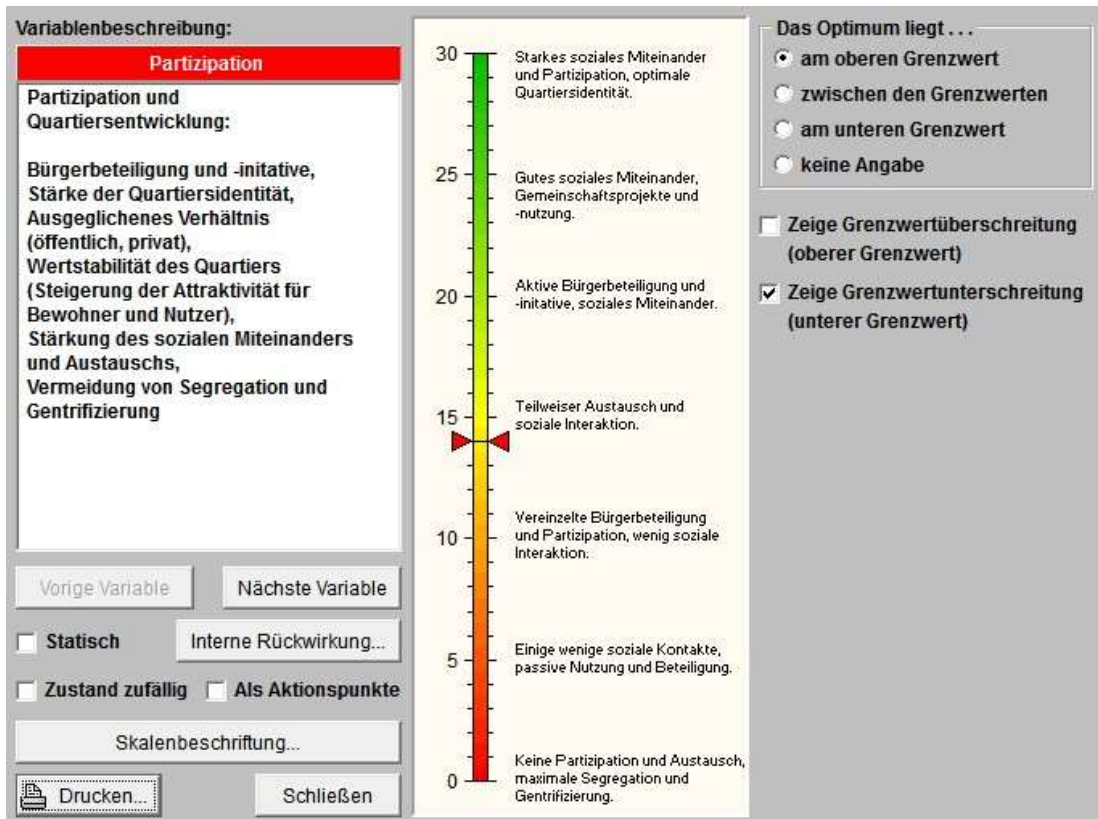
Das Optimum liegt . . .

- am oberen Grenzwert
- zwischen den Grenzwerten
- am unteren Grenzwert
- keine Angabe

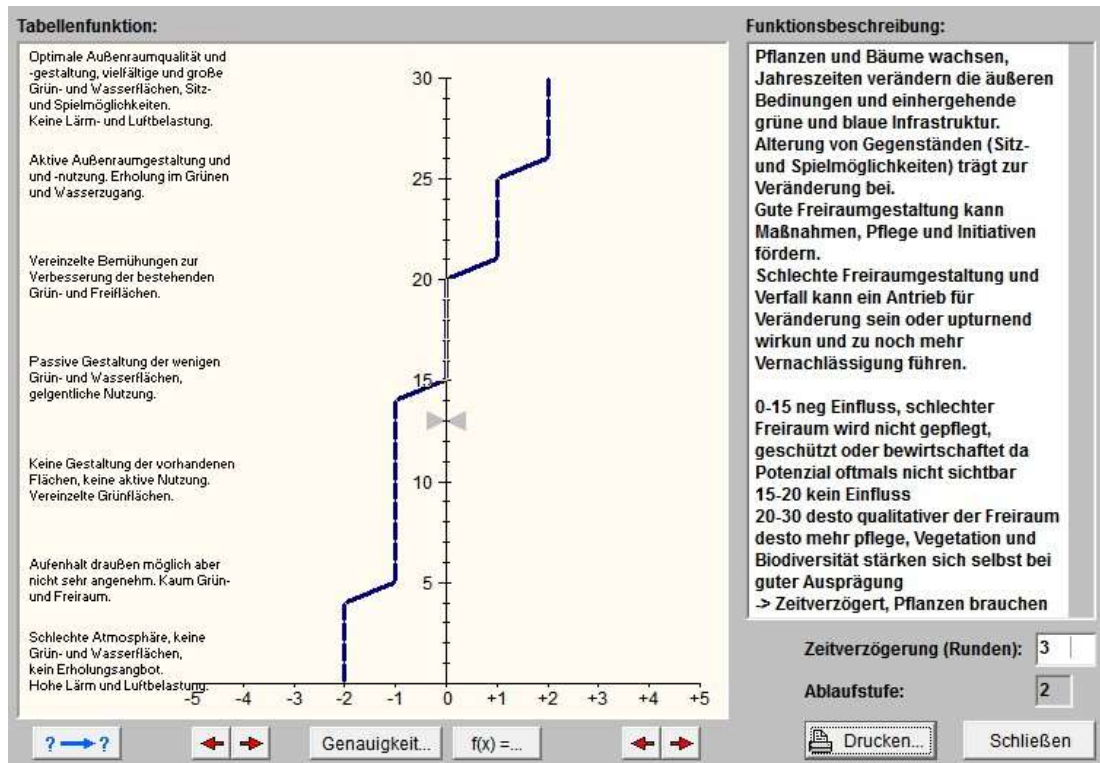
Zeige Grenzwertüberschreitung (oberer Grenzwert)

Zeige Grenzwertunterschreitung (unterer Grenzwert)

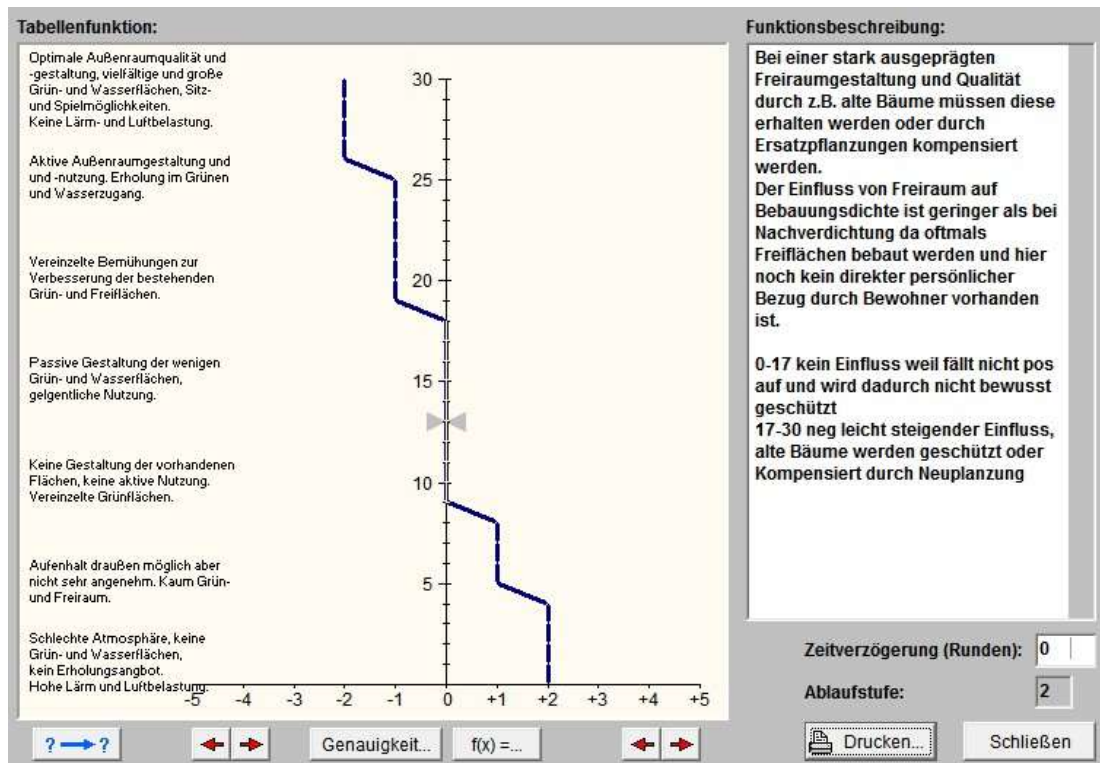




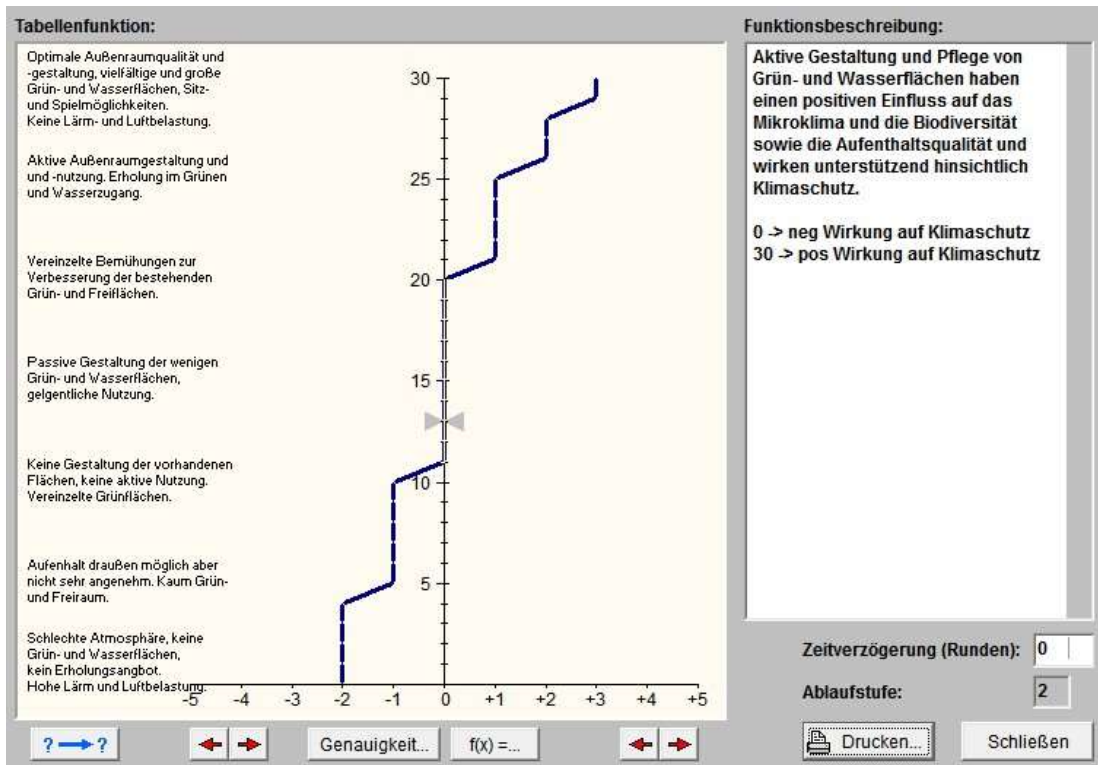
Wirkungskurven



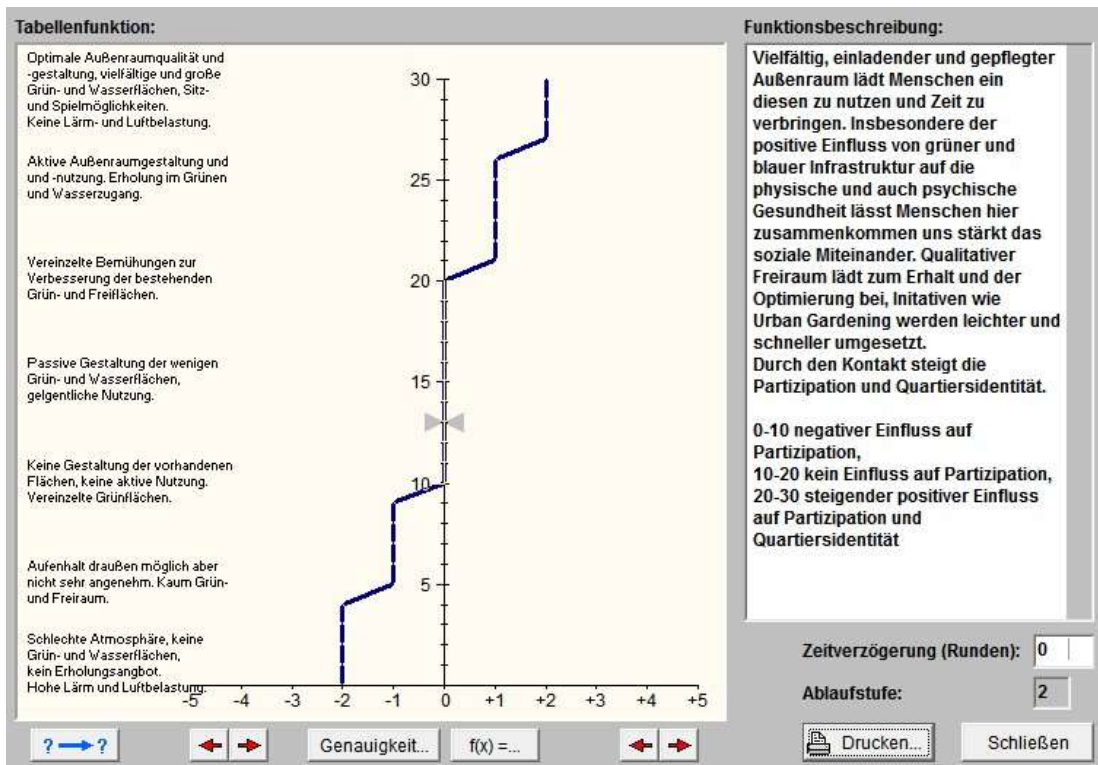
Wirkung: Außenraum > Außenraum



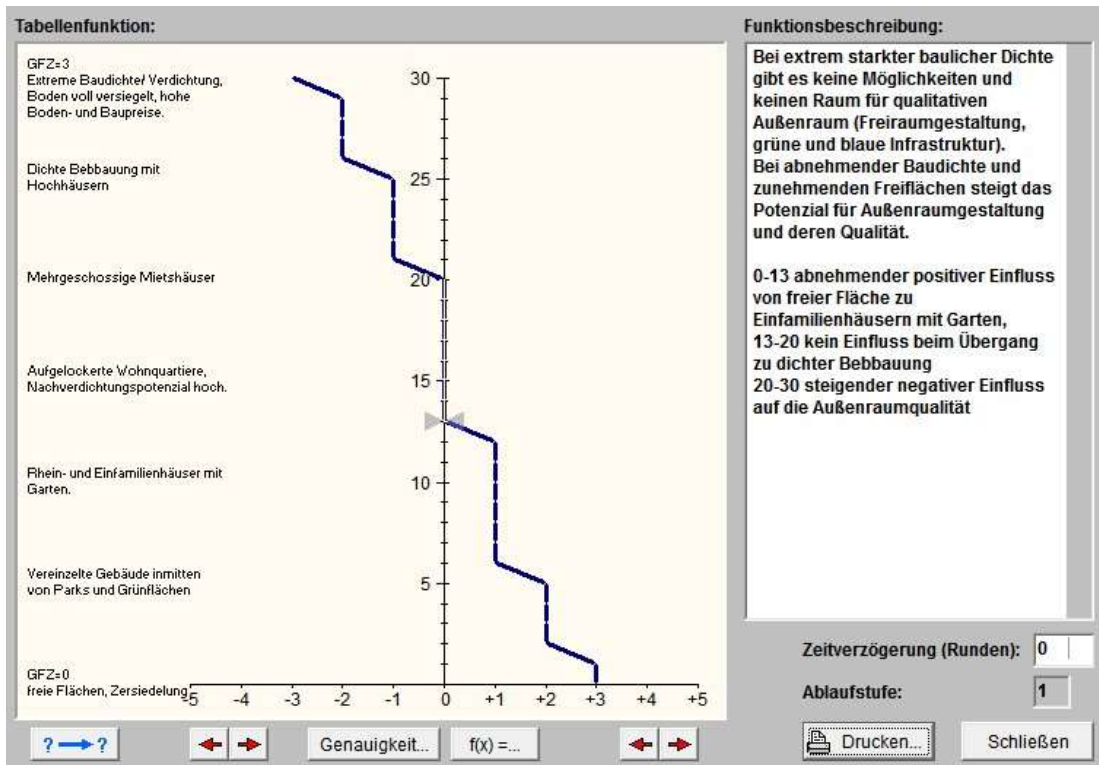
Wirkung: Außenraum > Bauliche Dichte



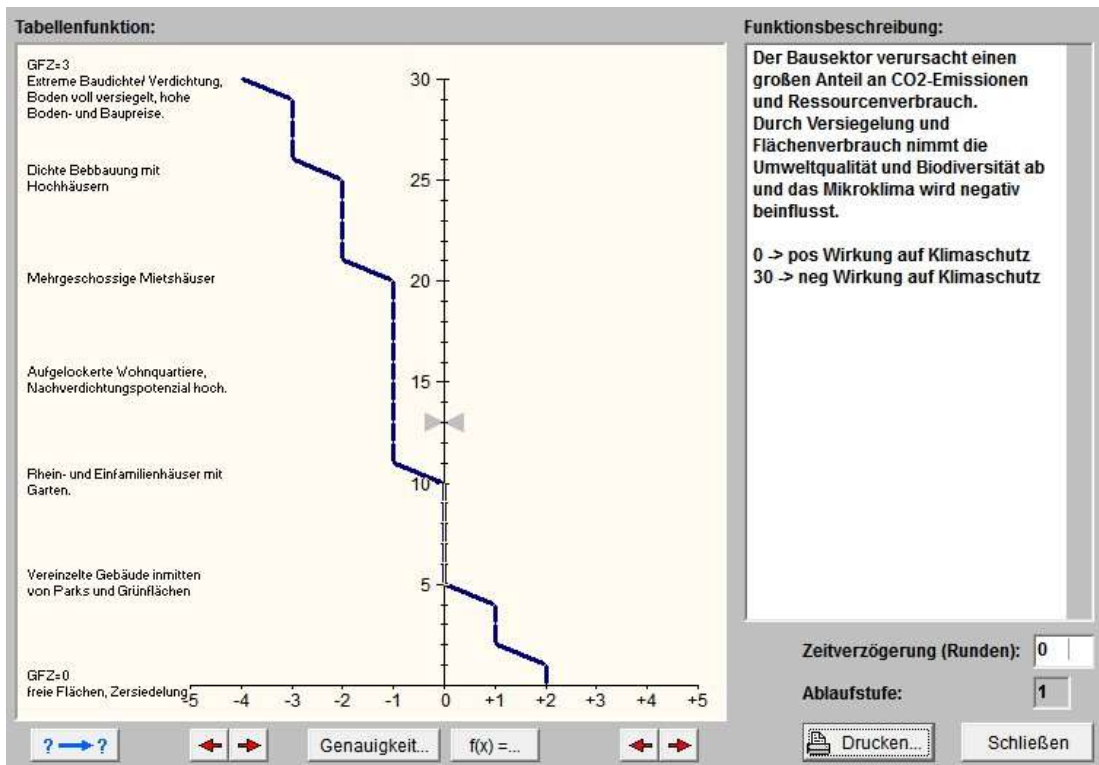
Wirkung: Außenraum > Klimaschutz



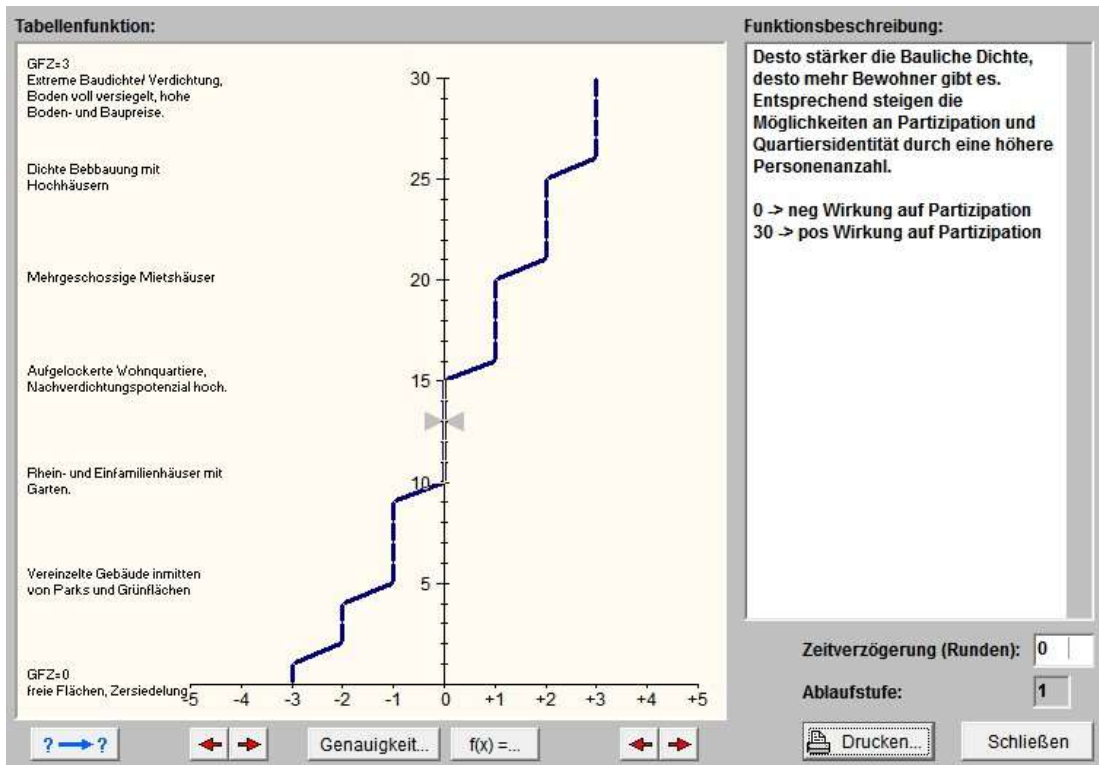
Wirkung: Außenraum > Partizipation



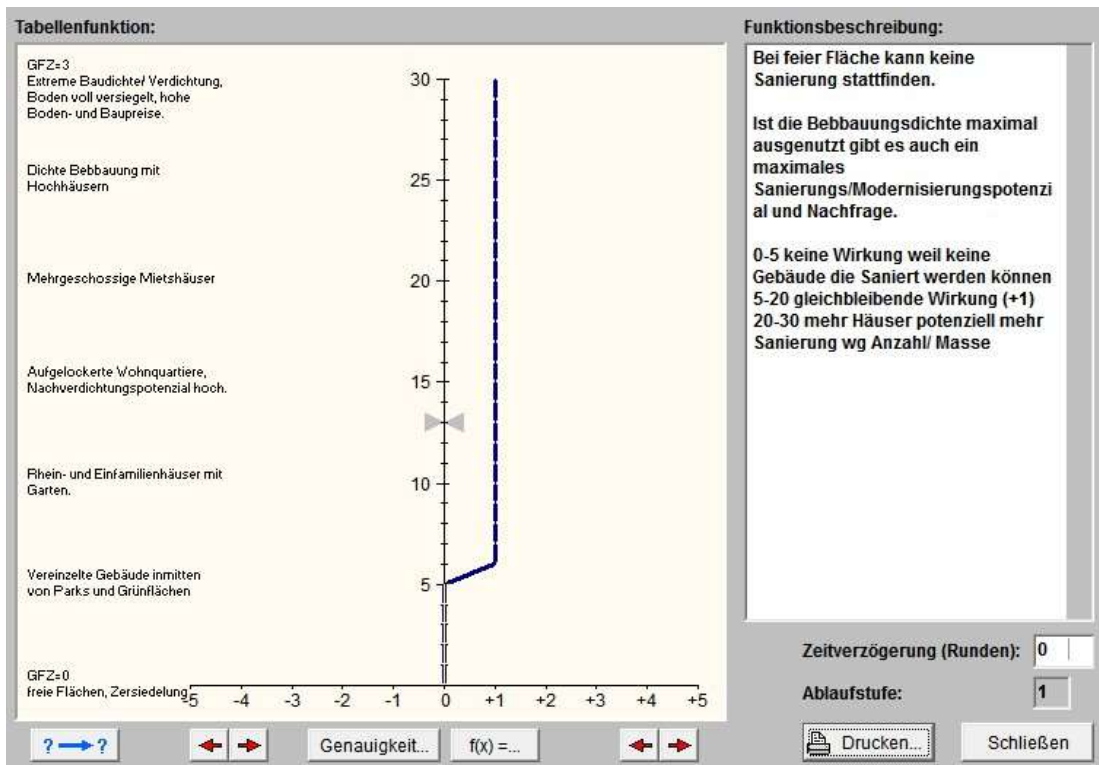
Wirkung: Bauliche Dichte > Außenraum



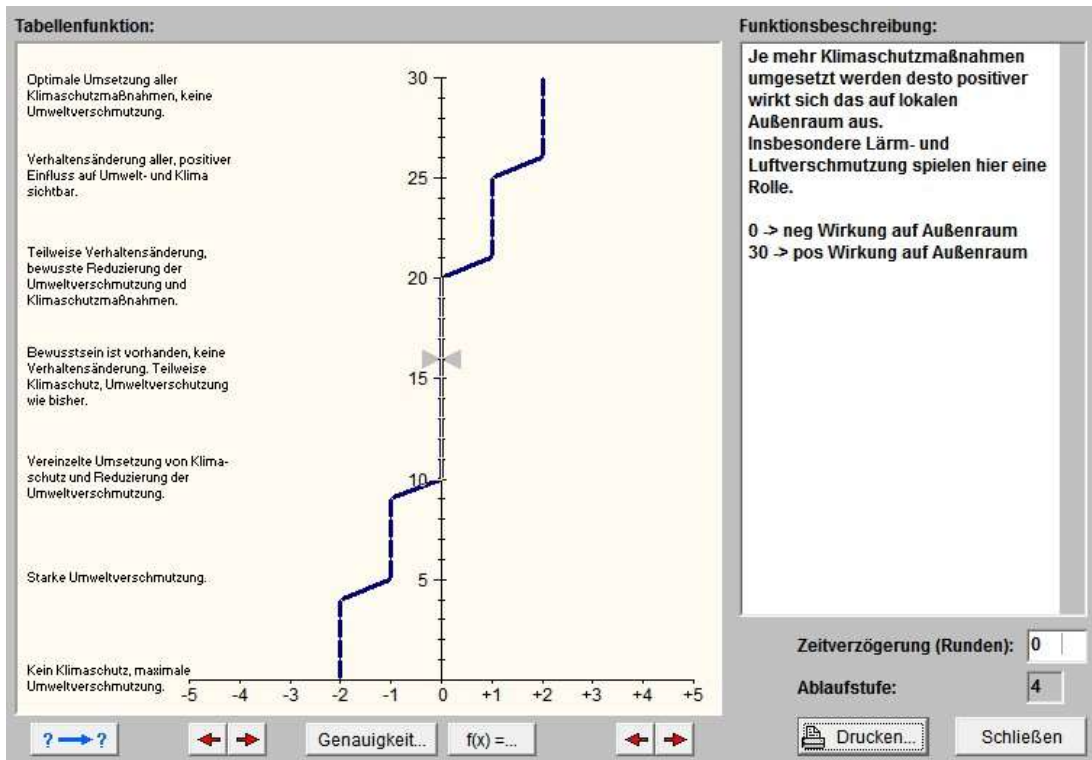
Wirkung: Bauliche Dichte > Klimaschutz



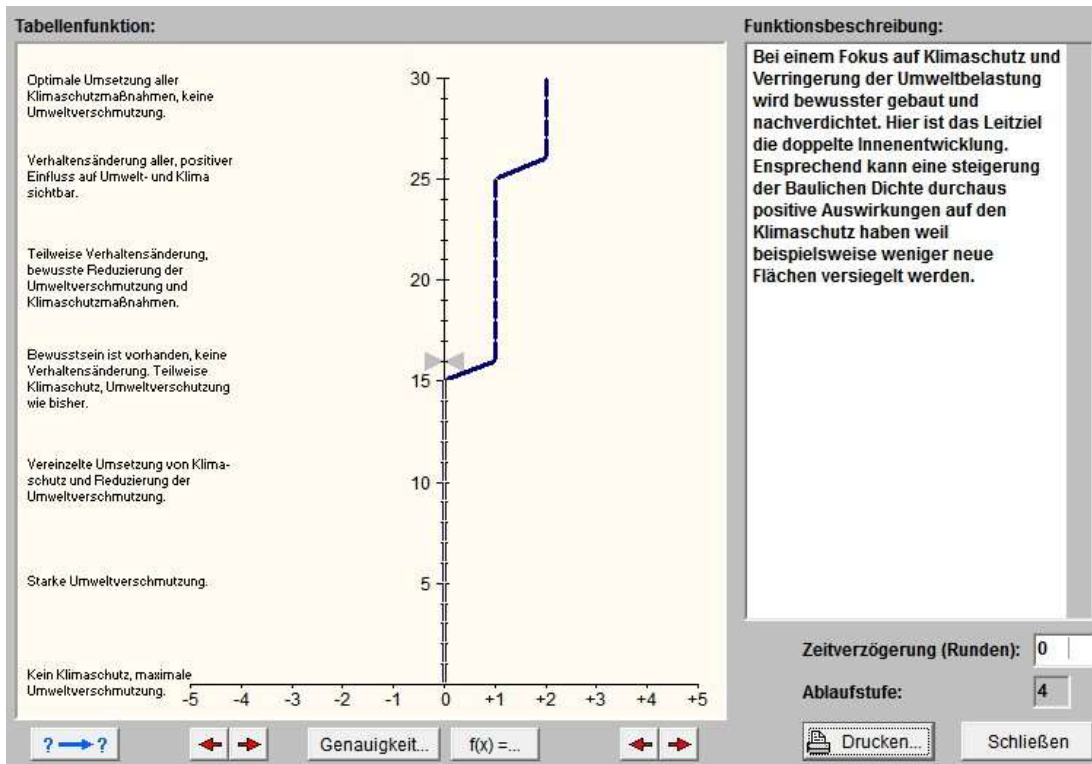
Wirkung: Bauliche Dichte > Partizipation



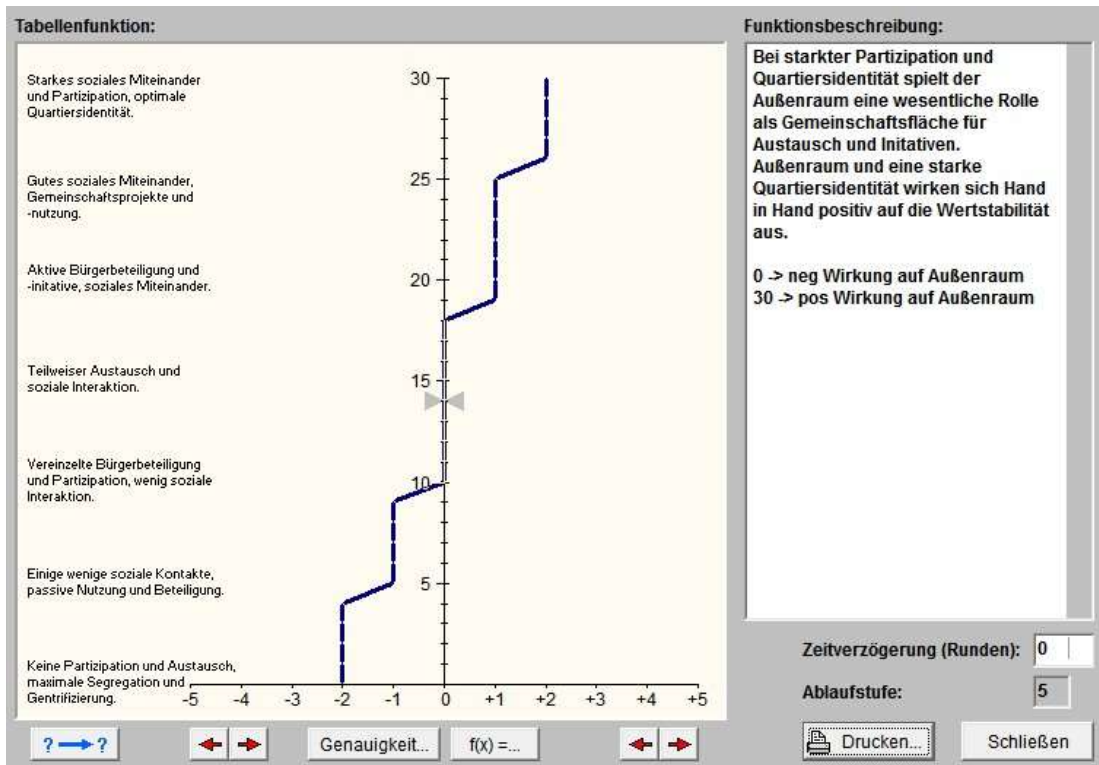
Wirkung: Bauliche Dichte > Sanierung



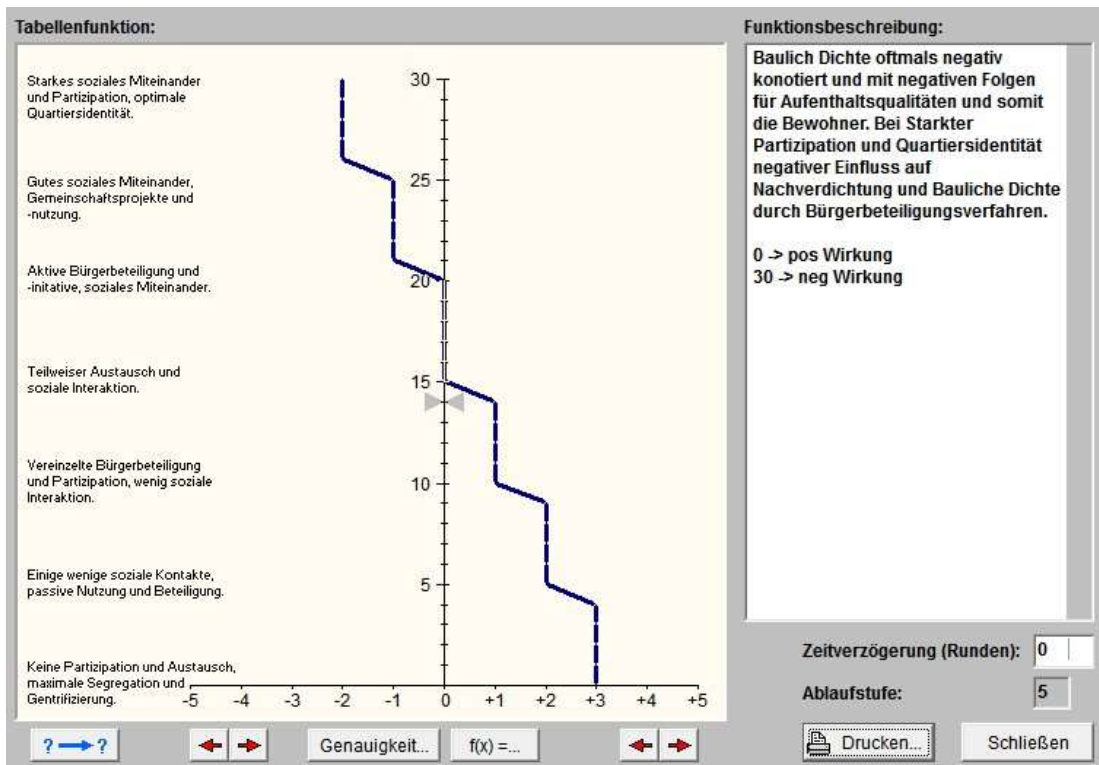
Wirkung: Klimaschutz > Außenraum



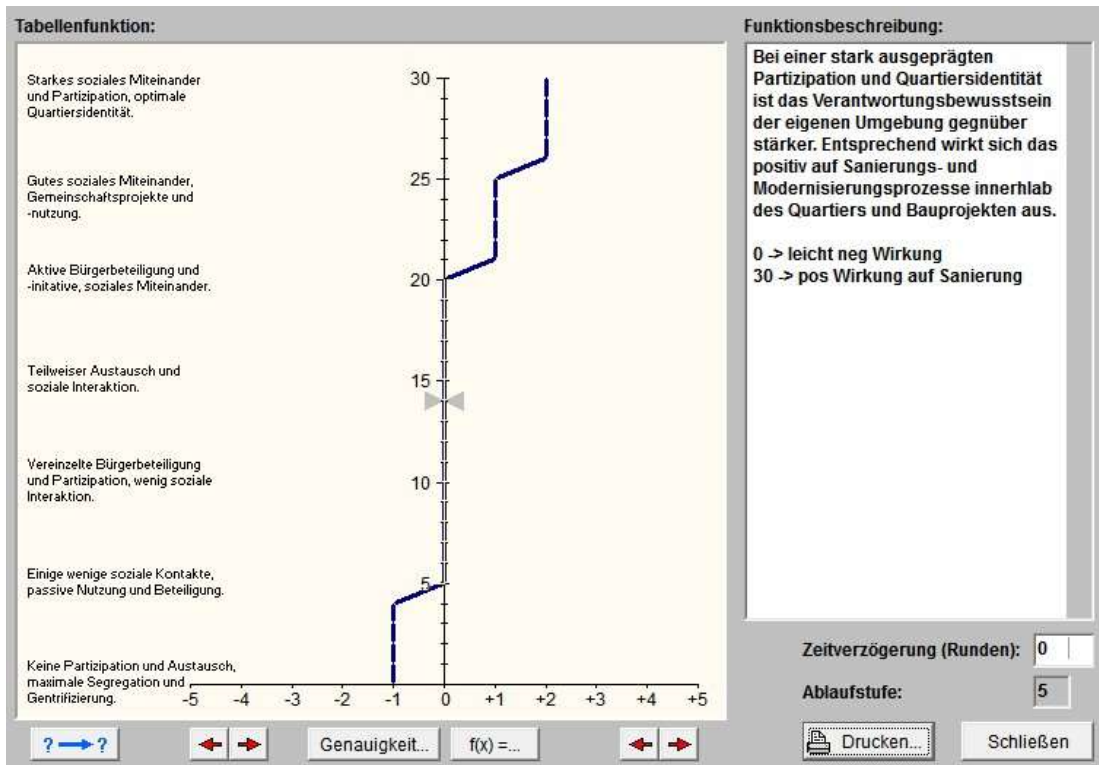
Wirkung: Klimaschutz > Bauliche Dichte



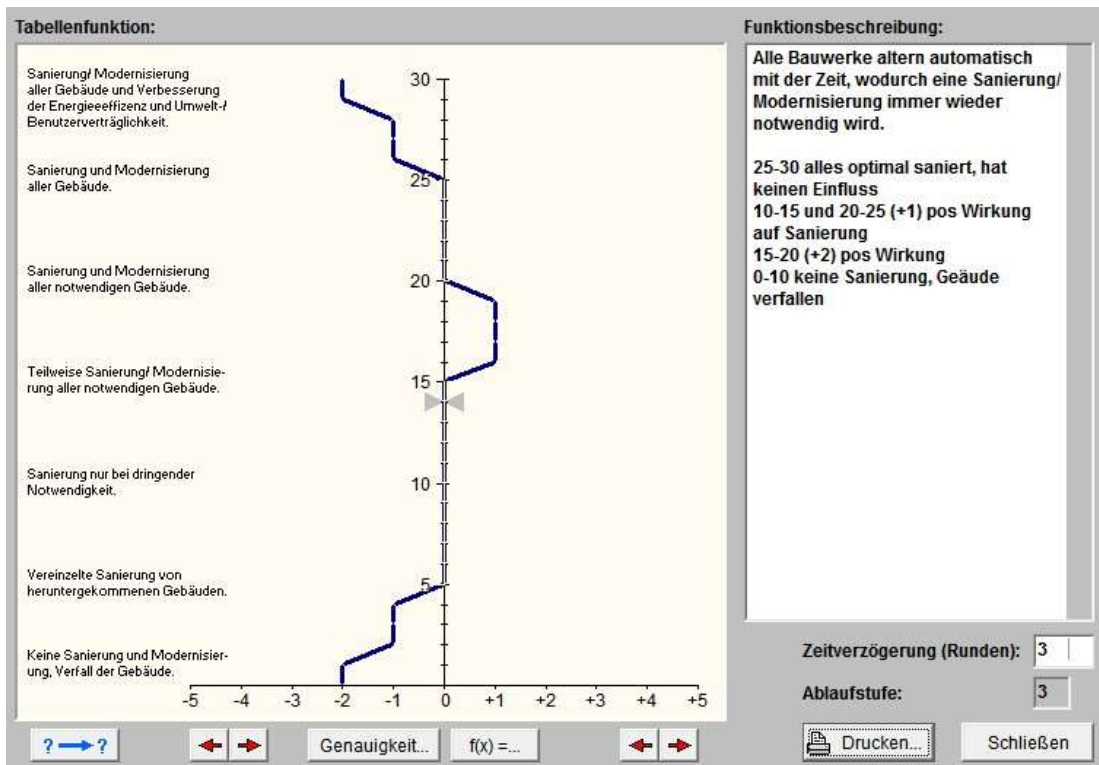
Wirkung: Partizipation > Außenraum



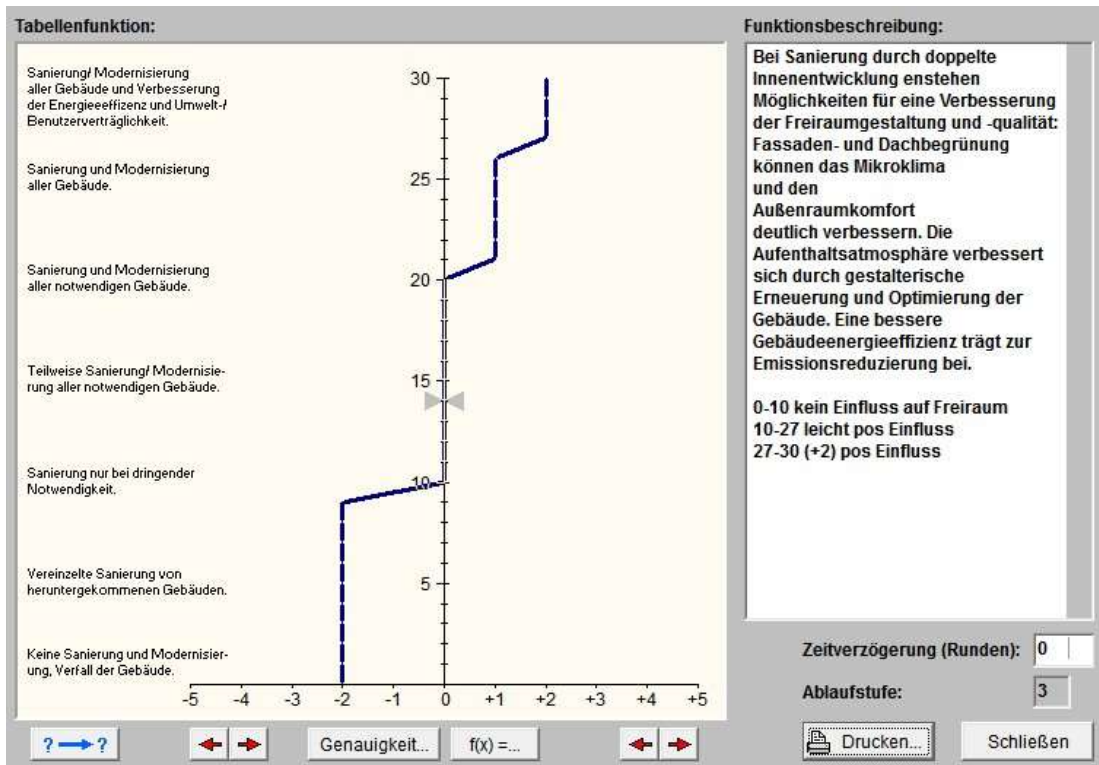
Wirkung: Partizipation > Bauliche Dichte



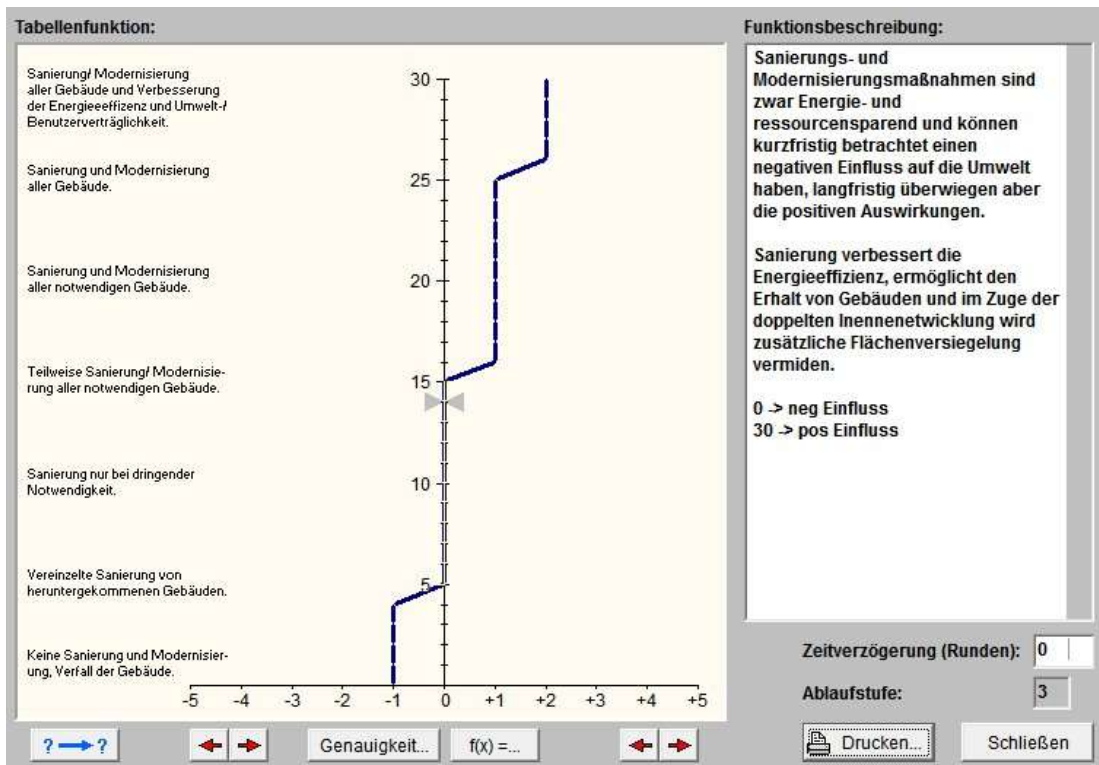
Wirkung: Partizipation > Sanierung



Wirkung: Sanierung > Sanierung



Wirkung: Sanierung > Außenraum



Wirkung: Sanierung > Klimaschutz