

Die Gestalt der Smart City

Auswirkungen städtebaulich integrierter
Infrastrukturen auf ihre gesellschaftliche Akzeptanz
am Beispiel von 5G-Sendeanlagen in Deutschland

Von der Fakultät für Architektur der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule
Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Jannik Wendorff

Berichter:
Universitätsprofessorin Dipl.-Ing.
Universitätsprofessor Dr.-Ing.

Christa Reicher
Jan Polívka (TU Berlin)

Tag der mündlichen Prüfung: 30.01.2024

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Universitätsbibliothek online verfügbar.

Zusammenfassung

Der urbane Raum steht heute vor einer Vielzahl gravierender ökologischer, ökonomischer sowie sozialer Herausforderungen. Einen Ansatz, um diesen Problemen proaktiv zu begegnen und Städte nachhaltiger, effizienter und inklusiver zu gestalten, stellt das Konzept der Smart City dar. Im aktuellen Diskurs um die Auswirkungen von intelligenten Städten auf den Raum stehen primär ihre Anwendungsfälle, wie beispielsweise die autonome Mobilität, im Zentrum. Diese Arbeit hingegen rückt die neuen technischen Infrastrukturen als Grundlage der Smart City und ihre Auswirkungen auf das Stadtbild in den Vordergrund. Für die schnelle und zuverlässige Vernetzung von Mensch und Maschine werden perspektivisch zahlreiche neue und flächendeckende Infrastrukturen, wie Sensoren oder Kommunikationsanlagen, im urbanen Raum benötigt. Die materiellen Komponenten der erforderlichen Infrastrukturen werden dabei im Stadtbild wahrnehmbar. Für viele Menschen materialisieren sich in diesen technischen Anlagen Ängste und Skepsis gegenüber technischem Fortschritt, zunehmender Überwachung und gesundheitlichen Auswirkungen.

Im Rahmen der Arbeit wird untersucht, inwieweit die städtebauliche Integration von 5G-Anlagen als exemplarische Smart City-Infrastruktur ein geeignetes Mittel darstellt, um die gesellschaftliche Akzeptanz der betrachteten Technologie zu beeinflussen. Zur Beantwortung der Forschungsfrage werden zum einen bestehende Ansätze und Auswirkungen der Integration technischer Infrastrukturen auf den Stadtraum und die Bevölkerung aufgezeigt. Zum anderen wird ein quantitativer und qualitativer Methodenmix zur Gewinnung neuer empirischer Daten angewendet. Dieser umfasst eine Geodatenanalyse, eine teilstandardisierte Akzeptanzbefragung, die vergleichende Betrachtung von Entwürfen zur Infrastrukturgestaltung sowie Expert*inneninterviews.

Die Ergebnisse der vorgelegten Arbeit zeigen, dass die städtebauliche Integration von 5G-Infrastrukturen die gesellschaftliche Akzeptanz beeinflussen kann. Gleichzeitig wird deutlich, dass die städtebauliche

Integration nur einen Teil einer akzeptierten Infrastrukturausstattung darstellt und zwingend mit primär kommunikativen Ansätzen kombiniert werden sollte. Kommunen nehmen in dem Voranbringen städtebaulich integrierter technischer Infrastrukturen eine Schlüsselrolle ein. Die Arbeit liefert mit der Darstellung zu berücksichtigender *Akzeptanzfaktoren*, umzusetzender *Gestaltungsprinzipien* und zu beachtender *Implementierungsansätze* einen Werkzeugkasten für Kommunen, um eine eigene Strategie hinsichtlich eines akzeptanzsteigernden Infrastrukturausbaus zu formulieren. So wird eine gesellschaftlich akzeptierte(re) Gestaltung technikinduzierter Stadtraumveränderungen möglich und damit der Weg in eine nachhaltige Zukunft in Einklang mit den gesellschaftlichen Erwartungen geebnet.

Abstract

The urban space currently faces a number of serious ecological, economic and social challenges. One approach to proactively tackling these problems and making cities more sustainable, efficient and inclusive is the concept of the smart city. In the current discourse on the effects of smart cities on space, the focus is primarily on their use cases, such as autonomous mobility. This work, on the other hand, focuses on the new technical infrastructures as the basis of the smart city and their impact on the cityscape. In the future, numerous new and comprehensive infrastructures, such as sensors or communication systems, will be required in urban areas for the fast and reliable networking of people and machines. The material components of the required infrastructures will become perceptible in the cityscape. For many people, these technical installations materialize fears and scepticism towards technological progress, increasing surveillance and health effects.

The thesis examines the extent to which the urban integration of 5G facilities as exemplary smart city infrastructure is a suitable means of influencing social acceptance of the technology under consideration. To answer the research question, existing approaches and effects of the integration of technical infrastructures on the urban space and the population are shown. On the other hand, a quantitative and qualitative mix of methods is used to obtain new empirical data. This includes a geodata analysis, a partially standardized acceptance survey, a comparative analysis of infrastructure design drafts and expert interviews.

The results of the work presented show that the urban integration of 5G infrastructures can influence social acceptance. At the same time, it becomes clear that urban integration is only one part of an accepted infrastructure and should be combined with primarily communicative approaches. Municipalities play a key role in the advancement of integrated technical infrastructures in urban planning. By presenting *acceptance factors* to be considered, *design principles* to be applied and *implementation approaches* to be observed, the thesis provides a toolbox for municipalities to formulate their

own strategy with regard to infrastructure expansion that increases acceptance. This enables the socially accepted design of technology-induced changes to urban spaces and thus paves the way for a sustainable future in line with social expectations.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	8
-----------------------------------	----------

TABELLENVERZEICHNIS.....	10
---------------------------------	-----------

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	11
-----------------------------------	-----------

Abschnitt A: Einführung

1 EINLEITUNG	14
1.1 MOTIVATION.....	14
1.2 ZIEL DER ARBEIT & FORSCHUNGSFRAGEN	17
1.3 AUFBAU DER ARBEIT	20

Abschnitt B: Theorie

2 WECHSELWIRKUNGEN TECHNISCHER INFRASTRUKTUREN DER SMART CITY MIT DEM URBANEN RAUM.....	24
2.1 VOM BEDARF INTELLIGENTER UND VERNETZTER STÄDTE ALS LÖSUNGSANSATZ URBANER HERAUSFORDERUNGEN.....	25
2.1.1 Stressoren urbaner Räume.....	26
2.1.2 Digitalisierungsbestrebungen in planerischen Leitdokumenten	30
2.1.3 Räumliche Auswirkungen der Digitalisierung in Deutschland	32
2.2 VON SMART CITIES UND IHREN INFRASTRUKTUREN	34
2.2.1 Divergierende Smart City-Verständnisse	34
2.2.2 Infrastrukturen als zentraler Bestandteil urbaner Entwicklungen	38
2.2.3 Infrastrukturen der Smart City.....	41

2.3 VON DER WAHRNEHMUNG, AKZEPTANZ UND INTEGRATION UNTERSTÜTZENDER TECHNISCHER INFRASTRUKTUREN	44
2.3.1 Die komplexe Wahrnehmung des Stadtraums	44
2.3.2 Wahrnehmung technischer Infrastrukturen im Stadtraum	47
2.3.3 Akzeptanz technischer Infrastrukturen	48
2.3.4 Städtebauliche Integration unterstützender technischer Infrastrukturen	55

3 5G ALS TREIBER INTELLIGENTER UND VERNETZTER STÄDTE68

3.1 MOBILFUNK ALS SÄULE DER DIGITALISIERUNG	68
3.2 DER FÜNFTE MOBILFUNKSTANDARD.....	70
3.3 5G-SENDEINFRASTRUKTUREN	73
3.3.1 Makro-Standorte.....	73
3.3.2 Kleinzellensendeanlagen	76
3.3.3 Gesellschaftliche Akzeptanz von 5G-Infrastrukturen	84

Abschnitt C: Empirie

4 METHODISCHE VORGEHENSWEISE	92
4.1 QUANTITATIVE GEODATENANALYSE.....	93
4.2 TEILSTANDARDISIERTE AKZEPTANZBEFRAGUNG	97
4.3 VERGLEICHENDE BETRACHTUNG VON KLEINZELLENINTEGRATIONSANSÄTZEN ..	103
4.4 EXPLORATIVE LEITFADENGESTÜTZTE EXPERT*INNENINTERVIEWS.....	106

5 EMPIRISCHE ERGEBNISSE..... 114

5.1	STANDORTPOTENZIAL	115
5.1.1	Quantitative Geodatenanalyseergebnisse.....	116
5.1.2	Interviewergebnisse	144
5.1.3	Zusammenfassung Standortpotenzial..	149
5.2	STÄDTEBAULICHE INTEGRATIONSPRINZIPIEN.....	152
5.2.1	Ergebnisse der Akzeptanzanalyse.....	152
5.2.2	Interviewergebnisse	168
5.2.3	Zusammenfassung städtebauliche Integrationsprinzipien.....	173
5.3	IMPLEMENTIERUNGSANSÄTZE.....	175
5.3.1	Ergebnisse der vergleichenden Betrachtung.....	175
5.3.2	Interviewergebnisse	179
5.3.3	Zusammenfassung Implementierungsansätze	184

Abschnitt D: Erkenntnisse

6 KOMMUNALE STRATEGIEN ZUR STÄDTEBAULICHEN INTEGRATION VON KLEINZELLENANLAGEN ..188

6.1	AKZEPTANZFAKTOREN.....	189
6.2	GESTALTUNGSPRINZIPIEN	193
6.3	IMPLEMENTIERUNG	203

7 EINORDNUNG DER ERKENNTNISSE210

7.1	BEANTWORTUNG FORSCHUNGSFRAGEN	210
7.2	KRITISCHE REFLEXION DER METHODISCHEN VORGEHENSWEISE UND ERGEBNISSE....	215
7.3	AUSBLICK.....	218

LITERATURVERZEICHNIS220

ANHANG.....237

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 ÜBERSICHT DER FORSCHUNGSZIELE UND -FRAGEN	19	ABBILDUNG 19 ÜBERSICHT UNTERSUCHTER SZENARIEN	99
ABBILDUNG 2 AUFBAU DER ARBEIT	21	ABBILDUNG 20 BEWERTUNGSGRUNDLAGE ENTWÜRFE.....	105
ABBILDUNG 3 DIE ENTWICKLUNGSGENERATIONEN DER SMART CITY	37	ABBILDUNG 21 ABLEITUNG EMPIRISCHER ERGEBNISSE	114
ABBILDUNG 4 UNTERTEILUNG INFRASTRUKTUREN	40	ABBILDUNG 22 ÜBERSICHT REALLABOR	117
ABBILDUNG 5 THEORY OF REASONED ACTION NACH AJZEN UND FISHBEIN	53	ABBILDUNG 23 ÜBERSICHT POTENZIELLE KLEINZELLENSTANDORTE	119
ABBILDUNG 6 TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL NACH DAVIS.....	54	ABBILDUNG 24 ÜBERSICHT BELEUCHTUNGSANLAGEN.....	121
ABBILDUNG 7 TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL FOR VIDEO SURVEILLANCE	54	ABBILDUNG 25 ÜBERSICHT VERSORGUNGSKÄSTEN	123
ABBILDUNG 8 EINORDNUNGSMETHODIK FÜR GESTALTUNGSANSÄTZE.....	61	ABBILDUNG 26 ÜBERSICHT FASSADEN ÖFFENTLICHER GEBÄUDE	125
ABBILDUNG 9 UNTERSCHIEDUNG INTEGRATIONS- UND GESTALTUNGSANSÄTZE.....	62	ABBILDUNG 27 ÜBERSICHT LITFABSÄULEN.....	127
ABBILDUNG 10 LATERNE MIT EINFÜGENDER MOBILFUNKTECHNIK IN BERLIN.....	65	ABBILDUNG 28 ÜBERSICHT LICHTSIGNALANLAGEN..	129
ABBILDUNG 11 FUNKTIONAL GESTALTETE TECHNISCHE INFRASTRUKTUREN IN AACHEN	67	ABBILDUNG 29 ÜBERSICHT ÖPNV- INFRASTRUKTUREN.....	131
ABBILDUNG 12 5G-DREIECK	72	ABBILDUNG 30 ÜBERSICHT LADEINFRASTRUKTUREN	133
ABBILDUNG 13 SCHEMATISCH AUFBAU UND 5G- ERWEITERUNG EINES BESTEHENDEN MAKROSTANDORT	75	ABBILDUNG 31 ÜBERSICHT KOMMUNIKATIONSANLAGEN	135
ABBILDUNG 14 SCHEMATISCHER AUFBAU EINER 5G- KLEINZELLENANLAGE	76	ABBILDUNG 32 ÜBERSICHT FAHRLEITUNGSMASTEN	137
ABBILDUNG 15 SCHEMATISCHE DARSTELLUNG NEBENSTELLER	80	ABBILDUNG 33 ÜBERSICHT SONSTIGE INFRASTRUKTUREN.....	139
ABBILDUNG 16 SCHEMATISCHE DARSTELLUNG UMSCHLUSS- / SEITENGEHÄUSE	81	ABBILDUNG 34 VERGLEICH DER UNTERSUCHTEN TRÄGERINFRASTRUKTUREN	140
ABBILDUNG 17 SCHEMATISCHE DARSTELLUNG STANDORTINTEGRIERTE SYSTEMTECHNIK	81	ABBILDUNG 35 VERGLEICH INFRASTRUKTURDICHTEN DER DORTMUNDER INNENSTADTBZIRKE	143
ABBILDUNG 18 SCHEMATISCHER ABLAUF DER GEODATENANALYSE.....	96	ABBILDUNG 36 EXEMPLARISCHE ANTWORTEN AUF DIE FRAGE: WELCHE SPONTANEN GEDANKEN GEHEN IHNEN NACH DIESER BESCHREIBUNG (NEUER SENDEANLAGEN) DURCH DEN KOPF?	153

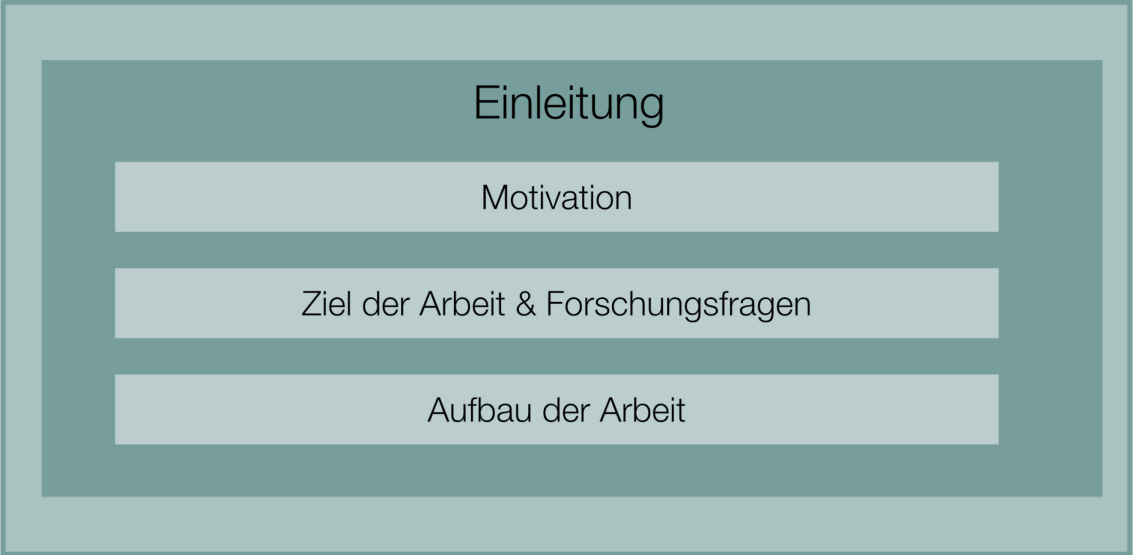
ABBILDUNG 37 PRÄFERENZ DER GEZEIGTEN SZENARIEN FRAGE: WELCHES DIESER KONZEPTE GEFÄLLT IHNEN AM BESTEN? 154	ABBILDUNG 50 RAHMENBEDINGUNGEN KOMMUNALER STRATEGIEN ZUR STÄDTEBAULICHEN INTEGRATION KLEINZELLENANLAGEN..... 189
ABBILDUNG 38 PRÄFERENZEN DER INTEGRATIONSART NACH GESCHLECHT FRAGE: WELCHES DIESER KONZEPTE GEFÄLLT IHNEN AM BESTEN? 155	ABBILDUNG 51 ICON ERHALT DES STADTBILDES 190
ABBILDUNG 39 VORSTELLBARKEIT SICHTBARER SENDEINFRASTRUKTUREN NACH STADTRAUMTYPEN: IN WELCHEN BEREICHEN KÖNNEN SIE SICH SICHTBARE SENDEINFRASTRUKTUREN (NICHT) VORSTELLEN? 157	ABBILDUNG 52 ICON INFORMATIONSVERMITTLUNG ÜBER INFRASTRUKTUR 191
ABBILDUNG 40 RECHTFERTIGUNG AUSBAU SENDEANLAGEN FRAGE: WELCHE WÜRDEN EINEN AUSBAU DER SENDEANLAGEN RECHTFERTIGEN?..... 158	ABBILDUNG 53 ICON AUFWERTUNG DES STADTRAUMES 191
ABBILDUNG 41 BEWERTUNG DER FUNKTIONALEN GESTALTUNG 161	ABBILDUNG 54 ICON STANDORT 192
ABBILDUNG 42 BEWERTUNG DER MASKIERTEN GESTALTUNG 163	ABBILDUNG 55 STÄDTEBAULICHE AKZEPTANZDREIECK FÜR SMART CITY-INFRASTRUKTUREN..... 193
ABBILDUNG 43 BEWERTUNG DER GESTALTUNG MIT LOKALBEZUG 165	ABBILDUNG 56 TECHNISCHE UND STÄDTEBAULICHE INTEGRATION IM KONTEXT DES AKZEPTANZDREIECKS 195
ABBILDUNG 44 BEWERTUNG DER NUTZUNGSERWEITERUNG 166	ABBILDUNG 57 ICON MASKIERTE GESTALTUNG 196
ABBILDUNG 45 ÜBERSICHT KATEGORISIERUNG ENTWÜRFE 176	ABBILDUNG 58 ICON AUFWERTENDE GESTALTUNG . 197
ABBILDUNG 46 EINORDNUNG ENTWÜRFE FUNKTIONALER FOKUS 177	ABBILDUNG 59 TECHNISCHE INFRASTRUKTUR AUF DEM CAMPUS MELATEN UND DEREN ERLÄUTERUNG 199
ABBILDUNG 47 EINORDNUNG ENTWÜRFE ERHALT & AUFWERTUNG 177	ABBILDUNG 60 ICON INFORMATIVE GESTALTUNG 198
ABBILDUNG 48 EINORDNUNG ENTWÜRFE INFORMATIONSVERMITTLUNG & AUFWERTUNG. 178	ABBILDUNG 61 ICON EINFÜGENDE GESTALTUNG 199
ABBILDUNG 49 EINORDNUNG ENTWÜRFE ERHALT & INFORMATIONSVERMITTLUNG..... 178	ABBILDUNG 62 ICON STADTRAUMPRÄGENDE GESTALTUNG 200
	ABBILDUNG 63 ICON VIRTUELLE GESTALTUNG 201
	ABBILDUNG 64 VERORTUNG DER GESTALTUNGSPRINZIPIEN IM STÄDTEBAULICHEN AKZEPTANZDREIECK 202
	ABBILDUNG 65 SCHEMATISCHE DARSTELLUNG IMPLEMENTIERUNGSANSÄTZE 208
	ABBILDUNG 66 ÜBERSICHT BAUSTEINE KOMMUNALER STRATEGIEN ZUR STÄDTEBAULICHEN INTEGRATION TECHNISCHER INFRASTRUKTUREN 208

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 ÜBERSICHT MOBILFUNKGENERATIONEN.....	70
TABELLE 2 ÜBERSICHT VERWENDETER GEODATEN.....	94
TABELLE 3 SOZIO-DEMOGRAPHISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER STICHPROBE	101
TABELLE 4 ÜBERSICHT HERKUNFT UNTERSUCHTER ENTWÜRFE	104
TABELLE 5 ÜBERSICHT EXPERT*INNENINTERVIEWS...	110
TABELLE 6 ÜBERSICHT NUTZUNGEN IM REALLABOR.	116
TABELLE 7 INFRASTRUKTURVERGLEICH REALLABOR UND DORTMUNDER INNENSTADTBEREICH.....	141
TABELLE 8 VERGLEICHENDE EIGNUNG BETRACHTETER POTENZIELLER TRÄGERINFRASTRUKTUREN	150
TABELLE 9 ÜBERSICHT DER PRÄFERENZEN NACH GESTALTUNGSANSATZ UND MERKMALEN.....	156
TABELLE 10 ZUSAMMENFASSUNG SZENARIOVERGLEICH	167

Abkürzungsverzeichnis

5G	5. MOBILFUNKSTANDARD	MMTC	MASSIVE MACHINE-TYPE COMMUNICATION
6G	6. MOBILFUNKSTANDARD		
ANT	AKTEURS-NETZWERK-THEORIE	TAM	TECHNOLOGIE- AKZEPTANZMODELL
AR	AUGMENTED REALITY		
BIMSchG	BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZ	TKG	TELEKOMMUNIKATIONSGESETZ
BIMSchV	VERORDNUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DES BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZES	TKU	TELEKOMMUNIKATIONS- UNTERNEHMEN
BNETZA	BUNDESNETZAGENTUR	TRA	THEORY OF REASONED ACTION
eMBB	ENHANCED MOBILE BROADBAND	URLLC	ULTRA RELIABLE AND LOW LATENCY COMMUNICATION
IoT	INTERNET OF THINGS		
MIoT	MASSIVE INTERNET OF THINGS	VR	VIRTUAL REALITY



The diagram illustrates the structure of a thesis introduction. It consists of a large outer rectangle with a light teal background. Inside this rectangle is a smaller, darker teal rectangle. Within the darker rectangle, the word 'Einleitung' is centered at the top. Below it are three horizontal, light gray bars, each containing a text element: 'Motivation', 'Ziel der Arbeit & Forschungsfragen', and 'Aufbau der Arbeit'.

Einleitung

Motivation

Ziel der Arbeit & Forschungsfragen

Aufbau der Arbeit

Abschnitt A:

Einführung

1 Einleitung

Das erste Kapitel führt inhaltlich sowie strukturell in die vorgelegte Arbeit ein. Dafür wird zunächst die Motivation zum Forschungsvorhaben dargelegt. Daran anschließend werden die Ziele sowie die formulierten Forschungsfragen der Arbeit präsentiert und erörtert. Abschließend wird im ersten Kapitel der Aufbau der vorgelegten Arbeit erläutert.

1.1 Motivation

Die Transition in eine nachhaltigere Zukunft zur Eindämmung des Klimawandels, die rasante Zunahme der Weltbevölkerung oder die Verknappung wichtiger Ressourcen stellen nur einige der drängendsten Herausforderungen unserer Zeit dar. Städte nehmen in deren Bewältigung eine zentrale Rolle ein. Seit dem Jahr 2007 leben erstmals mehr Menschen in Städten als auf dem Land. Bis zum Jahr 2050 soll die Zahl der städtischen Bevölkerung auf 6,7 Mrd., bzw. knapp 70% der Weltbevölkerung steigen (UNITED NATIONS 2019: S. 9 f.). Außerdem konzentrieren sich in Städten ein Großteil der wirtschaftlichen Aktivitäten und Gebäude (VAN STADEN 2014: 4). Entsprechend müssen die drängendsten Herausforderungen vor allem in urbanen Räumen angegangen und gelöst werden.

Um Städte nachhaltiger, effizienter und inklusiver zu gestalten und damit die vielfältigen Herausforderungen proaktiv anzugehen, hat die *Smart City* in den letzten Jahren zunehmend Bedeutung erlangt. Dabei existiert bis heute keine einheitliche Definition oder Zielvorstellung einer Smart City (CHOURABI et al. 2012: 2289; CUGURULLO 2018: 113; LIBBE 2018: 431). Als Smart City wird in der Regel ein Sammelbegriff für die Anwendung digitaler Technologien auf kommunale Arbeitsfelder verstanden. So sollen ökonomische, ökologische, soziale aber auch politische Probleme und Herausforderungen durch technologische Ansätze der Digitalisierung und Konnektivität adressiert und gelöst werden (LAUZI 2019: 9). Klassische Handlungsfelder der Smart City sind beispielsweise der Aufbau von eGovernance-Angeboten, der Ausbau von Informations- und Kommunikationsinfrastrukturen sowie die

Optimierung urbaner Verkehrs- und Energieflüsse (SOIKE & LIBBE 2018: 11). Die Planung und Implementierung von Ansätzen der Smart City erfordert in der Regel interdisziplinäre Lösungsansätze (ACATECH 2011: 9). Der Stadtplanung als Querschnittsdisziplin für die Ordnung, Lenkung und Entwicklung von Siedlungsräumen (PAHL-WEBER & SCHWARTZE 2018: 2509) kommt im Kontext der Digitalisierung von Städten eine zentrale Rolle zu. Aktuelle stadtentwicklungspolitische Leitdokumente, wie die *Neue Leipzig Charta* oder die *New Urban Agenda*, nehmen die neuen Möglichkeiten intelligenter Städte für die Stadtplanung auf und formulieren den Bedarf einer raschen Transition in eine digitalisierte Zukunft (BBSR 2021; UNITED NATIONS 2017). Während in der wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Betrachtung von Smart Cities in der Regel die innovativen Anwendungsfälle, beziehungsweise die Entwicklung technischer Komponenten, im Vordergrund stehen, bleiben die räumlichen Auswirkungen intelligenter Städte bisher weitgehend unbeachtet (BBSR 2022: S. 27 ff.). Dabei wird der stetige Ausbau von Smart-City-Ansätzen unsere Städte auf vielfältige Art und Weise verändern. Eine autonome Mobilität stellt beispielsweise divergierende Anforderungen an den Stadt- und Straßenraum und birgt signifikante Potenziale zur Reduktion des Verkehrsflächenverbrauchs (MITTEREGGER et al. 2021: S. 10 ff.).

Die technische Grundlage für die Realisierung der exemplarisch aufgezeigten technologiegetriebenen Ansätze der Smart City stellen in vielen Fällen sogenannte *smarte Infrastrukturen* dar (CUCUZZELLA & GOUBRAN 2019: 3). Zu den vermehrt in die Städte drängenden smarten Infrastrukturen gehören etwa Sensoren, Kamerasysteme oder neue Kommunikationsinfrastrukturen. Neben den neuen Funktionen der Smart City bringen die innovativen Technologien durch die benötigte Hardware auch eine physisch-räumliche Komponente in die Städte. Um neue Funktionen intelligenter Städte nutzen und deren Vorteile ausschöpfen zu können, ist die neu zu installierende Hardware oft unerlässlich.

Die smarten Infrastrukturen weisen für heutige städtebauliche Betrachtungen in der Regel vergleichsweise geringe Abmaße auf. Aufgrund der Vielzahl erwarteter neuer Infrastrukturen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sie das Potenzial besitzen, das bestehende Stadtbild zu verändern und

neu zu prägen. Denn besonders den Kleinstarchitekturen im Stadtraum kommt eine herausragende Rolle bezüglich der Prägung urbaner Räume zu (MAGNAGO LAMPUGNANI 2020a; TUBBESING 2020). Ein Blick in die Vergangenheit des Ausbaus technischer Infrastrukturen (z.B. Mobilfunk, Überwachungskameras, Telefonzellen) zeigt, dass der Ausbau potenziell gesamtgesellschaftlich wünschenswerter Infrastrukturen seitens der lokalen Bevölkerung oder Verwaltungen aus verschiedenen Gründen abgelehnt und sogar aktiv behindert werden kann (FORGE et al. 2019: 52; MAGNAGO LAMPUGNANI 2020b: 39; SOIKE 2019: 32). Die Ablehnung kann dabei beispielsweise aus anwendungsbezogenen Gründen, wie z.B. der Angst vor Überwachung, gesundheitlichen Bedenken oder ästhetischen Gründen resultieren (HEMPEL & TÖPFER 2004: S. 44 ff.; QUOSS et al. 2021: S. 19 ff.; SOIKE 2019: 7). Neben den technischen können daher auch soziale Herausforderungen bezüglich des Ausbaus neuer Infrastrukturen der Smart City erwartet werden.

Hier setzt die vorliegende Arbeit an und untersucht, inwieweit die Berücksichtigung und Gestaltung der physischen Komponenten neuer Smart-City-Infrastrukturen einen Beitrag leisten können, um gesellschaftliche Widerstände reduzieren und Aufwertungsprozesse urbaner Räume anstoßen zu können. Dabei wird in der Arbeit die Maßstabebene der Stadtraumdetails in den Fokus gesetzt. Zur Untersuchung des Forschungsinteresses wird in dieser Arbeit der Anwendungsfall von Kleinzellensendeanlagen des 5. Mobilfunkstandards (5G) herangezogen. Der neue Mobilfunkstandard 5G stellt dabei zum einen eine wichtige Grundlage innovativer Anwendungsfälle im urbanen Raum, wie zum Beispiel der autonomen Mobilität, dar. Zum anderen kann ein erkennbares Akzeptanzdefizit der Technologie und der benötigten, stark steigenden Anzahl an Sendeinfrastrukturen ausgemacht werden (BEARINGPOINT GMBH 2021; BITKOME.V. 2020; QUOSS et al. 2021).

1.2 Ziel der Arbeit & Forschungsfragen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Bedeutung der städtebaulichen Integration von Smart City-Infrastrukturen im Kontext der gesellschaftlichen Akzeptanz am Beispiel der 5G-Kleinzellentechnologie untersucht. Die Arbeit fokussiert dafür die räumlich-physischen Aspekte des 5G-Infrastrukturausbaus. Ziel der Arbeit ist der Erkenntnisgewinn hinsichtlich der potenziellen Auswirkungen von städtebaulich integrierten Infrastrukturen auf die gesellschaftliche Akzeptanz. Die Ergebnisse können genutzt werden, um insbesondere kommunale Akteure*innen für die Ansätze und Wirkungsweisen der städtebaulichen Integration neuer technischer Infrastrukturen zu sensibilisieren. Zudem will diese Arbeit Orientierung in einem neu aufkommenden Themenbereich der Stadtentwicklung anbieten und Anknüpfungspunkte zur individuellen Umsetzung auf kommunaler Ebene aufzeigen. Die Ergebnisse ermöglichen kommunalen Stakeholdern die aktivere Gestaltung des Transformationsprozesses hin zu einer intelligenten Stadt.

Übergeordnet soll im Rahmen dieser Arbeit die Forschungsfrage beantwortet werden:

Inwieweit stellt die städtebauliche Integration von Kleinzellenanlagen ein geeignetes Mittel zur Beeinflussung der gesellschaftlichen Akzeptanz der 5G-Technologie dar?

Um die vorgestellte Fragestellung umfassend beantworten zu können, wurden drei Aspekte identifiziert, welche den Rahmen des untersuchten städtebaulichen Integrationsprozesses bilden: Das *Standortpotenzial*, die *städtebaulichen Integrationsprinzipien* sowie die *Implementierungsansätze*. Zu den drei Aspekten wurden jeweils zwei Unterforschungsfragen definiert, welche die Grundlage zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage darstellen.

Unter dem **Standortpotenzial** werden in dieser Arbeit jene Teilaspekte subsumiert, die sich mit der Identifikation, Auswahl und Ertüchtigung potenzieller Standorte für 5G-Kleinzellenanlagen beschäftigen. Das Standortpotenzial bildet somit die Grundlage, um Aussagen dazu zu treffen, inwiefern genügend bestehende Infrastrukturen im Stadtraum als potenzielle

Trägermedien vorhanden sind oder ob neue Standorte geschaffen werden müssen. Ferner wird die Eignung unterschiedlicher Standorttypen hinsichtlich der städtebaulichen Integration untersucht. Im Rahmen des Standortpotenzials wird abschließend in Erfahrung gebracht, inwiefern Flexibilitäten bei der Standortwahl sowie –ausgestaltung bestehen und strategisch genutzt werden können. Zum Standortpotenzial sollen folgende Unterforschungsfragen beantwortet werden:

- **Welche Standortpotenziale lassen sich aus städtebaulicher Perspektive für eine Integration von 5G-Kleinzellenanlagen im Bestand identifizieren?**
- **Welche Planungsflexibilitäten lassen sich aus dem vorhandenen Standortpotenzial für die städtebauliche Integration ableiten?**

Der Aspekt der **städtebaulichen Integrationsprinzipien** behandelt potenzielle gestalterische Umsetzungen der städtebaulichen Integration von 5G-Kleinzellenanlagen. Dabei wird untersucht, inwiefern sich die gesellschaftlichen Präferenzen zwischen den unterschiedlichen Ansätzen unterscheiden. Folgende Unterforschungsfragen sollen beantwortet werden:

- **Welche gesellschaftlichen Präferenzen können bezüglich der Integration von Kleinzelleninfrastrukturen in den urbanen Raum ausgemacht werden?**
- **Welche Gestaltungsansätze lassen sich für die städtebauliche Integration von Kleinzellenanlagen hinsichtlich der Steigerung der gesellschaftlichen Akzeptanz identifizieren?**

Im Rahmen des letzten untersuchten Aspekts, den **Implementierungsansätzen**, wird die Rolle von Kommunen in einem potenziellen Realisierungsprozess der städtebaulichen Integration von 5G-Infrastrukturen näher untersucht. Dafür sollen die folgenden Unterfragen beantwortet werden:

- **Wie lässt sich die städtebauliche Integration der Sendeanlagen durch Kommunen erfolgsversprechend in den Infrastrukturausbauprozess integrieren?**
- **Auf welche Planungsinstrumente sollte kommunalseitig zurückgegriffen werden, um eine gesellschaftlich akzeptierte Kleinzelleninfrastruktur zu fördern?**

In Kapitel 7.1 werden die Unterforschungsfragen und darauf aufbauend die übergeordnete Forschungsfrage zusammenfassend beantwortet. Der nachfolgenden *Abbildung 1* ist der Aufbau und eine Übersicht über die dargelegten Forschungsziele und -fragen zu entnehmen.

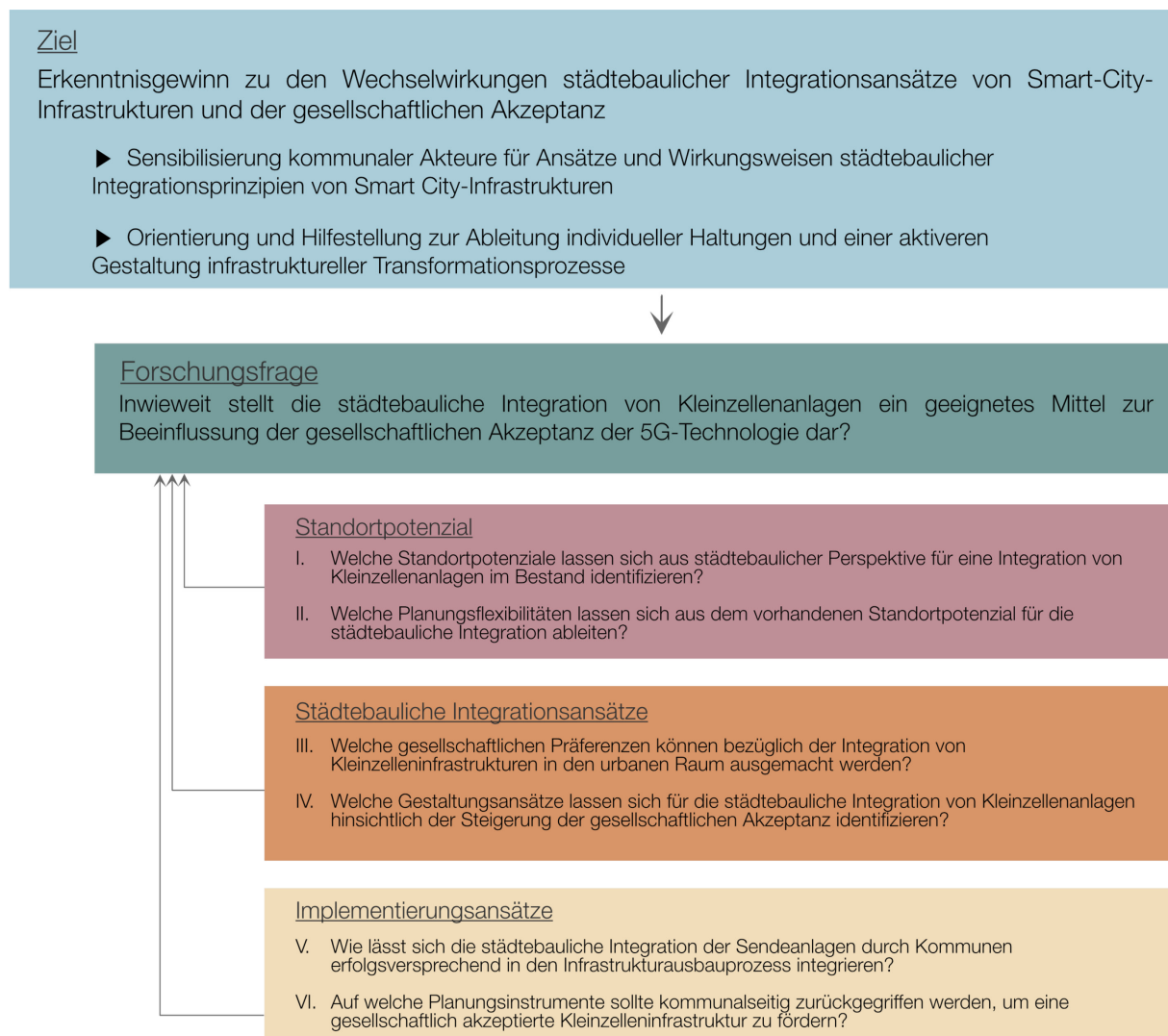


Abbildung 1 Übersicht der Forschungsziele und -fragen
Eigene Darstellung

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit unterteilt sich in vier thematische Abschnitte (*A-D*). Der erste *Abschnitt A* führt in die Thematik, die Forschungsfragen und den Aufbau der Arbeit ein. Ziel des sich anschließenden *Abschnitts B* ist die Darstellung theoretischer Grundlagen zu den Wechselwirkungen zwischen sogenannten unterstützenden technischen Infrastrukturen und dem urbanen Raum sowie den sich in diesem aufhaltenden Menschen. Zuerst wird dafür der Bedarf von Smart Cities als ein potenzieller Lösungsansatz aktueller urbaner Herausforderungen dargelegt. Darauf aufbauend werden neue Infrastrukturen der Smart City definiert. Anschließend wird der Stand der Forschung zur Wahrnehmung und Akzeptanz technischer Infrastrukturen im Stadtraum und bestehende städtebauliche Integrationsansätze präsentiert. Der *Abschnitt B* endet mit einer kompakten Vorstellung und Einordnung des neuen Mobilfunkstandards 5G sowie dessen technische Infrastrukturen. Anhand des Beispiels 5G werden im späteren Verlauf die empirischen Ergebnisse und Erkenntnisse gewonnen sowie Rahmenbedingungen für deren städtebauliche Integration abgeleitet.

Der *Abschnitt C* stellt die verwendeten methodischen Ansätze sowie die aus diesen gewonnenen empirischen Ergebnisse vor. Im Rahmen der Arbeit wird ein quantitativer und qualitativer Methodenmix aus einer Geodatenanalyse, einer Akzeptanzbefragung, einer vergleichenden Betrachtung potenzieller Umsetzungsentwürfe und leitfadengestützten Expert*inneninterviews angewandt. Daran schließt die Darstellung der empirischen Ergebnisse an. Dabei werden die Ergebnisse gemäß der drei im vorherigen Kapitel vorgestellten Aspekte *Standortpotenzial*, *städtebauliche Integrationsprinzipien* und *Implementierung* ausgewertet und dargestellt. Da die durchgeführten methodischen Ansätze mehrere thematische Aspekte adressieren, ermöglicht diese Aufteilung eine leichtere Orientierung und abschließend die Beantwortung der Forschungsfragen.

In einem letzten Schritt wird in *Abschnitt D*, als Synthese der empirischen Ergebnisse und den theoretischen Grundlagen, ein Fundament für kommunale Strategien zur städtebaulichen Integration von Kleinzellenanalgen präsentiert und diskutiert. Dabei werden Grundsätze

kommunaler Handlungsmöglichkeiten und Wirkungsweisen zur städtebaulichen Integration von 5G-Kleinzellenanlagen dargestellt. Zu berücksichtigende Akzeptanzfaktoren und Gestaltungsprinzipien werden abgeleitet und können als Grundlage einer eigenen Strategieberatung von Kommunen angewendet werden. Die Arbeit endet mit der Beantwortung der eingangs formulierten Forschungsfragen, der kritischen Reflexion der eigenen Methoden und Ergebnisse sowie einem Ausblick bezüglich weitergehender Forschungsaktivitäten. Der nachfolgenden *Abbildung 2* ist der schematische Aufbau der Arbeit zu entnehmen.

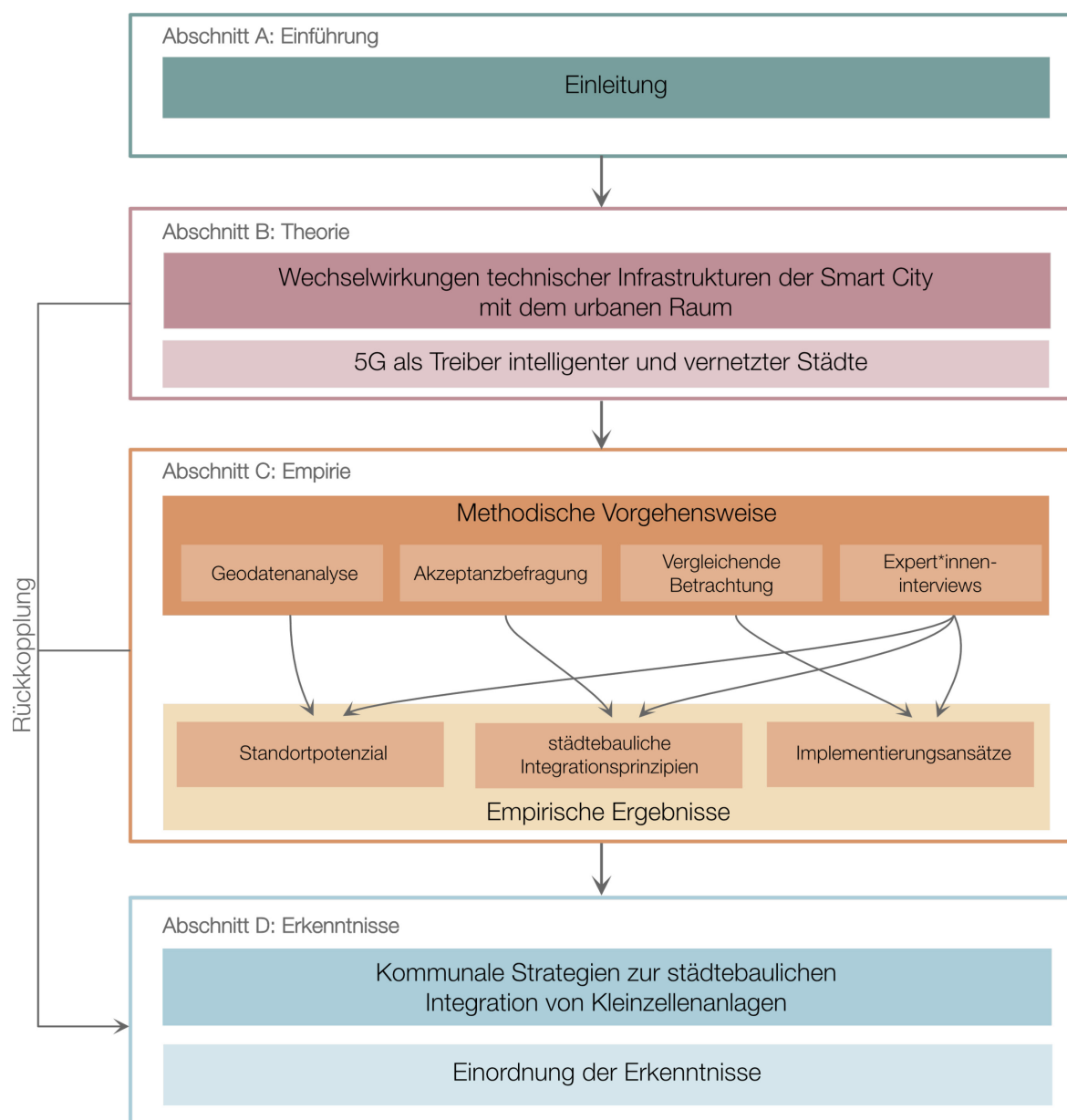


Abbildung 2 Aufbau der Arbeit
Eigene Darstellung



Abschnitt B:

Theorie

2 Wechselwirkungen technischer Infrastrukturen der Smart City mit dem urbanen Raum

Ziel des einführenden Theoriekapitels ist die Darstellung bestehender Ansätze und Theorien zur Wahrnehmung und Wirkung physisch-materieller Komponenten von technischen Infrastrukturen intelligenter und vernetzter Städte im urbanen Raum. Anders als beispielsweise in den Naturwissenschaften, ist das Theorieverständnis der planenden Disziplinen nicht durch starre Gesetzmäßigkeiten geprägt. Die Komplexität der sozialen, natürlichen und gebauten Umwelt sowie eine doppelte Hermeneutik durch die Forschenden erschweren eine Ableitung absoluter Aussagen (RYDIN 2021: 9). Die doppelte Hermeneutik nach GIDDENS (1976: 158) beschreibt dabei die methodische Herausforderung in den Sozialwissenschaften, dass sowohl die Theoriebildung als auch die Datenerfassung durch einen subjektiven Bezugsrahmen geprägt ist. In den Planungswissenschaften nehmen Theorien daher eher die Rolle einer heuristischen Hilfestellung ein, um thematische und räumliche Ebenen aufzunehmen, zu analysieren und so ein überschaubares Gesamtbild erzeugen zu können (RYDIN 2021: 9).

Aufbauend auf diesem Theorieverständnis wird im nachfolgenden Kapitel zuerst der Bedarf intelligenter und vernetzter Städte zur Bewältigung aktueller Herausforderungen urbaner Räume aufgezeigt. Daran anknüpfend wird die Smart City als Konzept intelligenter und vernetzter Städte näher vorgestellt. Damit eng verbunden ist der Infrastrukturausbau neuer technischer Anlagen. Ohne neue technische Infrastrukturen lassen sich die erwarteten Mehrwerte intelligenter Städte meist nicht realisieren. Eine Definition von *Smart-City-Infrastrukturen* wird aus bestehender Literatur abgeleitet und bereits identifizierbare städtebauliche Integrationsansätze kompakt vorgestellt. Im sich anschließenden dritten Kapitel wird dann die 5G-Technologie als Treiber intelligenter und vernetzter Städte vorgestellt. Dafür wird die Bedeutung von Mobilfunk im Allgemeinen und für 5G im Speziellen im Kontext der Digitalisierung aufgezeigt. Darauf aufbauend werden die räumlichen Auswirkungen der neuen 5G-Infrastrukturen auf den urbanen Raum dargestellt.

2.1 Vom Bedarf intelligenter und vernetzter Städte als Lösungsansatz urbaner Herausforderungen

Stressoren beschreiben klassischerweise aus einer medizinisch-ökologischen Sichtweise Ereignisse und Einflüsse, die zu einer Umwelt- beziehungsweise Gesundheitsschädigung führen (GRAFE 2018: 9). GRASSL & GROß (2018: 26) nehmen diese Bezeichnung auf und wenden sie im Kontext der Stadtplanung bezüglich intelligenter und vernetzter Städte an. Stressoren stellen in diesem Fall Herausforderungen dar, welche auf den urbanen Raum einwirken und mittels technologischer Ansätze adressiert und gelöst werden sollen. Die Stadtplanung als „*Formung und Lenkung des physischen Wachstums und der Ordnung von Städten im Einklang mit ihren sozialen und wirtschaftlichen Bedürfnissen*“¹ (ADAMS 1935: 21) reagiert dabei nicht nur auf aktuelle, sondern auch auf künftige Probleme und Stressoren (ALBERS 1992: 265). Intelligente und vernetzte Städte können ein probates Mittel darstellen, um zukünftige Probleme frühzeitig zu identifizieren und diesen entsprechend zu begegnen. Die Digitalisierung spielt dabei aus der kommunalen Innensicht eine zentrale Rolle in zukunftsorientierten Städten (HORNBOSTEL et al. 2019: 20). Potenzielle Stressoren urbaner Räume können unter anderem die Ökologie, die Demographie, die Mobilität, die Energieversorgung und die Ressourcenknappheit sein (GRASSL & GROß 2018: 26). Um diesen Stressoren auch im Kontext der Stadtplanung adäquat begegnen zu können, formulieren eine Vielzahl an aktuellen planerischen Leitdokumenten den Bedarf einer digitalen Transition für urbane Räume (z.B. BBSR 2021; UNITED NATIONS 2017). Mit der Berücksichtigung der digitalen Ansätze tragen die Leitdokumente hinsichtlich einer breiten Streuung des Problembewusstseins bei potenziell umsetzenden Stellen bei. Während digitale Lösungsansätze bereits weitverbreitet wurden, sind die räumlichen Auswirkungen der damit verbundenen Maßnahmen und Implikationen weitestgehend unerforscht (BBSR 2022: 27 ff.). Im Folgenden werden der skizzierte Bedarf, die Berücksichtigung in planerischen Leitdokumenten sowie die räumlichen Auswirkungen intelligenter Städte theoretisch hergeleitet und dargestellt.

¹ Übersetzung nach ALBERS 1992: 5.

2.1.1 Stressoren urbaner Räume

Der Wandel unseres Klimasystems wird von vielen führenden staatlichen Akteur*innen und Expert*innen als „eine, wenn nicht die zentrale Herausforderung unserer Zeit“ (MERKEL 2021) betitelt und umfassend diskutiert (BBSR 2016: 9; SWP o. J.). Der Klimawandel als *ökologischer Stressor* wirkt sich auf vielfältige Art und Weise auf den urbanen Raum aus. Zu den Auswirkungen klimatischer Veränderungen gehören beispielsweise die Zunahme von Extremtemperaturen, Starkniederschlagsereignissen, Dürren oder Stürmen (DEUTSCHER STÄDTETAG 2019: 3). In den Städten ballen sich die entstehenden Risiken aufgrund einer Konzentration der Bevölkerung, Bebauungsstruktur sowie den wirtschaftlichen Aktivitäten. Mit der global zu beobachtenden weiteren Zunahme der urbanen Bevölkerung steigt auch die Zahl der Menschen und Objekte stetig an, die den wachsenden Klimarisiken ausgesetzt sind (VAN STADEN 2014: 4). Die Digitalisierung birgt ein elementares Potenzial, ökologisch nachhaltigere Entwicklungen voranzutreiben und die Auswirkungen des Klimawandels abzumildern (BMBF 2019: 5). Dabei werden die Aspekte Digitalisierung und Nachhaltigkeit jedoch häufig noch nicht ausreichend miteinander verschränkt (PETERSEN & RAUSCH 2021: 41). Die Digitalisierung leistet beispielsweise einen zentralen Beitrag der Wende zu einer regenerativen Energieversorgung (GOSSEN et al. 2021: 6), zur Ressourcen- und Emissionseinsparung, z.B. im Verkehrssektor (vgl. unten), zur Etablierung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft (WITTS & BERG 2017) oder zum flächendeckenden Ausbau umweltschonender Landwirtschaft (BMEL 2021)– um nur einige ausgewählte Aspekte zu nennen.

Als zweiten von GRASSL & GROß (2018) aufgeführten Stressor nimmt die global bis regional sehr unterschiedliche *demographische Entwicklung* eine weitere zentrale Rolle in der zukünftigen Entwicklungen des urbanen Raums ein. Der demographische Wandel stellt in Deutschland seit vielen Jahrzehnten einen zentralen Aspekt zukunftsorientierter Stadtplanung dar (ALBERS 1992: 265) und wirkt auf vielfältige Art und Weise auf unsere Städte ein (ZIMMER-HEGMANN 2011: 129). Die Bevölkerungsentwicklung und –verteilung in Deutschland gestaltet sich sehr heterogen und ist von vielfältigen Faktoren abhängig (HELD & WALTERSBACHER 2015: 7f.). Anders als in den vergangenen Jahren oft angenommen, prognostizieren aktuelle

Studien des BBSR eine weitestgehend stabile Bevölkerungsentwicklung in Deutschland bis 2040 (MARETZKE et al. 2021: 4). Aufgrund der lokal und regional sehr unterschiedlichen Auswirkungen demographischer Entwicklungen kann nicht von der einen, sondern vielmehr von multiplen und eng miteinander verwobenen demographischen Herausforderungen für den urbanen Raum gesprochen werden. Die Lösungsansätze digitaler Städte müssen daher eine Vielzahl möglicher Faktoren berücksichtigen und sollen vermehrt genutzt werden, um auch demographischen Herausforderungen zu begegnen (BBSR 2017: 10). Im Zentrum vieler digitaler Ansätze steht die fortschreitende Alterung der Bevölkerung. Eine alternde Bevölkerung stellt beispielsweise veränderte Anforderungen an den Gebäudebestand und deren Angebote, insbesondere den Wohnsektor (REICHER 2017: 283). So dürfte beispielsweise der Bedarf an kleineren (ALBERS & WÉKEL 2021: 176f.), barrierefreien (LAUZI 2019: 125) und zentraleren (REICHER 2017: 286) Wohnungsformen stetig steigen. Digitale Anwendungen bieten primär ein hohes Potenzial zur Förderung eines selbstbestimmten Lebens im Alter (BMFSFJ 2020: 8f.). Im Kontext der intelligenten und vernetzten Stadt bieten sogenannte Smart-Home-Ansätze vielversprechende Ausgangspunkte, um älteren Menschen ein einfacheres Leben in den eigenen vier Wänden zu ermöglichen. Smart Home-Ansätze adressieren z.B. die Fernüberwachung von Personen und Gebäuden und sorgen so für mehr Sicherheit (KÖRBER STIFTUNG 2021: 3ff.). Einer zunehmenden Anzahl an älteren Patient*innen kann mittels sogenannter Telemedizin ermöglicht werden, auch ohne engmaschige persönliche pflegerische Betreuung, länger in den eigenen Wohnungen zu leben (LAUZI 2019: 125). Auch ermöglichen digitale Ansätze die Wahrung der Möglichkeit gesellschaftlicher Teilhabe und Partizipation im Alter. An Gottesdiensten oder politischen Austauschrunden lässt sich mit digitalen Ansätzen von zuhause aus teilnehmen (KÖRBER STIFTUNG 2021: 8).

Die *Mobilität* ist als dritter Stressor eng mit der demographischen Entwicklung verbunden. Als ein menschliches Grundbedürfnis ist Mobilität seit jeher Treiber für Fortschritt und Wachstum (SCHMIDT & HELLALI-MILANI 2016: 20). Während Mobilität die Beweglichkeit, beziehungsweise die Befriedigung von Bedürfnissen durch Raumveränderung beschreibt, stellt der Verkehr das Instrument zu deren Umsetzung dar (BECKER et al. 1999: 71). Die Entwicklung unserer Städte ist dabei sehr eng mit der Ausgestaltung von

Mobilität und Verkehr verbunden (ANGERER & HADLER 2005: 152 ff). Die Ermöglichung von Mobilität führt aus Sicht des urbanen Raums jedoch auch zu einer Vielzahl negativer, insbesondere verkehrsverursacher, Implikationen für die Stadt und ihre Bewohner*innen. Anzuführen sind diesbezüglich beispielhaft die verkehrsinduzierten Treibhausgasemissionen (UMWELTBUNDESAMT 2022a), der Straßenverkehrslärm als die am störendsten wahrgenommene Lärmquelle (BMUV 2022: 32) oder die weiter wachsende Flächeninanspruchnahme durch Verkehrsräume (UMWELTBUNDESAMT 2022b). Besonders in urbanen Räumen stellt der hohe Platzbedarf des motorisierten Individualverkehrs ein drängendes Problem dar, welches durch die stetige Zunahme der Flächenkonkurrenz weiter an Bedeutung gewinnt (MANDERSCHIED 2021: 28). Die genannten exemplarischen Herausforderungen urbaner Räume, die sich aus dem aktuellen Mobilitätssystem ableiten lassen, zeigen, dass neue Lösungen im Sinne einer nachhaltigen und attraktiven Stadtentwicklung notwendig sind. Digitale Ansätze im Mobilitätsbereich werden seit vielen Jahren intensiv diskutiert. Dabei weist der umfassende Bereich urbaner Mobilität seit langer Zeit bereits einen hohen Grad an Digitalisierungsbestrebungen auf, beispielsweise im PKW und LKW (z.B. div. Fahrassistenzsysteme) oder dem öffentlichen Nahverkehr (adaptive Steuerung von Signalanlagen). Im Kontext der intelligenten Stadt entwickeln sich vermehrt vernetzte Anwendungen und daraus resultierende neue Angebote für die Teilnehmenden des Verkehrssystems. Zu den Elementen einer smarten Mobilität zählen etwa Echtzeit-Verkehrsinformationen, nachfragegesteuerte Verkehrsangebote und –dienste, Sharingangebote, automatisierte bis autonome Fahrzeuge, individualisierte öffentliche Verkehrsmittel oder gar die Ermöglichung neuer Antriebsformen der Fortbewegung (BECKMANN 2018: 13).

Eine weitere drängende Herausforderung urbaner Räume, die eng mit den anderen hier vorgestellten Stressoren verbunden ist, stellt die zunehmende *Ressourcenknappheit* dar. Ressourcenknappheit bezeichnet dabei übergeordnet divergierende Mängel unterschiedlicher Ressourcen. Es ist anzunehmen, dass sich etwa die Konkurrenz um die Ressource Stadtraum, durch digitale Ansätze, beispielsweise die autonome Mobilität, verändern beziehungsweise zunehmen wird (BRUCK & SOTEROPOULOS 2021: 10 f.). Die

Coronapandemie der vergangenen Jahre beschleunigt dabei die bereits zuvor wahrnehmbare Veränderung der Flächennachfrage (JUST & PLÖBL 2021: 13). Neben der Ressource Stadtraum kann auch der Mangel anderer Ressourcen als Stressor der urbanen Entwicklung wirken. Aktuelle Beispiele der Energieknappheit seit Beginn des Kriegs in der Ukraine zeigen beispielsweise die starke Abhängigkeit von fossilen Energieträgern auf (BNETZA 2022a). Auch die Baumaterialien zur Weiterentwicklung und für den Erhalt urbaner Strukturen werden knapper. Das ifo-Institut ermittelt, dass im Jahr 2022 circa die Hälfte der befragten Hoch- und Tiefbauunternehmen von einer Materialknappheit betroffen waren (IFO INSTITUT 2022). Digitale Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz und damit der Verringerung der Auswirkungen von Ressourcenknappheit werden dabei häufig als wichtiger Baustein einer nachhaltigeren Zukunft propagiert. Besonders die Vorteile für Unternehmen stehen dabei oft im Fokus von Untersuchungen (INSTITUT DER DEUTSCHEN WIRTSCHAFT KÖLN 2021; SCHEBEK et al. 2017). Aus der Perspektive des urbanen Raums lässt sich mithilfe der Digitalisierung eine breite Auswahl an Ansätzen umsetzen, um verschiedene Ressourcen einzusparen. Ansätze des Smart Parkings ermöglichen beispielsweise die effizientere Nutzung begrenzter kommunaler Flächen (ANKE & SCHOLLE 2016: 183). Neue und digital unterstützte Formen der Produktion können zu einem geringeren Flächenanspruch führen und sich so für neue Flächenkonzepte anbieten (MATT et al. 2014; MÜHL et al. 2019). Künstliche Intelligenz erlaubt im Energiesektor den Einsatz mehrwertstiftender Ansätze, um die Netzstabilität zu gewährleisten und somit die Dezentralisierung durch regenerative Energiesysteme mithilfe autonomer Steuerung, Analyse und Verteilung effizienter zu gestalten und fossile Energieträger sukzessive zu ersetzen (HERWEIJER et al. 2018: 12; JETZKE et al. 2019: 26f.). Neben dem Management von Energienetzen lassen sich durch die Digitalisierung auch Energieverbräuche reduzieren. Intelligente und mit Sensoren ausgestattete Beleuchtungssysteme von Laternen ermöglichen beispielsweise eine bedarfsgerechte Steuerung der Straßenbeleuchtung. Mittels intelligenter Beleuchtungssysteme lässt sich der Energieverbrauch um bis zu 50% reduzieren (PALMER & GIBBONS 2021: 496f.). Ergänzend zu den Effizienzpotenzialen im Energiesektor ermöglicht die Digitalisierung beispielsweise ebenfalls Effizienzgewinne im Bereich der Wasserversorgung

(Smart Water Management) (FASEL 2017: 17; DRECHSLER 2019: 416), der Entsorgungswirtschaft (Smart Waste Management) (AAZAM et al. 2016: 190 ff.) oder der Schadstoffüberwachung (GHONEIM & HAMED 2019). Möglich werden diese Effizienzgewinne im Kontext intelligenter Städte oft durch die massenhafte digitale Vernetzung von physischen und digitalen Objekten, dem Internet der Dinge (eng: Internet of Things, IoT) (WORTMANN & FLÜCHTER 2015: 221f.).

Zusammenfassend kann dem gegebenen kompakten Überblick urbaner Stressoren entnommen werden, dass Städte vor einer Vielzahl an Herausforderungen stehen. Digitale Ansätze stellen einen wichtigen Bestandteil in der Adressierung dieser Herausforderungen dar und dürften zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen.

2.1.2 Digitalisierungsbestrebungen in planerischen Leitdokumenten

Wie im vorherigen Unterkapitel kompakt aufgezeigt, existiert eine Vielzahl von Ansätzen, welche die Probleme urbaner Räume durch den vermehrten Einsatz innovativer Technologien zu adressieren versucht. Damit die aufgezeigten Lösungsansätze in bestehende Strukturen eingebettet werden können, ist eine strategische Berücksichtigung ebenjener notwendig. Im Kontext der Stadtplanung wird der Bedarf an digitalen Lösungen zunehmend in planerischen Leitdokumenten, von der lokalen bis hin zur globalen Stadtentwicklungspolitik, aufgenommen. An dieser Stelle wird ein kurzer Überblick über die geforderten digitalen Ansätze in verschiedenen stadtentwicklungspolitischen Leitdokumenten sowie deren Einordnung in das strategische Rahmenwerk gegeben.

Die *Neue Leipzig-Charta* (BBSR 2021) als Leitdokument zukunftsweisender Stadtentwicklungspolitik für Deutschland und Europa adressiert die aktuellen urbanen Herausforderungen durch eine vermehrte Stärkung des Gemeinwohls. Als explizites Querschnittsthema benennt die Neue Leipzig-Charta die Digitalisierung der Stadt mit Berührungspunkten zu allen Dimensionen der nachhaltigen Stadtentwicklungspolitik. Um die Digitalisierung als Chance aufnehmen zu können, muss ebenjene aktiv gestaltet werden (BBSR 2021). Auf die Wichtigkeit des Aufzeigens von

Chancen und Herausforderungen von intelligenten Städten wirkt auch die *Initiative Nationale Stadtentwicklungspolitik* als Gemeinschaftsinitiative der kommunalen Spitzenverbände, dem Bund und der Länder hin. Dabei zielt auch sie unter anderem auf die Positionierung der Digitalisierung als Querschnittsthema der Stadtentwicklungsplanung ab. Diese Bestrebungen gilt es jeweils in lokalspezifischen Smart-City-Strategien weiterzuentwickeln und anzuwenden (BMI o. J.). Nach AMTMANN et al. (2022: 28f.) kann die Aufstellung einer Smart City-Strategie im Rahmen eines Prozesszyklus in fünf idealtypische Arbeitsschritte unterteilt werden; die *Bestandsanalyse*, die *Strategieprozessplanung*, die *Definition von Visionen und Zielen*, die *Bestimmung von Handlungsfeldern* sowie die *Ideengenerierung*. Die Schritte können im Kontext der Weiterentwicklung der Strategie kontinuierlich wiederholt werden.

Auch Rahmenwerke mit globalerer Perspektive zielen auf die zunehmende Digitalisierung urbaner Räume ab. Im Rahmen der *New Urban Agenda*, als zentralem Ergebnis der Habitat III-Konferenz der UN, verpflichten sich die Unterzeichner*innen zu einem Konzept der *intelligenten Stadt* mit dem die aus der Digitalisierung erwachsenen Chancen genutzt werden, um Bewohner*innen urbaner Räume nachhaltige Lebensbedingungen zu ermöglichen (UNITED NATIONS 2017: 19). Die 2016 veröffentlichte *Urban Agenda* der EU fungiert als neuer mehrerebenen Ansatz der Kooperation der EU-Mitgliedsstaaten, um innovative und lebenswerte Städte in Europa zu fördern (EUROPEAN UNION 2016: 8 ff.).

Aufbauend auf den vier genannten Leitdokumenten und Initiativen (*Leipzig Charta*, *New Urban Agenda*, *Nationale Stadtentwicklungspolitik*, *Urban Agenda der EU*) veröffentlicht das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) 2017 die in einem breit angelegten Dialogprozess entstandene Smart City Charta als Leitlinie nachhaltiger digitaler Transformation für Kommunen in Deutschland (BBSR 2021). Diese müssen demnach ihre Rolle zukünftig nicht nur als Akteure der Stadtentwicklung, sondern zusätzlich auch als Akteure der Digitalisierung verstehen. Neben Städten, Kreisen und Gemeinden adressiert die Charta auch Akteure der Forschung, Wirtschaft und Zivilgesellschaft. Um die Transformation in Richtung intelligenter Städte nachhaltig auszugestalten, schlägt die Charta vier Leitlinien vor. So benötigen intelligente Städte:

- eine klare Strategie und ein strategisches Ziel,
- die Möglichkeit der Partizipation und Teilhabe,
- die Infrastruktur, Daten und Dienstleistungen sowie
- die notwendigen Ressourcen, Kompetenzen und Kooperationen (BBSR 2017: 9f.).

Der Blick auf die planerischen Leitlinien zeigt, dass der Bedarf an intelligenten Lösungen in der Stadtplanung durchaus Einzug in die Leitdokumente findet und damit eine breitangelegte Verteilung erfährt. Die Ansätze bleiben dabei jedoch weitestgehend unkonkret hinsichtlich der Ausgestaltung von Maßnahmen und den Implikationen für die Planung und den urbanen Raum.

2.1.3 Räumliche Auswirkungen der Digitalisierung in Deutschland

Nach der Darstellung drängender Herausforderungen urbaner Räume und passenden digitalen Lösungsansätzen sowie der bisherigen Berücksichtigung digitaler Lösungen in stadtentwicklungspolitischen Leitdokumenten, wird nun der Fokus auf die räumlichen Auswirkungen digitalunterstützter Maßnahmen gelegt. Dabei kann übergeordnet festgestellt werden, dass die räumlichen Auswirkungen der Digitalisierung auf deutsche Städte bisher weitestgehend unerforscht sind (ARL 2022: 3; SOIKE et al. 2019: 7). Als räumliche Wirkungen werden in diesem Zusammenhang *„jene Wirkungen, die sich im physisch-materiellen Raum durch Funktionswandel oder durch Veränderungen in der Flächennutzung bzw. durch Veränderungen des Verhaltens im Raum bemerkbar machen“* (BBSR 2022: 8) definiert. Die Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft (ARL) erkennt das signifikante Potenzial zur Raumwirksamkeit der Digitalisierung und fordert eine aktivere räumliche Steuerung in der Regionalplanung (ARL 2022: 2). Auf den Ebenen der Regional- und Stadtentwicklungsplanung können bereits erste Ansätze zur Untersuchung der räumlichen Auswirkungen der Digitalisierung identifiziert werden. Die Betrachtung der Auswirkungen der Digitalisierung auf die konkrete physische Gestalt des Stadtraums konnte bisher nicht ausgemacht werden.

Die Gründe für das fehlende Wissen zu der Raumwirksamkeit sind auch auf eine begrenzte Auswertung von experimentellen Digitalisierungsprojekten

zurückzuführen. Die Auswertung erfolgt bisher in der Regel ohne die Feststellung ihrer physisch-räumlichen Auswirkungen (BBSR 2022: 27). Aktuell liegt der Fokus der Evaluierung von Digitalisierungsprojekten auf Umsetzungsprozessen der Governance-Ebene sowie der Erprobung neuer Technologieanwendungen. Begrenzte Kapazitäten und bestehende Förderregularien zur Projektauswertung unterstützen derzeit nicht die Aufnahme räumlicher Auswirkungen der Digitalisierungsprojekte. Hinzu kommen die aktuell limitierten Wirkungsbereiche von Pilotprojekten, aus welchem sich nur schwer allgemeingültige Aussagen zu Stadtentwicklungsprozessen ableiten lassen (BBSR 2022: 27f.). Um zukünftig die räumlichen Aspekte von Projekten der intelligenten Stadt besser evaluieren zu können, schlägt das BBSR vor, die Aspekte *Ortsbild*, *Denkmalschutz* und *Räumliche Entwicklungspläne* in die Bewertung von Projekten zukünftig mit einfließen zu lassen (BBSR 2022: 30).

Während der Bedarf neuer digitaler Ressourcen klar kommuniziert wird, liefern die zuvor vorgestellten Leitdokumente und Pilotprojekte keine Ansätze, wie die benötigten neuen Infrastrukturen als Grundlage intelligenter Lösungen zukünftig in den urbanen Raum integriert werden sollen. Die *Neue Leipzig-Charta* fordert neben Digitalisierungsbestrebungen z.B. qualitativ hochwertige, an menschlichen Bedürfnissen orientierte und partizipative öffentliche Räume als Orte des Austausches, der Integration und Begegnung (BBSR 2021: 3,12). Es liegt daher nahe, dass auch die physische Gestalt und die Art der urbanen Integration neuer digitaler Infrastrukturen im Rahmen zukünftiger Stadtentwicklung berücksichtigt werden sollte.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die drängenden urbanen Probleme besonders nach neuen, digitalen Lösungen verlangen. Zentrale Leitdokumente der Stadtentwicklungspolitik positionieren die Digitalisierung als zentrales Querschnittsthema zukünftiger Stadtentwicklung. Es kann jedoch auch festgestellt werden, dass die physisch-räumlichen Auswirkungen von Digitalisierungsbestrebungen im urbanen Raum aktuell nur sporadisch untersucht werden. Insbesondere die direkten Auswirkungen auf den bebauten Raum werden bisher nicht näher betrachtet.

2.2 Von Smart Cities und ihren Infrastrukturen

Die im vorherigen Kapitel ausgemachten benötigten Lösungsansätze zur Digitalisierung unserer Städte werden oft unter dem Konzept der Smart City subsummiert. Der Begriff der Smart City, als in der Regel technologiezentrierter Ansatz einer digitalen Transformation von urbanen Räumen, ist heute weit verbreitet in der gesellschaftlichen Diskussion zur Zukunft unserer Städte. Ein Blick in die reichhaltige wissenschaftliche Literatur zu intelligenten Städten zeigt dabei, dass bisher keine allgemeingültige Definition sowie Zieldimension für das Konzept der Smart City existiert (CUGURULLO 2018: 113; LIBBE 2018: 431). Im Rahmen dieser Arbeit wird die Smart City übergeordnet nach LIBBE (2014) als *„eine Stadt, in der durch den Einsatz innovativer [...] Technologien intelligente Lösungen für ganz unterschiedliche Bereiche der Stadtentwicklung [...] erzielt werden“* (LIBBE 2014: 2) verstanden. Im folgenden Unterkapitel wird die Entstehung und Diskussion zur Smart City in Kürze dargestellt. Anschließend werden die benötigten materiellen Komponenten neuer Smart City-Ansätze vorgestellt und eingeordnet.

2.2.1 Divergierende Smart City-Verständnisse

Der allgegenwärtige Begriff der Smart City dürfte bei den meisten in Industrienationen lebenden Personen ein mehr oder weniger konkretes, meistens futuristisch geprägtes Bild einer Zukunftsstadt im Kopf erzeugen. Gesellschaftliche und ökologische Probleme sind hier durch den Einsatz neuer Technologien gelöst. Dabei existiert weder eine einheitliche Definition oder Vision, noch ein gemeinsames Zielbild für die intelligente und vernetzte Stadt der Zukunft (CUGURULLO 2018: 113; LIBBE 2018: 431). In der Literatur existiert eine Bandbreite an verschiedenen Definitionen und Konzepten einer *smart*, *intelligent* oder *digital City*. Dabei werden die genannten Adjektive in manchen Konzepten synonym, in anderen als jeweils abgrenzbares, divergierendes Konzept verwendet (GAFFNEY & ROBERTSON 2016: 47).

Das sich heute vermehrt durchgesetzte Adjektiv *smart* zur Betitelung zukunftsweisend und technologiezentriert aufgestellter Städte ist auf den *Smart Growth Ansatz* zurückzuführen. Dieser wurde vor allem in den späten

1990er Jahren im US-amerikanischen Raum als Lösungsansatz gegen die stetig voranschreitende Zersiedlung wachsender Städte propagiert (GAFFNEY & ROBERTSON 2016: 47). Unter dem *Smart Growth* Ansatz werden verschiedene Konzepte und Strategien verstanden, die eine weitere Ausbreitung von Wohngebieten verhindern und dafür dichtere und sozial sowie ökonomisch gemischtere Bezirke schaffen sollten (GRAY-O'CONNOR 2009: 89). Die Smart City ist heute eng mit anderen Stadtentwicklungskonzepten, insbesondere der nachhaltigen Stadt, auch *Green-City* oder *Eco-City*, verbunden (LIBBE 2018: 433). MOSANNENZADEH et al. (2017: 57) sehen die Smart City gar als einen elementaren Bestandteil der nachhaltigen Stadt. Neben den konzeptionellen Überschneidungen zum Ansatz der nachhaltigen Stadt können ebenfalls Überlappungen zu den teilweise synonym genutzten Begriffen der *Digital City* (ISHIDA & ISBISTER 2000), der *Intelligent City* (KOMNINOS 2006) oder der *Ubiquitous City* (LEE et al. 2008) sowie vielen weiteren Ansätzen identifiziert werden (LIBBE 2018: 434f.).

In den frühen 2000er Jahren wurde vermehrt das aufkommende Konzept der Smart City losgelöst vom Smart Growth Ansatz im urbanen Kontext von vielen Akteuren und Initiativen verwendet - in der Regel ohne gemeinsame wissenschaftliche Definition. Die rapide steigende Anzahl und Größe globaler Megacities und damit verbundene Probleme bedurften neuer Lösungsansätze, um die Lebensbedingen im urbanen Raum langfristig zu erhalten (CHOURABI et al. 2012: 2289). Neben der Adressierung dieser globalen Herausforderungen beinhaltet das Konzept der Smart City seit dessen Aufkommen in den allermeisten Definitionen die Erkenntnis, dass neue Technologien einen Grundstein zur Lösung urbaner Herausforderungen darstellen (GAFFNEY & ROBERTSON 2016: 48).

Das bis heute fehlende einheitliche Verständnis einer Smart City macht das Konzept anfällig für Fehldeutungen. CHOURABI et al. (2012: 2290) weisen auf die Vielzahl unterschiedlicher Smart City-Ansätze und deren Zielsetzungen hin. Dabei kann übergeordnet zwischen zwei Zieldimensionen unterschieden werden. In jene Ansätze, welche den Fokus auf durch Technologie realisierbare Optimierungsmöglichkeiten legen und in eher holistische Ansätze, welche die urbane Bevölkerung und ihre vorwärts gerichtete

Planung in den Mittelpunkt der eigenen Strategie stellen (GRASSL & GROß 2018: 25). GRASSL & GROß (2018: 25) weisen darauf hin, dass erstgenannter Ansatz durchaus auch als Bestandteil des zweiten Ansatzes verstanden werden kann. Während die Ansätze mit einer technischen Fokussierung in der Regel eine greifbare Zukunft zeichnen, fehlt diesen häufig die Vision, zu welchem gesellschaftlichen Zweck die Technologisierung durchgeführt werden soll. Den Ansätzen mit einem gesellschaftlichen Fokus ist in der Regel eine solche Vision zu entnehmen, doch fehlt ihnen dabei oft das Unterscheidungsmerkmal zu anderen kommunalen Entwicklungsplänen und eine konkrete Umsetzungsstrategie (GAFFNEY & ROBERTSON 2016: 47f.).

Neben der Einteilung von Smart City-Ansätzen gemäß ihrer inhaltlichen Ziele, lassen sich diese auch chronologisch gemäß ihrer Entstehung und ihren Treibern abgrenzen. COHEN (2015) und darauf aufbauend GORYNSKI et al. (2021) teilen die unterschiedlichen Ansätze der Smart City in vier Phasen ein. Die frühen Ansätze der Smart City 1.0 sind primär durch Technologieunternehmen getrieben. In der darauf aufbauenden Smart City 2.0 stellen dagegen Kommunen die Kernakteure dar, die Entwicklungen gezielt anstoßen und begleiten. Die aktuell modernen und zunehmend verfolgten Ansätze der Smart City 3.0 stellen vermehrt die Bürgerinnen und Bürger in das Zentrum der Aktivitäten und werden von Kommunen lediglich moderiert (COHEN 2015; GORYNSKI et al. 2021: 166f.). Zukünftig wird der Ansatz eines digitalen Ökosystems Stadt die nächste Phase, die Smart City 4.0, prägen. Das auch als *City-as-a-platform* betitelte Konzept sammelt und kumuliert dabei Daten auf zentralen Plattformen und soll so die präzise Planung und Verwaltung unserer Städte ermöglichen (GORYNSKI et al. 2021: 166f.). *Abbildung 3* zeigt die dargestellten Phasen der Smart City. Neben den dargestellten Unterscheidungsmerkmalen kann eine Vielzahl weiterer und hier nicht näher vorgestellter Unterteilungsansätze ausgemacht werden.

Das fehlende einheitliche Verständnis lädt seit jeher Städte und Technologieunternehmen ein, sich selbst als Smart City(-Treiber*in) zu betiteln, ohne die eigenen Ziele und Methoden genau darzulegen und so falsche Hoffnungen und Erwartungen zu kreieren (ALLWINKLE & CRUICKSHANK 2011: 3; HOLLANDS 2008: 304ff.). Die fehlende einheitliche Definition von Smart City hat zur Folge, dass auch die Zusammensetzung

der involvierten Akteure, je nach Verständnis, variiert. In vielen Ansätzen stellen Verwaltung, Politik, Wirtschaft sowie die Wissenschaft im Zusammenspiel mit der Zivilgesellschaft die zentralen Akteure von intelligenten Städten und deren Weiterentwicklung dar (KOCH 2021: 156f.; KÜFFMANN 2020: 5).

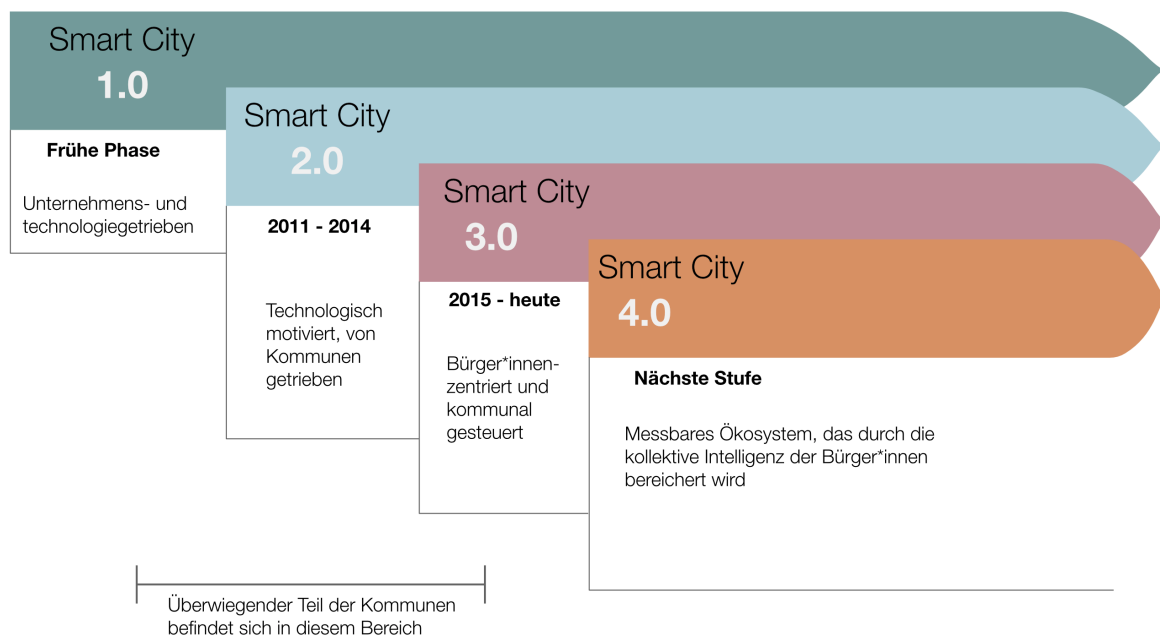


Abbildung 3 Die Entwicklungsgenerationen der Smart City
Eigene Darstellung nach GORYNSKI & MIKOLAJCZK 2019: 8

Während das schwer definierbare Konzept der Smart City medial und von Seiten involvierter Technologieentwickler*innen und –anbieter*innen in der Regel als genereller Lösungsansatz mannigfaltiger urbaner Probleme dargestellt wird (z.B. CISCO SYSTEMS 2014; IDC GOVERNMENT INSIGHTS 2016; SIEMENS AG 2016), erfährt die Kritik an der Smart City-Utopie oft weniger Beachtung. Die Hauptkritik adressiert vornehmlich die starke Abhängigkeit von Technologieunternehmen sowie die bisher noch meist fehlende Berücksichtigung lokaler Perspektiven. So warnt beispielsweise ROCHET (2018: 3ff.) vor einer falschen Annahme, komplexe urbane Probleme mittels Algorithmen lösen zu können, einer fehlenden Berücksichtigung der Perspektive und den Bedürfnissen der lokalen Bevölkerung sowie einer starken Abhängigkeit von Technologieunternehmen, die kein Interesse an einer dauerhaften Lösung

urbaner Probleme haben. Die Analyse von GAFFNEY & ROBERTSON (2016) am Beispiel der Smart City Rio de Janeiro unterstützt die Kritik von Rochet. So lösen die zur Fußballweltmeisterschaft 2014 angeschafften Smart City-Systeme in Rio beispielsweise keine grundlegenden Probleme, wie eine fehlgeleitete Stadtplanung, starke Ungleichheit verschiedener Bevölkerungsgruppen oder unzureichende Governance-Strukturen, sondern führen zu Effizienzsteigerungen in bereits privilegierten Quartieren (GAFFNEY & ROBERTSON 2016: 59f.). Die Vielzahl neuer überwachender und regulierender Technologien ermöglicht nicht nur eine erhöhte Effizienz und Nachhaltigkeit, sie macht eine Stadt und ihre Bürger*innen auch verwundbarer. Insbesondere das Recht auf Privatsphäre wird durch die Vielzahl neuer Sensoren, Schnittstellen sowie der Datenverarbeitung durch privatwirtschaftlich handelnden Unternehmen gefährdet (LAUZI 2019: 132). Trotz berechtigter Kritik an ihrer Ausgestaltung, wird die Smart City vielfach als ein zentraler Bestandteil gesehen, um den vielfältigen Herausforderungen urbaner Räume perspektivisch zu begegnen (z. B. ROCHET 2018: 188f.).

2.2.2 Infrastrukturen als zentraler Bestandteil urbaner Entwicklungen

Nach ihrem Wortsinn bezeichnen Infrastrukturen allgemein den Unterbau oder das Darunterliegende (FOLKERS 2012: 154). Die genaue Definition von Infrastrukturen variiert jedoch mit der Betrachtungsebene und dem eigenen fachlichen Hintergrund. SCHMIDT & MONSTADT (2018) beschreiben Infrastrukturen beispielsweise als *„Einrichtungen und Anlagen, die nicht nur individuelle, sondern auch kollektive Nutzeneffekte aufweisen und die Einfluss auf die wirtschaftliche Entwicklung, das soziale Zusammenleben sowie die ökologisch-nachhaltige Entwicklung eines Raumes haben“* (SCHMIDT & MONSTADT 2018: 976). Klassischerweise steht die ökonomische Perspektive im Zentrum infrastruktureller Betrachtungen. Neuere Ansätze wie MATERN (2017) oder MÜLLER et al. (2017) plädieren jedoch für einen deutlich umfangreicheren Blick auf die Thematik der Infrastrukturen und nehmen auch die Wechselwirkungen technischer Objekte mit der sozialen Welt in den Fokus ihrer Untersuchungen. Diese Auffassung soll auch im Verlauf der Arbeit im Vordergrund des Infrastrukturverständnisses stehen.

Die Entwicklungen von Raum- und Infrastrukturen sind seit jeher durch eine enge Koevolution geprägt (MATERN 2017: 23). Infrastrukturen sind weitreichend in den urbanen Raum eingebettet und ihre Funktionen stellen elementare Säulen des gesellschaftlichen Lebens dar (MONSTADT 2009: 1924). GRAHAM & MARVIN (2008: 40f.) legen dar, dass der Infrastrukturausbau maßgeblich den Charakter unserer Städte geprägt hat und die moderne Stadtentwicklung anhand des Ausbaus sowie der Weiterentwicklung von Infrastrukturen rekonstruiert werden kann. Sowohl das Beispiel Haussmanns Paris-Umgestaltung als auch die Umsetzung des Hobrecht-Plans in Berlin im 19. Jahrhundert verdeutlicht die zentrale Rolle von technischen Großinfrastrukturprojekten in städtischen Wachstumsphasen und planerischen Leitbildern, die bis heute erkennbar Stadtstrukturen prägen (HAUCK & KLEINEKORT 2011: 10f.; MATERN 2017: 29). Im Rahmen des Wiederaufbaus in Europa wurde das Leitbild der Moderne und der damit verbundenen Funktionstrennung auch im Rahmen des Infrastrukturausbaus umgesetzt (KAMLEITHNER 2013: 255). Abseits städtebaulicher Leitbilder führte auch die zunehmende standardisierte Infrastrukturversorgung im Rahmen der raumplanerischen Praxis der Nachkriegszeit zu immer einheitlicheren Großinfrastrukturen in Deutschland, mit dem Ergebnis, dass die urbane Integration dieser Infrastrukturen zunehmend vernachlässigt und der Fachplanung überlassen wurde (MATERN 2017: 30ff.). Dabei ist das Wachstum von Städten bis heute eng an den Ausbau technischer Infrastrukturen geknüpft (MATERN 2017: 24).

Der übergeordnete Sammelbegriff der Infrastrukturen im urbanen Kontext unterteilt sich üblicherweise in *soziale Infrastrukturen* und *technische Infrastrukturen*. Als soziale Infrastrukturen werden beispielsweise das Bildungs- oder Gesundheitswesen bezeichnet. Technische Infrastrukturen werden noch einmal in Verkehrssysteme (z.B. Straßen, Schienen), Ver- und Entsorgungssysteme (z.B. Energie, Wasser) und Informations- und Kommunikationssysteme (z.B. Telefon, Internet) unterteilt (SCHMIDT & MONSTADT 2018: 976).

Heute nehmen die vergleichsweise neuen *digitalen Infrastrukturen* eine immer wichtigere Position ein. Dabei wird der Begriff der *digitalen Infrastrukturen* unterschiedlich interpretiert. Während etwa MÜLLER et al. (2017: 6)

„Programme“ als digitale Infrastruktur verstehen, die auf dem Laptop oder Smartphone installiert sind und Informationen für die Nutzer*innen liefern, definieren OBERMANN & WEIß (2016: 165) digitale Infrastruktur als technische Grundeinrichtungen der Informations- und Kommunikationsinfrastruktur, die für digitale Informationen und Anwendungen notwendig sind, beispielsweise Rechenzentren oder Telekommunikationsnetze. In dieser Arbeit wird auf letztere Definition zurückgegriffen und die digitalen Infrastrukturen unter den technischen Infrastrukturen subsummiert. Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier schrieb den digitalen Infrastrukturen im Rahmen seiner Rede zur Veranstaltung *Land in Sicht* mehr zu, als nur Daseinsvorsorge zu sein, vielmehr handle es sich um eine „Dableibevorsorge“ (STEINMEIER 2019). Die Bundesregierung versucht den Infrastrukturausbau und die Schaffung gleichwertiger Digitalbedingungen mit erheblichen Förderungen zu unterstützen (BMI 2019: 14). Die Art und Weise, sowie der Erfolg der vergangenen und aktuellen Förderungen, werden dabei regelmäßig in Frage gestellt (z.B. DELHAES & NEUERER 2021; HENSELER-UNGER 2018). Besonders durch die Coronapandemie kommt der digitalen Infrastruktur eine stark wachsende Bedeutung, insbesondere für die Wirtschaft, zu (KINDSMÜLLER 2021). Der nachfolgenden *Abbildung 4* kann ein Überblick über die verschiedenen Infrastrukturtypen entnommen werden.

Soziale Infrastruktur	Technische Infrastruktur
Bildungswesen Gesundheitswesen Kultureinrichtungen Sozialeinrichtungen Öffentliche Verwaltung und Sicherheit Erholungs-, Freizeit und Sporteinrichtungen	Verkehrssysteme (Straßen, Schienen, Luft-, Schiffsverkehr)
	Ver- und Entsorgungssysteme (Energie, Wasser, Abwasser, Abfall)
	Informations- und Kommunikationssysteme (Telefon, Internet, Rundfunk und Fernsehen)
	Digitale Infrastrukturen (Digitale Komponenten IuK-Systeme)

Abbildung 4 Unterteilung Infrastrukturen
Eigene Darstellung ergänzt nach SCHMIDT & MONSTADT 2018: 976

CUCUZZELLA & GOUBRAN (2019: 8f.) unterscheiden Infrastrukturprojekte hinsichtlich ihrer Wirkung auf den urbanen Raum. Sie unterteilen zwischen „major“ und „light“-Projekten und divergierenden städtischen

Auswirkungen. Als „major Infrastructure“, hier Hauptinfrastruktur genannt, werden Infrastrukturen verstanden, die übergeordnet neue Funktionen ermöglichen. Dazu zählen die Autor*innen vor allem stadtprägende Infrastrukturen wie Brücken, Schnellstraßen oder Häfen. „Light Infrastructure“, hier unterstützende Infrastrukturen genannt, zielen hingegen auf die Verbesserung sowie Aufrechterhaltung bestehender Anwendungen, Infrastrukturangebote und Aufenthaltsqualitäten ab. Hierunter werden im Rahmen dieser Arbeit auch Mobilfunkinfrastrukturen subsummiert, die im weiteren Verlauf der Arbeit im Zentrum der Untersuchung stehen. Im Folgenden werden ausschließlich die unterstützenden Infrastrukturen näher betrachtet, deren physisch-materiellen Auswirkungen sich primär auf die direkte räumliche Umgebung der Infrastrukturen konzentrieren.

2.2.3 Infrastrukturen der Smart City

Um die in Kapitel 2.1 dargestellten Mehrwerte intelligenter Städte technisch realisieren zu können, benötigen Smart Cities neue, bisher in der Regel nicht vorhandene Infrastrukturen. Diese können gemäß der im vorherigen Kapitel vorgestellten Unterteilung den technischen, beziehungsweise digitalen Infrastrukturen zugeordnet werden. Die Infrastrukturen einer Smart City ermöglichen beispielsweise das Sammeln sowie das Verarbeiten von zahlreichen Datenquellen der Stadt. Schaffung und Aufbau von Infrastrukturen für die digitale Transformation von Städten identifiziert die Smart City Charta des BBSR als eine der vier zentralen Leitlinien für Smart Cities (BBSR 2017: 10). Viele deutsche Städte sind dieser Leitlinie gefolgt und haben die Schaffung, beziehungsweise den Aufbau von Smart City-Infrastrukturen präsent in ihre eigenen Digitalisierungsstrategien aufgenommen (z.B. HANSESTADT LÜBECK 2020: 7; STADT RAVENSBURG 2019: 23).

Um die neuen Smart City-Anwendungen in unsere Städte zu bringen, bedarf es unterschiedlicher Arten von Infrastrukturen. FAKHIMI et al. (2021: 20 ff.) identifizieren in ihrer Metastudie die Smart City-Infrastrukturen als elementare Säulen intelligenter Städte. Sie unterteilen die Smart City-Infrastrukturen in drei eigenständige Kategorien:

1) Die *smart society infrastructures*, welche direkte digitale Angebote, in der Regel für Bürgerinnen und Bürger, darstellen. Die zu dieser Kategorie zählenden Angebote beinhalten beispielsweise digitale (Weiter-) Bildungsangebote, die Bereitstellung von eGovernment-Services, die Abwicklung digitaler Geschäftsprozesse oder die Inanspruchnahme digitaler Gesundheitsüberwachung.

2) Unter den *smart physical infrastructures* werden neue Ansätze und Weiterentwicklungen bestehender physischer Infrastruktursysteme subsummiert. Zu den Ansätzen zählen beispielsweise die oben dargestellten Angebote des intelligenten Energiemanagements, ein intelligentes Verkehrssystem, BIM's oder Maßnahmen zum Katastrophenschutz.

3) Als abschließenden und in der näheren Vergangenheit mit vielen Investitionen aufgebauten Bereich identifizieren die Autoren *smart digital infrastructures*. Diese Infrastrukturen bauen digitale Kapazitäten auf und ermöglichen die so wichtige breitangelegte digitale Vernetzung innerhalb einer Smart City. Die *smart digital infrastructures* unterteilen sich in Smart Networks, Smart Data, Smart Sensors und Smart Communications. Zu diesen Infrastrukturen gehören z.B. digitale Netzwerke und Dashboards, Schadstoffsensoren oder Kommunikationsinfrastrukturen (FAKHIMI et al. 2021: 22 ff.).

Eine zum Teil sich überschneidende Definition für Infrastrukturen von Smart Cities liefern BOWERS et al. (2017: 2). Sie definieren *smarte Infrastrukturen* als das Resultat der Kombination von physischen und digitalen Infrastrukturen, welche eine bessere, schnellere und günstigere Entscheidungsfindung ermöglichen. Es können dabei sowohl neue smarte Infrastrukturen geschaffen oder bestehende physische Infrastrukturen durch digitale Komponenten ertüchtigt werden. Aufgrund der fehlenden allgemeingültigen Definition einer Smart City, lässt sich auch der Begriff der Smart City-Infrastruktur nicht eindeutig zuordnen (FAKHIMI et al. 2021: 17). Im Rahmen dieser Arbeit wird unter dem Begriff der *Smart City-Infrastruktur* ein breites Spektrum an unterstützenden technischen Infrastrukturen für intelligente Städte verstanden. Das Verständnis leitet sich sowohl aus dem Infrastrukturansatz von FAKHIMI et al. 2021 (1) als auch aus der vorgestellten

Definition von BOWERS et al. (2017) (2) ab. Als Smart City-Infrastrukturen werden jene Infrastrukturen verstanden, die in ihrer primären Funktion zum Aufbau, zum Betrieb, zur Kommunikation und zur Weiterentwicklung intelligenter Städte einen signifikanten Beitrag leisten (1) und welche, zumindest mittelbar, eine physisch-materielle Komponente in den urbanen Raum einbringen (2). Die verwendete Definition ist dabei bewusst umfassend gewählt, um möglichst viele unterstützende Infrastrukturen unter ihr subsumieren zu können. Die Einordnung als Smart City-Infrastruktur ist dabei nicht monofunktional zu interpretieren. Neben ihrer Klassierung als Smart City-Infrastruktur kann diese auch anderen Ansätzen und Systemen zugeordnet werden.

Für den weiteren Verlauf der vorgelegten Arbeit stellt die materielle, raumwirksame Komponente der Smart City-Infrastrukturen den Kernaspekt der Forschung da. Dabei können die vorgestellten Infrastrukturen in vielerlei Hinsicht eine materielle und raumrelevante Ausprägung aufweisen. Auch wenn unsere Welt immer digitaler wird, so benötigen die Smart City-Infrastrukturen in der Regel Komponenten, die in die physische Welt integriert werden müssen. Das können kleine, oftmals für die Bürger*innen ohne großen Aufwand unsichtbar platzierbare Infrastrukturen, wie Sensoren, beispielsweise für ein intelligentes Müll-Management, sein. Die Smart City-Infrastrukturen können allerdings auch einen erhöhten Platzbedarf (z.B. Ladeinfrastrukturen für Elektromobilität) aufweisen und/oder müssen in einer so hohen Zahl im öffentlichen Raum installiert werden (z.B. 5G-Kleinzellenanlagen, vgl. Kapitel 3.3), sodass umfangreiche und systematische Lösungen gefunden werden müssen, um diese in den urbanen Raum zu integrieren. Neben der Problematik des Platzbedarfs und der Verortung von physischen Komponenten, kann auch die gesellschaftliche Akzeptanz eben jener Infrastrukturen eine Herausforderung darstellen, auf welche im nächsten Kapitel detaillierter eingegangen wird.

2.3 Von der Wahrnehmung, Akzeptanz und Integration unterstützender technischer Infrastrukturen

Die Entwicklung unserer Städte ist, wie in Kapitel 2.2.2 dargestellt, durch eine Koevolution mit dem Infrastrukturausbau charakterisiert (MATERN 2017: 23). Im Rahmen dieses Unterkapitels wird dargelegt, wie der Stadtraum und die darin enthaltenen Infrastrukturen von der Bevölkerung wahrgenommen und akzeptiert werden. Ferner wird aufgezeigt, welche Ansätze bestehen, um unterstützende technische Infrastrukturen in den Stadtraum zu integrieren. Als Stadtraum wird in dieser Arbeit als allgemeine Definition nach RUDEZ (1988) „*der innerstädtische umbaute Raum, auf dem städtisches Leben stattfindet*“ (RUDEZ 1988: 18) verstanden.

2.3.1 Die komplexe Wahrnehmung des Stadtraums

Die Wahrnehmung des Stadtraums nimmt seit dem 19. Jahrhundert eine wichtige und sich stetig verändernde Rolle im wissenschaftlichen Diskurs der Stadtbautheorie ein. *Erich Brinckmann*, *Le Corbusier* oder *Kevin Lynch* sind nur einige prominente Beispiele für prägende Akteure, welche die Wahrnehmung des Stadtraums zu einem zentralen Aspekt ihrer Forschung und ihres Handelns machten (BRANDL 2013: 5).

Reizaufnahme

Für den Menschen ist Kommunikation lebensnotwendig (GRÜTTER 2019: 2). Auch in Bezug auf die gebaute Umwelt und deren Wahrnehmung kann von einer Kommunikation gesprochen werden: die Umwelt sendet und der Mensch empfängt. Über das Zusammenspiel verschiedener menschlicher Sinnesorgane nehmen wir die unterschiedlichen Nachrichten der Umwelt wahr und verarbeiten die darin enthaltenen Informationen. Welche Nachricht wir wie aufnehmen ist dabei kulturell geprägt und situationsabhängig (GRÜTTER 2019: 2). Die Nachrichten empfangen wir mit unterschiedlichen Sinnesorganen. Als klassische menschliche Sinnesorgane unterscheidet bereits Aristoteles das Sehen sowie den Tast-, Geschmacks-, Geruchs- und Gehörsinn (STADLER et al. 1975: 79). Heute werden noch weitere Sinne bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung, wie z.B. der Temperatur- oder Schmerzsinne betrachtet (GRÜTTER 2019: 12). Für die

planenden Disziplinen ist der Sehsinn zur Wahrnehmung der Architektur der wichtigste Sinn. Aber auch die anderen angeführten Sinne, insbesondere der Geruchs- und Hörsinn, stellen einen wichtigen und oft vernachlässigten Aspekt in der Wahrnehmung des Stadtraums dar (GRÜTTER 2019: 11). Wie wir unsere Umwelt wahrnehmen wird in der Regel durch Experimentalforschung im Laborumfeld, holistische Forschungen, welche sich primär mit dem Gesamtsystem der Umwelt beschäftigt und der Erhebungsforschung, beispielsweise durch Fragebögen oder Interviews erforscht (ITTELSON et al. 1977: 273; WEISS 1968: 343).

Die individuelle Wahrnehmung des Stadtraums

Im Stadtraum nehmen wir in der Regel eine Vielzahl von Nachrichten simultan wahr. MOLES (1958: 234) bezeichnet dies als *multiple Nachricht*. Je nach Situation und Interesse werden aktiv einzelne Informationen priorisiert (GRÜTTER 2019: 3). Auch LYNCH (2013) geht davon aus, dass unsere Wahrnehmung von der Stadt meistens „*nicht ungeteilt und gleichmäßig, sondern vielmehr zerstückelt, fragmentiert, mit anderen Dingen und Interessen vermischt*“ (LYNCH 2013: 10f.) ist. Um die Flut an Sinneseindrücken des Stadtraums zu ordnen, ist der Mensch darauf angewiesen, Regelmäßigkeiten zu identifizieren, die ihm die Strukturierung und Einordnung des Wahrgenommenen erleichtern (SCHUSTER & BEISL 1978: 50). ITTELSON et al. (1977) weisen eine positive Reaktion von Probanden auf ein übersichtliches Stadtbild nach. Existieren zu wenige Elemente im Stadtraum, so wird dieser jedoch als zu monoton wahrgenommen (ITTELSON et al. 1977: 376). Bezüglich der aus dem Stadtraum wahrgenommenen Information unterscheidet MOLES (1971: 165) zwischen ästhetischen und von soziopsychologischen beeinflussten sowie semantischen und wissensübermittelnden Informationen.

Die subjektive Stadt

Der Stadtraum besitzt nicht nur einen rein physischen Charakter, sondern weist immer auch immaterielle Bestandteile auf (RUDEZ 1988: 18). Die Kombination aus materiellen und immateriellen Bestandteilen des Stadtraums und zum Beispiel den individuellen Hintergründen, Erfahrungen und Einstellungen der Beobachtenden kreiert so ein stark subjektives Bild der Stadt und deren Gestaltung (LYNCH 2013: 10 ff.). ITTELSON et al. (1977)

betiteln die subjektiv erfahrbare Stadt gar als „*die einzige Stadt, die wir wirklich kennen*“ (ITTELSON et al. 1977: 343).

Um die Wahrnehmung unserer Städte genauer erforschen und darstellen zu können, nehmen unter anderem die Psychologie und ihre Methoden eine wichtige Rolle ein. Der interdisziplinäre Forschungsansatz der Umweltpsychologie beschäftigt sich seit den 1950er Jahren mit den Wechselwirkungen zwischen psychologischen Aspekten des Menschen und seiner Umwelt (ITTELSON et al. 1977: 12). Dabei besteht eine konkrete Umwelt stets aus räumlichen Elementen mit sozialer Bedeutung sowie sozialen Elementen, die sich räumlich strukturieren lassen (BAHRDT 1974: 20). KOFFKA (1935) führt als Grundlage die Unterscheidung in eine geographische und eine Verhaltensumwelt ein (KOFFKA 1935: 40 ff.). Die geographische Umwelt beschreibt dabei unsere Umwelt als biophysikalisches System, die Verhaltensumwelt stellt im Gegensatz dazu die vom Menschen subjektiv wahrgenommene Umwelt dar (WÜSTNER & STENGEL 1998: 240). Diese Unterscheidung der Welt in wie sie ist und in wie sie wahrgenommen wird, stellt besonders in der Wahrnehmung von städtischen Umfeldern eine zentrale Annahme dar. ITTELSON et al. (1977: 12) halten fest, dass Menschen beim Neubau von Gebäuden nicht nur die materielle Welt verändern, sondern ihre Handlungen sich stets auch auf die sozialen Aspekte auswirken. Die dargestellten psychologischen Grundannahmen zur Wahrnehmung des Stadtraums lassen sich in vielen der zentralen Werken zur Stadtgestaltung wiederfinden (z.B. CURDES 1997; LYNCH 2013; TRIEB 1974).

Es kann festgehalten werden, dass die Aufnahme und Wahrnehmung unserer baulichen Umwelt ein sehr komplexer und subjektiver Vorgang ist. Aufgrund der Tatsache, dass Individuen unterschiedliche soziale, kulturelle und materielle Bedeutungen ihrer Umwelt wahrnehmen, erfährt jeder Bewohner einer Stadt eine eigene Realität (ITTELSON et al. 1977: 383). Die Vorgänge der Wahrnehmung des Stadtraums lassen sich auf die im folgenden dargestellte Wahrnehmung einzelner Infrastrukturen übertragen.

2.3.2 Wahrnehmung technischer Infrastrukturen im Stadtraum

Nach STAR (1999) zeichnen sich Infrastrukturen heute vor allem durch ihre Eigenschaft aus, in anderen Strukturen und Technologien zu „versinken“ und sich wenig von diesen abzuheben. Infrastrukturen werden normalerweise erst dann sichtbar, wenn sie ihre Funktionen nicht mehr erfüllen (GRAHAM & MARVIN 2008: 53 ff.; STAR 1999: 381f.). Sie haben aufgrund ihrer primären Funktion daher nicht die Intention im Stadtraum überhaupt wahrgenommen zu werden. Neben dieser Auffassung, dass Infrastrukturen für die Wahrnehmung einer Stadt nur eine passive Rolle darstellen, existieren eine Vielzahl von Ansätzen, die Infrastrukturen eine deutlich aktivere Bedeutung für den Stadtraum zuschreiben. Dass die urbanen Infrastrukturen durch ihre Materialität und damit der Prägung der Stadtgestalt durchaus einen wichtigen Baustein für die Stadt und ihre Gesellschaft bildet, zeigt beispielsweise MÜLLER (2017).

Während technische Infrastrukturen im Rahmen der umfassenden urbanen Modernisierungsprozesse Anfang des 19. Jahrhunderts bewusst gestaltet und als Zeichen der Moderne im städtischen Kontext stolz präsentiert wurden, verlieren diese mit der aufkommenden Selbstverständlichkeit ihrer Funktionen Mitte des 20. Jahrhunderts zunehmend ihre Stellung innerhalb der gebauten Stadt (KAIKA & SWYNGEDOUW 2000: 121). Im Rahmen der *Science and Technology Studies* haben sich die Sozialwissenschaften fundiert mit der wechselnden Bedeutung von Objekten für das Soziale befasst. Die in der Regel als Laborstudien bekannten Ansätze zur Erforschung der Bedeutung von Objekten zur Konstitution von Wissen und sozialen Ordnungen von z.B. LATOUR & WOOLGAR (1986) oder KNORR CETINA (1981) stellen wichtige und grundlegende Arbeiten zur Erforschung ortsbezogener Wirkungen von Objekten dar. Darauf aufbauend wurde im Rahmen der *Akteurs-Netzwerk-Theorie* (ANT) die Trennung von Subjekten und Objekten genauer untersucht (MÜLLER 2017: 131f.). Die ANT geht nicht nur von einer Wechselwirkung zwischen der materiellen und sozialen Gesellschaft aus, vielmehr stellt sie die Unterscheidung in *Materiell* und *Sozial* als solches in Frage. Physischen Infrastrukturen im Stadtraum kann den Forschungsergebnissen nach ein konstitutiver Charakter zugeschrieben werden. (MÜLLER 2017: 132). Für die Stadtplanung stellt die materielle Gestalt der Städte ein wichtiges Instrument dar, um das urbane

Zusammenleben zu steuern (MÜLLER 2017: 134). Die Materialität von Objekten kann entweder dazu eingesetzt werden, um Leitbilder oder Machtverhältnisse zu symbolisieren (z.B. HIRST 2005) oder um bestimmte Verhaltensweisen, z.B. die Nutzung bestimmter Mobilitätsmodi, zu intendieren (MÜLLER 2017: 134). MÜLLER (2017: 134ff.) benennt die Förderung, beziehungsweise das Hemmen von Verhaltensweisen als das relevantere Ziel.

Wissenschaftliche Ansätze zur Erforschung der stadträumlichen Wirkung von technischen Infrastrukturen auf die Bevölkerung können bisher primär für stadtraumprägende Hauptinfrastrukturen, wie zum Beispiel Straßen, Staudämme, Flughäfen oder Abwassersysteme ausgemacht werden (z.B. GRAHAM & MARVIN 2008; KAIKA & SWYNGEDOUW 2000; MÜLLER et al. 2017; VAN LAAK 2005, 2017.) Die Betrachtung materieller Auswirkungen unterstützender Infrastrukturen, wie beispielsweise Mobilfunkantennen oder Bushaltestellen, und deren Wahrnehmung durch die Bevölkerung können lediglich vereinzelt oder als Randbetrachtung ermittelt werden (z.B. CUCUZZELLA & GOUBRAN 2019; PARKS 2007).

2.3.3 Akzeptanz technischer Infrastrukturen

Grundlage für Akzeptanz jeglicher Art ist die Tatsache, dass Subjekte etwas wahrnehmen, sich damit auseinandersetzen und eine eigene Position diesbezüglich ableiten (JAKOBS 2019: 306). Dabei wird der Begriff der Akzeptanz heute in mannigfaltigen Kontexten genutzt, jedoch selten näher definiert (EBERT et al. 2015: 51). Den unterschiedlichen Fachdisziplinen, wie beispielsweise der Soziologie, Philosophie, Psychologie, Rechts-, Wirtschaft-Politik- oder Raumwissenschaften, liegen dabei oft stark variierende Akzeptanzverständnisse zu Grunde, welche sich auf eine jeweils breite Literaturbasis stützen (JAKOBS 2019: 303). Abgeleitet vom Lateinischen *accipere* für gutheißen, lässt sich die Akzeptanz gleichbedeutend zu den Begriffen Anerkennung, Zustimmung oder Befürwortung verstehen (LUCKE 1995: 35 ff.). Akzeptanz wird dabei als Phänomen gesehen, welches von einer Gruppe oder Person ausgeht, sich auf Akzeptanzobjekte bezieht und sich dabei in einem individuellem Kontext ausprägt (HÜSING et al. 2002: 24). Andere Definitionen verstehen die Akzeptanz etwas pointierter als das

„positive, zeitlich relativ konstante Ergebnis eines an bestimmte Rahmenbedingungen (Kontextfaktoren) geknüpften Bewertungsprozesses“ (SCHWEIZER-RIES et al. 2012: 140), welches durch ein Akzeptanzsubjekt gegenüber dem untersuchten Objekt formuliert wird. Akzeptanz wird im Rahmen dieser Arbeit und in Anlehnung JAKOBS (2019: 306) als aus der Wahrnehmung und Auseinandersetzung mit technischen Infrastrukturen abgeleitetes individuelles beziehungsweise kollektives Bewertungsergebnis verstanden.

Die Akzeptanz technischer Innovationen lässt sich in die Bestandteile der Einstellungsakzeptanz und der Handlungsakzeptanz unterteilen (HARNISCHFEGGER et al. 1999: 200; KOLLMANN 1998: 52). Erstere beschreibt die generelle Einstellung des Subjekts zum Akzeptanzobjekt und umfasst einen affektiven (gefühlsmäßigen) sowie einen kognitiven (verstandsmäßigen) Part (MÜLLER-BÖLING & MÜLLER 1986: 25). Die affektive Akzeptanz beschreibt die Gefühle, die in Zusammenhang mit der Innovation stehen, die kognitive Akzeptanz kann durch eine Kosten-Nutzen-Abwägung charakterisiert werden. Diese Unterteilung ermöglicht die Erklärung gemischter Akzeptanzgefühle von Personen bezüglich derselben Technologie. Die Videoüberwachung des öffentlichen Raums kann beispielsweise aus kognitiver Sicht für die Verbrechensaufklärung befürwortet werden und gleichzeitig den Akzeptanzsubjekten ein ungutes Gefühl vermitteln. Beide Formen der Einstellungsakzeptanz können nicht beobachtet werden, sondern müssen auf andere Weise in Erfahrung gebracht werden (QUIRING 2006: 4). Anders als die Einstellungsakzeptanz kann die Handlungsakzeptanz beobachtet werden (MÜLLER-BÖLING & MÜLLER 1986: 26f.). Die Handlungsakzeptanz kann immer nur dann angenommen werden, wenn ein sichtbares Verhalten zu erkennen ist (SIMON 2001: 87).

Die gesellschaftliche Akzeptanz setzt sich nicht nur aus verschiedenen Bestandteilen und Ausprägungen zusammen, auch die verschiedenen Akteursebenen und deren Wechselwirkungen zueinander erhöhen die Komplexität der Akzeptanzuntersuchung technischer Innovationen. Am Beispiel technischer Anlagen der Energiewende lässt sich beispielsweise zeigen, dass unterschiedliche Akteure ein divergierendes Verständnis von Akzeptanzkriterien aufweisen. Während Betreiber technischer Anlagen beispielsweise den Standpunkt vertreten, dass solange kein offener

Widerstand formuliert wird, die Anlagen akzeptiert werden, sehen Bürgerinitiativen dieselbe Anlage eventuell erst als akzeptiert, wenn diese explizit befürwortet und aktiv unterstützt wird (SCHWEIZER-RIES et al. 2010: 11).

Ein wichtiger Aspekt, den es bezüglich der Technikakzeptanz zu berücksichtigen gilt, ist der Zusammenhang von Akzeptanz und Verhinderung. Ob sich eine Technik durchsetzt, ist weniger auf die Akzeptanz sondern vielmehr auf die Handlungsbereitschaft ihrer Befürworter beziehungsweise ihrer Gegner zurückzuführen. Wenn beispielsweise mehr als 50 % der Bevölkerung eine gewisse Technologie ablehnen, so bedeutet dies im Umkehrschluss nicht unbedingt, dass sich diese nicht durchsetzt. Die Handlungsbereitschaft ist umso stärker, je mehr die Person von der eigenen Meinung und von der Notwendigkeit des eigenen Engagements überzeugt ist. RENN (2007: 28) nennt die Faustregel, dass eine aktive Bevölkerungsgruppe von mehr als 3 % der Gesamtbevölkerung in einer Demokratie alles verhindern und viel Neues umsetzen kann, da selbst kleine relative Zahlen absolut deutlich größer wirken und die Politik aufschrecken lassen. RENN (2007: 28) führt hierzu das Beispiel der Kernenergie an, für die es bis ca. 1986 einen vergleichbaren Anteil von extremen Befürworter*innen beziehungsweise Gegner*innen gab. Durch die deutlich höhere Handlungsbereitschaft der Gegner*innen wurde die öffentliche Debatte jedoch primär von der Ablehnung der Kernenergie geprägt. Zur Beurteilung, inwiefern sich eine Technologie durchsetzt, ist daher die Zahl der handlungsbereiten Personen wichtiger als die Mehrheitsmeinung. Die Sozialforschung kommt zudem zu dem Ergebnis, dass es in der Regel nicht eine gleichbleibende Gruppe ist, die sich gegen verschiedene Technologien einsetzt. Vielmehr zeigt sich eine sehr unterschiedliche Technikeinstellung zwischen den unterschiedlichen Technologien und Anwendungsfällen (RENN 2007: 27f.).

Technikakzeptanz in Deutschland

Entgegen vieler Medienberichte über eine deutsche Technikfeindlichkeit zeigen Ergebnisse der Sozialforschung seit langer Zeit ein anderes Bild (RENN 2007: 25). Bereits vor gut 25 Jahren wurde im Rahmen einer repräsentativen Befragung des *Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim*

Deutschen Bundestag festgestellt, dass die deutsche Bevölkerung nicht technikfeindlicher als in anderen westlichen Ländern ist und dass die überwiegende Mehrheit der Deutschen ein ambivalentes Urteil gegenüber Technik und technischem Fortschritt zeigt. Die Deutschen differenzieren nach Technologie, Anwendungsfeld und Ziel der Technologien, nehmen sowohl Vor- als auch Nachteile wahr und wiegen diese gegeneinander ab (HENNEN 1997: 10). Die Mehrheit der Deutschen gibt in Studien an, eher oder stark technikinteressiert bzw. -begeistert zu sein. Etwa 40 % schätzen sich als gut oder sehr gut informiert ein, wenn es um Technik geht (ACATECH & KÖRBER-STIFTUNG 2020: 12f.). Einen besonderen Einfluss auf die Technikakzeptanz konnte verschiedenen sozio-demographischen Merkmalen zugeschrieben werden. Am stärksten wirkt sich auf die Technikakzeptanz das Geschlecht, der Bildungsstand, der soziale Status sowie das Alter aus. Keine signifikanten Unterschiede wurden z.B. bei der Größe der Heimatgemeinde gefunden. Besonders technophil haben sich im Rahmen der Studien junge Männer, Menschen mit hohem Schulabschluss oder sozialem Status gezeigt (ACATECH & KÖRBER-STIFTUNG 2020: 13).

RENN & ZWICK (1997: 23--24) unterteilen die Technikakzeptanz in die drei Bereiche *Produkt- und Alltagstechnik*, *Arbeitstechnik* und *Externe Technik*. Während die Deutschen bei den ersten beiden Bereichen keine Akzeptanzdefizite aufweisen, so ist besonders der Bereich der externen Technik von Ambivalenz geprägt. Als externe Technik wird die Technik als Nachbar, beispielsweise das Kraftwerk oder auch die Mobilfunkantenne definiert. Die externe Technik subsummiert dementsprechend auch die in den vorherigen sowie noch folgenden Kapiteln vorgestellten technischen Infrastrukturen. Akzeptanz wird in diesem Bereich mit Billigung durch die umliegenden Akteure gleichgesetzt. Eine positive Einstellung gegenüber der Technik muss nicht vorliegen, um eine Akzeptanz seitens der Betreiber anzunehmen. Das Besondere in dem Bereich der externen Technik ist die gesellschaftliche Perspektive auf die Technik. So werden in diesem Bereich nicht nur die Vor- und Nachteile einzelner Technologien gegeneinander abgewogen, sondern auch mit einer individuellen Vision der gesellschaftlichen Entwicklung in Verbindung gebracht (RENN 2007: 27). Selbst umstrittenen Ansätzen wie der Gentechnik oder dem Mobilfunk wird keine generelle Technikfeindlichkeit entgegengebracht. Allerdings treten die

Akzeptanzprobleme bei den technischen Anlagen und Produkten vor Ort auf, wo kollektive Risiken vermutet werden oder der Nutzen nicht erkennbar ist (RENN 2005: 32f.).

Im Kontext des Ausbaus der Smart City-Bestrebungen identifizieren viele planenden Akteure die potenziellen Ängste und Abneigungen der lokalen Bevölkerung gegenüber der Digitalisierung als Risiko. In unterschiedlichen Leitdokumenten sowie den lokalen Smart City-Strategien wird daher vermehrt auf die Schaffung gesellschaftlicher Akzeptanz im Rahmen des Smart City-Ausbaus verwiesen (z.B. AMTMANN et al. 2022; STADT PFORZHEIM 2022; STADT WOLFSBURG 2021). Konkrete Maßnahmen werden dabei nur selten formuliert.

Modelle der Technikakzeptanz

Um die Akzeptanz technischer Innovationen näher quantifizieren zu können, wurde eine Reihe sogenannter Technologieakzeptanzmodelle konzipiert, die im Folgenden kurz vorgestellt werden. Zur Berechnung und theoretischen Ableitung erwarteter gesellschaftlicher Akzeptanz in Bezug auf technologische Innovationen stellt ein grundlegender und oft angewendeter Ansatz die sozialpsychologische *Theory of Reasoned Action* (TRA) von FISHBEIN & AJZEN (1975) dar (Weiterentwicklung AJZEN & FISHBEIN 1980). Ihre Theorie setzt sich mit der Vorhersage menschlichen Verhaltens auseinander und bildet die Basis für eine Vielzahl nachfolgender und spezifischeren Theorien. In dem Modell von AJZEN & FISHBEIN (1980) wird das Verhalten eines jeden Subjekts durch die Intention determiniert. Die Intention misst dabei individuell die Stärke der geplanten Umsetzung eines speziellen Verhaltens. Die Intention setzt sich aus der Einstellung, also dem positiven oder negativen Gefühlen über das Verhalten und der subjektiven Norm, dem angenommenen gesellschaftlich erwarteten Verhalten, zusammen (DAVIS et al. 1989: 983f.; FISHBEIN & AJZEN 1975: z.B. 288 ff.; AJZEN & FISHBEIN 1980: z.B. 82 ff.). Der *Abbildung 5* ist ein Überblick über das TRA-Modell zu entnehmen.

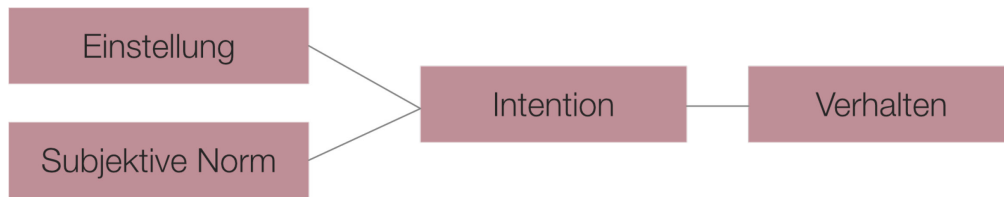


Abbildung 5 Theory of reasoned action nach Ajzen und Fishbein
Eigene Darstellung nach AJZEN & FISHBEIN (1980)

Aufbauend auf der *TRA* entwickelte DAVIS (1986) das *Technology Acceptance Model* (TAM, deutsch: Technologieakzeptanzmodell), welches speziell auf die Akzeptanz von IKT-Systemen ausgerichtet wurde. Das TAM zählt zu den meist angewendeten Modellen im Bereich der IKT-Akzeptanzforschung (LEE et al. 2003: 752). Für Davis stellen die beiden Aspekte *empfundene Nützlichkeit* sowie die *empfundene Einfachheit der Nutzung* die zentralen Bestandteile zur Entwicklung der individuellen Einstellung gegenüber der Technologie dar. Aus der Einstellung leitet sich die Intention ab, aus welcher wiederum die Benutzung des neuen Systems resultiert (DAVIS et al. 1989: 985ff.). Der *Abbildung 6* ist ein schematischer Überblick über das TAM zu entnehmen. Das TAM wird als robust charakterisiert und wurde in der Vergangenheit auf eine Vielzahl neuer Technologien, wie etwa E-Mails, e-Health oder das Internet, angewendet (KREMPEL 2017: 37). Die Vielzahl ausgemachter Adaptionen des TAM Modells untersuchen in der überwiegenden Mehrheit die subjektive Sicht der Technologie und des persönlichen Nutzens für den Anwender. Die Untersuchung indirekter Implikationen, beispielsweise die Materialität von Technologien im Stadtraum, konnten bisher nicht ausgemacht werden. HWANG & LEE (2016) befassen sich zum Beispiel mit den Faktoren, welche sich auf die Akzeptanz von Smart Devices auswirken. Die dafür benötigten Infrastrukturen bleiben jedoch unbeachtet.

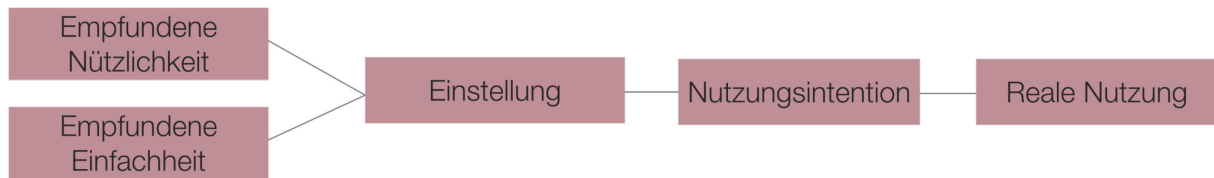


Abbildung 6 Technology Acceptance Model nach Davis
Eigene Darstellung nach DAVIS (1989)

Einen Ansatz, welcher die Transparenz und die physische Komponente des technischen Systems, zumindest sekundär, berücksichtigt, liefert KREMPEL (2017). Um die Akzeptanz von Videoüberwachung in öffentlich zugänglichen Bereichen gezielter untersuchen zu können, passt KREMPEL (2017) das TAM an und führt die emotionale Einstellung ein, welche sich wiederum aus dem empfundenen Risiko und der Transparenz speist (vgl. *Abbildung 7*). Letzterer Aspekt setzt sich auch mit der physischen Ausgestaltung technischer Anlagen auseinander (KREMPEL 2017: 99 ff.).

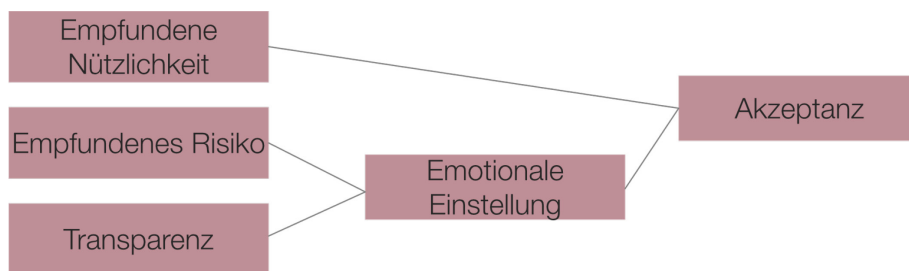


Abbildung 7 Technology Acceptance Model for Video Surveillance
Eigene Darstellung nach KREMPEL (2017)

Neben dem TAM als bekanntesten und weit verbreiteten Ansatz existieren signifikant komplexere Modelle, wie zum Beispiel der *unified theory of acceptance and use of technology* (UTAUT) von VENKATESH et al. (2003). Mit 41 unabhängigen Variablen stellt dieses zwar ein durchdachtes Akzeptanzmodell dar, der Umfang macht es allerdings wenig praktikabel (BAGOZZI 2007: 245). RÖCKER (2010: 493) gibt ferner zu bedenken, dass u.a. aufgrund der hohen Vernetzung und Autonomie zukünftiger Informationstechnologien bestehende Akzeptanzmodelle nicht mehr ausreichen, um die Resonanz auf neue Innovationen zufriedenstellend abzubilden. Daher ist es von hoher

Relevanz die neuen Faktoren zu identifizieren und einzuordnen, welche sich zukünftig auf die Technologieakzeptanz auswirken.

Der kompakte Einblick in die Akzeptanzforschung zeigt, dass eine umfassende, subjekt-, kontext- und ortsunabhängige Betrachtung der Akzeptanz von technischen Innovationen nicht möglich ist. Es kann zudem festgehalten werden, dass der Akzeptanzbereich, zu dem die technischen Infrastrukturen gezählt werden, die höchste Ambivalenz bezüglich der gesellschaftlichen Akzeptanz aufweist. So fließen in die Infrastrukturbewertung nicht nur eine Vor- und Nachteilsabwägung, sondern auch die eigenen Grundwerte und wünschenswerte gesellschaftliche Entwicklungen mit ein. Damit steht der Infrastrukturausbau unter genauer gesellschaftlicher Beobachtung. Es wurde ferner aufgezeigt, dass die physisch-materielle Komponente von Technologien der Smart City bisher nicht im Fokus der Forschung steht. Raumwirksamkeiten physischer Infrastrukturen wird aktuell höchstens am Rande in Akzeptanzmodelle integriert. Theoretische Ableitungen bezüglich erwarteter Akzeptanzauswirkungen von Smart City-Infrastrukturen durch eine städtebauliche Integration erscheinen daher zum jetzigen Zeitpunkt wenig zielführend.

2.3.4 Städtebauliche Integration unterstützender technischer Infrastrukturen

Die urbane Integration, unter anderem von Infrastrukturen, stellt seit den 1970er Jahren eine Leitmaxime in der Stadtplanung dar und zielt auf eine Optimierung von Ressourcenflüssen und der Ermöglichung vernetzter Städte ab (MACRORIE & MARVIN 2019: 2207f.). Allerdings nehmen städtebauliche und gestalterische Belange, vor allem der unterstützenden Infrastrukturen, in dem übergeordneten Konzept der urbanen Integration eine nebensächliche Position ein. Im Rahmen dieser Arbeit wird daher der Begriff der städtebaulichen Integration verwendet, um die unterschiedlichen Ansätze zur gestalterischen und mehrwertstiftenden Integration unterstützender technischer Infrastrukturen in den umliegenden Stadtraum zu beschreiben. Angelehnt an BESIER (2016) stehen die physisch-materiellen Integrationsbelange im Zentrum der hier verwendeten Definition. Bevor jedoch bestehende Ansätze der städtebaulichen Integration von technischen

Infrastrukturen näher vorgestellt werden, soll zunächst die Bedeutung der Stadtraumdetails, zu denen die hier betrachteten Infrastrukturen gezählt werden können, für die Identität und Gestaltung unserer Städte aufgezeigt werden.

Kleinstarchitekturen im Stadtraum

Der Architekturhistoriker und emeritierte Hochschullehrer Vittorio Magnago Lampugnani schreibt den Mikroarchitekturen, zu denen sich auch die in Kapitel 2.2.3 vorgestellten unterstützenden technischen Infrastrukturen subsumieren lassen, eine herausragende Bedeutung für die Stadtgestaltung und –identität zu (MAGNAGO LAMPUGNANI 2020a: 16ff.). Die Rolle der Details des Stadtraums im Städtebau ist dabei jedoch im historischen Kontext von wechselnder Relevanz geprägt. Mit dem Städtebau verbinden die meisten angrenzenden Fachgebiete das Arbeiten in großräumlichen Planungsmaßstäben. Der zeitgenössische Städtebau nutzt in der Regel hohe Betrachtungsebenen zur Untersuchung sowie Planung von Städten und Quartieren. Mit den Maßstäben 1:25.000 oder 1:10.000 bleiben die Städtebauer*innen im Abstand zu den Einzelobjekten des Stadtraums (TUBBESING 2020: 135). Die konstruktiven Details des Stadtraums werden heute von Tiefbauingenieur*innen und den damit verbundenen Gewerken geplant und umgesetzt. Die fehlende Objektivität gestalterischer Qualitäten erschwert den umsetzenden Ingenieur*innen, ohne eine gestalterische Ausbildung, die ästhetische Integration (BESIER 2016: 409). Die Trennung der Auslegung der Detailplanung und dem Städtebau ist heute sowohl in der Praxis wie auch in der Lehre Konsens (STIMMANN 2020: 127).

Diese starre Trennung zwischen dem Städtebau und den Stadtraumdetails ist kein ewig bestehendes Eigenverständnis, sondern eine Entwicklung, die vor ca. 110 Jahren begann und heute vermehrt hinterfragt wird. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts umfasste der Städtebau noch diverse Maßstabsebenen vom Übersichtplan bis zu Detailplanung städtischer Kleinstarchitekturen (TUBBESING 2020: 135ff.). Alphand zeigt in *Les promenades de Paris* beispielsweise seine Projekte zur Sanierung des industriellen Paris Mitte des 19. Jahrhunderts vom Gesamtplan (1:10.000) bis zur Detailplanung der Straßenbeleuchtung im Maßstab 1:20 (ALPHAND 1867-1873: o.S.). Auch Josef Stübbens Grundlagenwerk *Der Städtebau* befasst sich sowohl mit der

Gesamtplanebene im Maßstab 1:40.000 bis zu den Details im Maßstab 1:20. Während letztere Maßstabsebene bereits in der ersten Auflage Stübbens beinhaltet war, wurde der Abschnitt „*Gesamtplan*“ erst in der 2. Auflage im Jahre 1907 eingefügt und weist auf die aufkommende Wichtigkeit großmaßstäblicher Betrachtungsweisen industrieller Großstädte hin (STÜBBEN 1890: 346ff., 1907: z.B. 294; TUBBESING 2020: 135ff.).

Als wichtiger Meilenstein zum heutigen Verständnis des Städtebaus in seiner großmaßstäblichen Betrachtungsweise gilt der „Wettbewerb Groß-Berlin“ aus dem Jahr 1910. Ziel war eine Neuordnung Berlins und seiner angrenzenden Gemeinden, um die Herausforderungen einer rasch wachsenden Großstadt bewältigen und lenken zu können. Die großräumlichen Ansätze der Wettbewerbsbeiträge wurden in den folgenden Jahrzehnten stark aufgenommen und weiterentwickelt. Die Disziplin des Städtebaus entwickelte sich daraufhin immer mehr zu einem Werkzeug, um heranwachsende Großstädte auf hohen Maßstabsebenen planerisch lenken zu können. Die Details des Stadtraums verloren für die Planer*innen dabei immer mehr an Bedeutung (TUBBESING 2018: 240ff., 2020: 136f.).

Dabei sind es jedoch auch die Kleinstarchitekturen, welche als Zeitzeugen fungieren, den urbanen Raum prägen und einzigartig machen. Haltestellen, Telefonzellen, Litfaßsäulen, Laternen, Ampeln, Abfallkörbe, Straßenschilder, sie alle zeichnen ein unvergleichliches Stadtbild und beeinflussen die Aufenthaltsqualität der Menschen vor Ort. Oft erkennen wir Städte auf scheinbar generischen Abbildungen bereits anhand eines einzigartigen Zusammenspiels verschiedener Stadtraumdetails (MAGNAGO LAMPUGNANI 2020b: 7ff.). MAGNAGO LAMPUGNANI (2020a: 25) beschreibt die kleinen Objekte des Stadtraums als bescheiden und gleichzeitig raumprägend, anonym, immer wieder individuell, überwiegend industriell und dabei spezifisch, ubiquitär und lokalspezifisch, utilitaristisch und dabei doch als fester Bestandteil der Kultur unserer Städte. Ein anschauliches Beispiel stellt die Telefonzelle, insbesondere in ihrer charakteristisch roten Gestalt in Großbritannien, dar (MAGNAGO LAMPUGNANI 2020b: 37 ff.).

Vor der Errichtung jedes dieser stadtraumprägenden Objekte steht die simple Notwendigkeit, eine Funktion in den Stadtraum zu bringen. Ausgelöst durch soziale, politische oder ideologische Gründe benötigt der Aufbau der

Mikroarchitekturen stets ökonomische Ressourcen und verfügbare Flächen. Ein Entwurf dieser Kleinstarchitekturen muss neben den genannten Aspekten ebenfalls rechtliche, klimatische und organisatorische Rahmenbedingungen beachten und in der Wahl von Material, Aufbau und Verarbeitung berücksichtigen (MAGNAGO LAMPUGNANI 2020b: 11).

Neben ihrer stadtbildprägenden Wirkung bringen die allermeisten Kleinstarchitekturen in ihrer primären Funktion mannigfaltige Nutzungen in den Stadtraum und werten diesen funktional auf. Das bereits genannte Beispiel der Telefonzellen ist ein markantes Exempel für die Entwicklung der Kommunikationstechnologie und deren Integration in den Stadtraum. Während sie heute als überwiegend obsolete Relikte vergangener Zeiten nur noch vereinzelt zu finden sind, waren ebenjene Ende des 19. Jahrhunderts Zeichen der Moderne und des technischen Fortschritts. Auf einer Grundfläche von etwa einem Quadratmeter haben sie Jahrzehnte lang Stadtbilder geprägt (BERNHARDT 1994: 57ff.). Das Beispiel der Telefonzelle zeigt außerdem anschaulich, dass eine ortsbildprägende Gestaltung, im Beispiel Großbritanniens die weltbekannte rote Telefonzelle von Architekt Sir Giles Gilbert Scott, nachhaltig im Gedächtnis bleibt und positive Assoziationen schafft. Heute stehen die letzten der ikonischen Telefonzellen präsent an stark frequentierten Orten. Während deren Aufkommen hatten sich die Behörden und Gemeinden noch aus ästhetischen Gründen gegen die Fernsprecher im öffentlichen Straßenraum eingesetzt (MAGNAGO LAMPUGNANI 2020b: 39ff.).

Analog müssen sich heute verschiedene öffentliche Stellen im engem Zusammenspiel mit privatwirtschaftlichen Akteuren der Frage annehmen, wo und wie neue Smart-City-Infrastrukturen in den urbanen Raum integriert werden. Denn es sind vor allem privatwirtschaftlich tätige Unternehmen, z.B. Telekommunikationsunternehmen (TKU's), welche die raum- und stadtbildwirksamen Infrastrukturen für intelligente Städte schaffen. Die neuen Infrastrukturen treten dem Konkurrenzkampf um die knappen Platzressourcen öffentlicher Räume bei.

Integrations- und Gestaltungsansätze unterstützender technischer Infrastrukturen

Neue technische Objekte bringen stets eine gestalterische Qualität in die Stadt, auch bei der Unterlassung eines Gestaltungsprozesses. Es stellt sich jedoch immer die Frage, ob diese Qualität als positiv oder negativ aufgenommen wird (BESIER 2016: 408). Das Ausbringen und Einfügen neuer Objekte in den Stadtraum stellt bei wachsender Flächenkonkurrenz vielerorts einen Streitpunkt dar. In den vergangenen Jahrzehnten konnte eine hohe Diversifizierung von urbanen Freiraumelementen und damit einhergehenden negativen Auswirkungen auf das Stadtbild beobachtet werden (LANDESHAUPTSTADT DRESDEN 2013: 3). Die Haltung gegenüber dem Bestand nimmt in der städtebaulichen Weiterentwicklung unserer Städte eine zentrale Rolle ein und erfordert kontextbezogene Lösungsansätze (REICHER 2017: 217). Im Folgenden werden zunächst drei Ansätze zum Umgang mit dem Bestand vorgestellt. Während der erste Ansatz allgemeingültig formuliert ist, fokussieren die folgenden Ansätze die Integration von technischen Infrastrukturen in den Stadtraum.

REICHER (2017: 218) identifiziert im Kontext des städtebaulichen Entwerfens drei übergeordnete Gestaltungsansätze im Umgang mit dem Bestand, die auch im Zusammenhang mit der städtebaulichen Integration von neuen technischen Infrastrukturen wiedererkannt werden können. Folgende Ansätze werden aufgeführt (REICHER 2017: 218):

Überordnung:

Der Ansatz der Überordnung stellt das neue Objekt in den Vordergrund. Bestehende Kriterien der lokalen Gestaltung werden nicht beachtet. Im Zentrum steht die Eigenständigkeit des neuen Objekts. Dieser Ansatz sollte vor allem für Stadträume angewendet werden, in welchen keine Qualitäten bereits bestehen.

Unterordnung:

Bei der Unterordnung nimmt sich das neue Objekt zurück und tritt in den Hintergrund. Im Kontext des städtebaulichen Entwurfs wird der Ansatz der Unterordnung kritisch betrachtet, sofern Neues nicht als solches erkennbar ist.

Einordnung:

Grundlage der Einordnung ist die Respektierung des Bestehenden durch das Neue. Die Einordnung kann auch durch eine Neuinterpretation des Bestands erfolgen. Besonders die Kombination von Neuem und Altem kann eine mehrwertstiftende Weiterentwicklung des bebauten Raums bedeuten.

BESIER (2016) zeigt auf, dass die städtebauliche Integration von technischen Infrastrukturen am Beispiel von Infrastrukturanlagen von Stadt- und Straßenbahnen, als Chance für urbane Aufwertungsprozesse gesehen werden kann. Die Kombination funktional-technischer Infrastrukturen mit ästhetischen Überlegungen ermöglicht die Aufwertung öffentlicher Räume (BESIER 2016: 409). Die Integration von technischen Infrastrukturen in den Stadtraum kann, in Anlehnung an BESIER (2016: 410), grundsätzlich in einen *technisch dominierten* und einen *städtebaulich integrierten* Ansatz unterteilt werden. Während der erstgenannte Integrationsansatz die Funktionen der Infrastruktur in den Vordergrund stellt, zielt die städtebauliche Integration vermehrt auf die Aufwertung des Lebensraums Stadt ab. Aus räumlich-gestalterischer Perspektive unterscheidet BESIER (2016: 410 ff.) zwischen zwei Gestaltungsprinzipien für technische Infrastrukturen: einem dezenten, wenig wahrnehmbaren *einfügenden Gestaltungsansatz* sowie einem stark raumwirksamen, *prägenden Gestaltungsansatz*.

Während die beiden aufgeführten Ansätze übergeordnete Integrationsprinzipien beschreiben, bewerten und kategorisieren CUCUZZELLA & GOUBRAN (2019) konkrete Entwürfe hinsichtlich ihrer Integration in den Stadtraum. Die Autor*innen betrachten inwiefern die konkrete gestalterische Integration von unterstützenden technischen Infrastrukturen urbane Transformations- und Erneuerungsprozesse im Kontext der nachhaltigen Stadtentwicklung unterstützen kann. Sie entwickeln dafür ein zweiachsiges Klassifizierungssystem, welches die physische Gestaltung der Infrastrukturen einordnet. Bei den beiden Achsen handelt es sich zum einen um die anthropologische Dimension, welche z.B. soziale und kulturelle Aspekte berücksichtigt und zum anderen um die technologisch-integrierte Dimension, welche z.B. die Berücksichtigung von Smart City-Ansätzen beinhaltet. Die anthropologische Dimension zielt auf

den Transformationsprozess und die Erhöhung der Aufenthaltsqualität urbaner Räume durch Schaffung neuer Angebote ab, um diese z.B. erfahrbarer, kultureller, edukativer oder sozialer zu gestalten (CUCUZZELLA & GOUBRAN 2019: 4). Die technologisch-integrierte Dimension nimmt dabei auf, inwiefern der Infrastrukturausbau die Transition zur Smart City ermöglicht und berücksichtigt, z.B. durch die Verwendung technologischer Komponenten und Vernetzungsmöglichkeiten (CUCUZZELLA & GOUBRAN 2019: 3). Zur Einordnung der Gestaltung der Infrastrukturen entlang der Achsen werden vier Kategorien gebildet (CUCUZZELLA & GOUBRAN 2019: 7), dargestellt in *Abbildung 8*:

- 1) Die *physische Integration* berücksichtigt weder anthropologische Aspekte, noch schafft oder kommuniziert sie die Mehrwerte einer intelligenten Stadt.
- 2) *Sozio-kulturelle Integrationen* adressieren die kulturellen und atmosphärischen Ansprüche der lokalen Bevölkerung. Eine tiefe und sinnhafte Berücksichtigung der technologischen Aspekte wird jedoch nicht vorgenommen.
- 3) Die sogenannten *smarten Integrationen* nutzen die technischen Möglichkeiten neuer Infrastrukturen zwar aus, allerdings schaffen sie keinen anthropologisch-zentrierten Mehrwert für die Bevölkerung.
- 4) Als *gemischte (blended) Integration* zählen die Autor*innen Ansätze, welche sowohl die anthropologische als auch die technische Dimension berücksichtigen und damit die holistische Smart City-Vision adressieren.

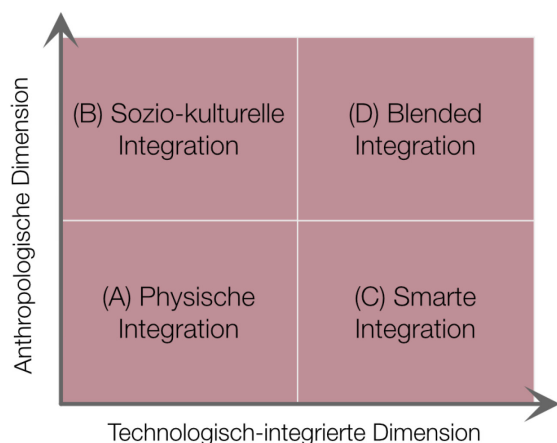


Abbildung 8 Einordnungsmethodik für Gestaltungsansätze
Eigene Darstellung, verändert nach Cucuzzella und Goubran (2019)

Die dargestellten Ansätze der Gestaltung von Stadtraumelementen weisen bereits ein hohes Maß an inhaltlichen Überschneidungen auf. Um im späteren Verlauf der Arbeit nicht jeweils Bezüge zu einzelnen theoretischen Ansätzen herstellen zu müssen, wird in dieser Arbeit ein eigenes, aus der Literatur abgeleitetes, einheitliches Verständnis der Integrations- und Gestaltungsansätze verwendet. Bezüglich der Integrationsansätze wird übergeordnet zwischen einer *städtebaulichen* und einer *technischen Integration* unterschieden. Als *Gestaltungsansätze* der *städtebaulichen Integration* wird zwischen dem im Folgenden erläuterten *Maskieren*, *Einfügen* und *Prägen* unterschieden. Die *technische Integration* ist lediglich durch eine *funktionale Gestaltung* charakterisiert. Im Folgenden werden die ausgemachten Gestaltungsansätze kompakt dargelegt, bestehende Beispiele kurz vorgestellt und die im weiteren Verlauf der Arbeit verwendeten Definitionen erläutert. Der nachfolgenden *Abbildung 9* ist der schematische Überblick über die verwendete Unterteilung zu entnehmen. Der Übergang zwischen den einzelnen Gestaltungsansätzen ist fließend und kann von Subjekten durchaus unterschiedlich eingeschätzt werden.

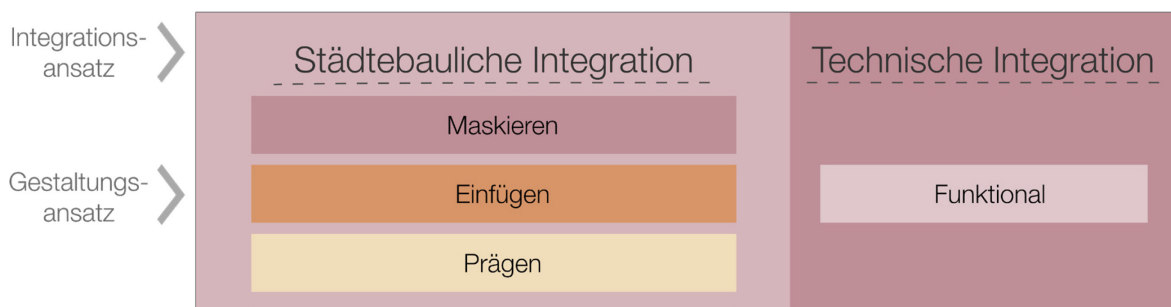


Abbildung 9 Unterscheidung Integrations- und Gestaltungsansätze
Eigene Darstellung

Maskierte Gestaltung

Als *maskierte Infrastrukturen* werden im Rahmen dieser Arbeit technische Anlagen verstanden, die bewusst so gestaltet werden, dass diese nicht als solche durch die allgemeine Bürgerschaft erkennbar sind oder erkannt werden sollen. Die *maskierte Gestaltung* weist damit Parallelen zu dem von REICHER (2017: 218) formulierten Prinzip der Unterordnung auf. ALIELDIN

et al. (2020: 1696) nehmen eine grundsätzliche Einteilung maskierter Infrastrukturen am Beispiel von Kommunikationsinfrastrukturen in *neugeschaffene Strukturen* und jene, die in *bestehende Objekte integriert* werden vor. Ein Beispiel für neugeschaffene Strukturen sind beispielsweise als Bäume getarnte Mobilfunkantennen (z.B. VOLT 2014). In bestehende Fassaden oder Schornsteinen integrierte Sendeanlagen können als Exempel der Integration in bestehende Objekte verstanden werden (z.B. BERKE 2019; MILLER 2020).

Neben der Einteilung in neu geschaffene Strukturen und der Integration in bestehende Objekte lässt sich auch eine weitere Unterteilung bezüglich der *anthropologischen Dimension* nach CUCUZZELLA & GOUBRAN (2019) der neuen Infrastrukturen vornehmen. Die anthropologische Dimension umfasst hier primär die Schaffung weiterer Mehrwerte aus anthropologischer Perspektive. So lässt sich zwischen *monofunktionalen Installationen* und *multifunktionalen Installationen* unterscheiden. Erstere verfolgen neben der technologischen Funktion einzig das Ziel, die technische Infrastruktur versteckt in die Stadt zu bringen. Als Beispiel kann hier exemplarisch die maskierte Installation von Kommunikationsinfrastruktur in bestehende Straßenlaternen genannt werden. Der Ansatz der *Multifunktionalität* schafft auf der anderen Seite neben den direkten Funktionen der technischen Infrastrukturen mindestens einen weiteren anthropologischen Mehrwert und führt so potenziell zur Aufwertung der Aufenthaltsqualität. Hierzu wird im Rahmen dieser Arbeit etwa die Einbringung neuer Funktionalitäten in den urbanen Raum, die Festigung der Stadtidentität oder die Aufwertung des Stadtbilds verstanden. Im Rahmen des Projekts staBAK (Stadtbildkompatible Berliner Aufbauvariante Kleinzelle) der Berliner *Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe* wurde beispielsweise ein Mobilfunk-Kleinzellenstandort entworfen, welcher neben der versteckten Mobilfunktechnik Platz für einen Abfalleimer der städtischen Straßenreinigung vorsieht (SENATSVORWALTUNG FÜR WIRTSCHAFT, ENERGIE UND BETRIEBE 2021b: 31, 2021a) und so für ein saubereres Stadtbild sorgen kann. Am Markt bestehen bereits vielfältige Angebote, Mobilfunkinfrastrukturen auf mannigfaltige Weise zu verstecken (z.B. COMMScope 2020; ERICSSON 2022; RAYCAP 2022), die sich der hier vorgestellten Kategorie zuordnen lassen. Damit reagieren die Hersteller von sogenannten „concealment“-Lösungen auch auf die Vorgaben diverser US-amerikanischer Städte, die eine möglichst unsichtbare Integration von

Mobilfunkanlagen zum Schutz des Stadtbilds vorschreiben (z.B. SALT LAKE CITY 2018; CITY OF PITTSBURGH 2020).

Konträr zum Vorgehen, technische Infrastrukturen möglichst unauffällig zu gestalten, gibt z.B. die US-amerikanische Professorin Lisa Parks zu bedenken, dass nur eine sichtbare beziehungsweise wahrnehmbare Infrastruktur die notwendige gesellschaftliche Diskussion über ebenjene ermöglicht. Sie fordert daher neue Ansätze zur Infrastrukturgestaltung. Versteckende Ansätze verfolgen lediglich das Ziel, die Bevölkerung im Unklaren über die technischen Systeme zu lassen, die sie umgeben und nutzen (PARKS 2007: 345ff.). Auch FORGE et al. (2019: 76) vermuten große Potenziale in der, zumindest partiellen, Sichtbarmachung technischer Infrastrukturen zur Steigerung gesellschaftlicher Akzeptanz. Versteckte Anlagen erwecken bei der Bürgerschaft zum Teil Bedenken und lösen Skepsis gegenüber der verbauten Technik aus.

Einfügende Gestaltung

Als *einfügender Gestaltungsansatz* sollen Installationen verstanden werden, die nach BESIER (2016: 412) eine dezente Raumwirkung vorweisen und mit zurückhaltenden Gestaltungselementen arbeiten. Hierunter lässt sich auch das von REICHER (2017: 218) formulierte Prinzip der Einordnung zählen. Der Bestand wird aufgenommen und das Neue gemäß der bestehenden Qualitäten entworfen. In Abgrenzung zu der *Maskierung* ist die *einfügende Gestaltung* im Stadtraum, wenn auch dezent, wahrnehmbar.

Auf eine einfügende Integration der Vielzahl von Objekten des Stadtraums wirkt beispielsweise die Stadt Köln mit ihrem Gestaltungshandbuch hin (STADT KÖLN 2018). Auch technische Infrastrukturen wie z.B. Kabelverteilerschränke der Stromversorgung oder Ladeinfrastrukturen für Elektromobilität sollen in definierten Stadtbereichen gemäß einer *einfügenden Gestaltung* in den Stadtraum eingebracht werden. Das einfügende Gestaltungsprinzip ist sowohl auf neu geschaffene Objekte als auch auf die Integration in Bestandsobjekte anwendbar. Als Beispiel für die Integration neuer Smart City-Infrastrukturen kann die seitens der Stadt Köln formulierte *einfügende Gestaltung* von Ladesäulen genannt werden (STADT KÖLN 2018: 127). Ein im Rahmen eines Forschungsprojekts entstandenes Beispiel für die einfügende Integration im Bestand kann in Berlin ausgemacht werden (*Abbildung 10*). Hier wurde eine Mobilfunkinfrastruktur an

eine bestehende Beleuchtungsanlage montiert. In der Gestaltung nimmt die neue wahrnehmbare Infrastruktur die Farbgebung und Materialität des Trägermediums auf und schafft durch Berliner Wappentier einen lokalen Bezug. Analog zu der maskierten Gestaltung ist auch die Bereitstellung anthropologischer Mehrwerte im Rahmen der einfügenden Integration denkbar.



Abbildung 10 Laterne mit einfügender Mobilfunktechnik in Berlin
Eigenes Foto

Prägende Gestaltung

Ebenfalls zu der wahrnehmbaren Gestaltung zählt das prägende Gestaltungsprinzip. Die prägende Gestaltung ist durch eine starke Raumwirkung charakterisiert (BESIER 2016: 412). Die neuen Objekte orientieren sich dabei nicht an dem Bestand (REICHER 2017: 218). Als eine prägende Installation eines neuen Objekts im Kontext von Smart City-Infrastrukturen kann beispielsweise der *CityTree* der Firma Green City Solutions verstanden werden. Dieser kombiniert den Smart City-Anwendungsfall der Feinstaubsensorik mit der Schaffung von Verweilmöglichkeiten zur Erhöhung der Aufenthaltsqualität (GREEN CITY SOLUTIONS GMBH 2021: 3) und adressiert damit auch die anthropologische Dimension in einem hohen Maße. Die Größe sowie die auffällige Gestaltung

der City Trees macht sie zu stadtraumprägenden Objekten. Die prägende Installation am Beispiel von Bestandsstrukturen kann bei CUCUZZELLA & GOUBRAN (2019) identifiziert werden. Die Autor*innen betrachten die Wettbewerbsbeiträge studentischer Gruppen zur Umgestaltung und technischen Weiterentwicklung von Bushaltestellen.

Funktionale Gestaltung

Als abschließendes Gestaltungsprinzip wird die funktionale Gestaltung, welche sich der technischen Integration zuordnen lässt, vorgestellt. Analog zu den anderen Ansätzen, lassen sich funktionale Ansätze für neue Strukturen sowie im Bestand umsetzen. Als funktionale Gestaltung wird, vergleichbar zu der physischen Integration nach CUCUZZELLA & GOUBRAN (2019) und dem technischen Entwurfsansatz nach BESIER (2016: 411), die technikorientierte Installation von Infrastrukturen verstanden. Gestalterische Aspekte werden in der Installation nicht berücksichtigt.

Als eine *funktionale Installation* im Bestand kann beispielsweise die in *Abbildung 11* zu sehende Nachrüstung von Verkehrssensoren an Straßenlaternen verstanden werden. In diesem Fall wird die Smart City-Infrastruktur in ihrer ursprünglichen Form ohne signifikante Bemühungen zur Integration in das bestehende Stadtbild installiert. *Neu geschaffene Objekte mit funktionaler Installation* stellen beispielsweise diverse Ansätze von Ladeinfrastrukturen für die Elektromobilität dar. Prinzipiell ist die Berücksichtigung der anthropologischen Dimension auch bei der funktionalen Gestaltung möglich. Da bei diesem Ansatz jedoch die technische Funktionalität stark priorisiert wird, erscheint es unwahrscheinlich, dass die anthropologische Dimension adressiert wird.



Abbildung 11 Funktional gestaltete technische Infrastrukturen in Aachen
Eigene Fotos

3 5G als Treiber intelligenter und vernetzter Städte

Der fünfte Mobilfunkstandard (5G) stellt die Grundlage einer Vielzahl an innovativen Ansätzen und Anwendungsfällen für die drahtlose Kommunikation der Zukunft dar. Besonders für die Smart City eröffnet 5G eine Reihe an neuen Möglichkeiten und bildet zukünftig eine wichtige Basistechnologie für intelligente Städte (GOHAR & NENCIONI 2021: 18; RAO & PRASAD 2018: 174). Der sich noch im Ausbau befindende 5G-Mobilfunkstandard eignet sich mit seinen stetig zunehmenden Infrastrukturen als aktuelles Beispiel für die Untersuchung der städtebaulichen Integration unterstützender technischer Infrastrukturen und deren Auswirkungen auf die gesellschaftliche Akzeptanz.

Als abschließende theoretische Betrachtung und Überleitung zu den empirischen Ansätzen werden der Mobilfunkstandard 5G und dessen räumliche Auswirkungen im Folgenden in den Fokus gesetzt. Im weiteren Verlauf der Arbeit erfolgt die empirische Auseinandersetzung dezidiert mit dem Ausbau von 5G-Sendeanlagen. Dafür wird der 5G-Mobilfunkstandard und die durch den Ausbau antizipierten Auswirkungen auf den umliegenden Stadtraum vorgestellt. Ferner werden die Aspekte der Akzeptanz sowie bestehende städtebauliche Integrationsansätze, analog zu der allgemein theoretischen Betrachtung zuvor, für 5G-Sendeinfrastrukturen dargelegt.

3.1 Mobilfunk als Säule der Digitalisierung

Die Digitalisierung in Gesellschaft und Wirtschaft schreitet weltweit immer schneller voran (KRCMAR 2018: 5 ff.; SAAMAN 2017: 2ff.). Eine der zentralen Säulen der digital vernetzten Welt ist der Mobilfunk, welcher einen Datenaustausch und die kabellose virtuelle Kommunikation von Mensch und Maschine ermöglicht (BMVI 2019b: 5f.). Der Mobilfunk nutzt zur Daten- und Sprachübertragung geradlinige und unsichtbare elektromagnetische Funkwellen. Die Ausbreitung der Funkwellen unterliegt physikalischen Grundlagen sowie der materiellen Ausgestaltung der Umwelt. Dabei nimmt die Intensität der Funkwellen quadratisch zur Entfernung ab. Verdoppelt sich

die Entfernung von z.B. Antenne und Objekt, nimmt die Sendeintensität dementsprechend auf ein Viertel des Ausgangswerts ab. Zudem werden die Funkwellen von Objekten wie Häusern oder Bäumen gedämpft bzw. reflektiert (BDBOS 2021). In der Regel werden elektromagnetische Wellen anhand ihrer Frequenzen eingeordnet. Die Frequenz beschreibt dabei die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. 1 Hertz (Hz) entspricht einer Schwingung pro Sekunde. Die elektromagnetischen Felder werden entsprechend ihrer Frequenz in niederfrequente Felder (<100 kHz) (1 kHz = 1.000 Schwingungen/Sek) und hochfrequente Felder (100 kHz – 300 GHz) (1 GHz = $1.000.000.000$ Schwingungen/Sek) unterteilt. Der Mobilfunk fällt, wie z.B. WLAN, in den hochfrequenten Bereich (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ 2021a).

Allein in Deutschland gab es Ende 2020 ca. 150 Millionen Mobilfunkanschlüsse. Gegenüber den knapp 79 Mio. Anschlüssen im Jahr 2005 hat sich deren Anzahl damit in den letzten 15 Jahren fast verdoppelt (BNETZA 2021d). Im Jahr 2021 wurde mit einer Zunahme um 1.485 Mio. GB die höchste Steigerung des mobilen Datenvolumens bisher festgestellt (BNETZA 2021b: 62). Die genannten Daten beziehen sich dabei lediglich auf die Komponenten des Mobilfunks, bei denen eine direkte menschliche Interaktion, z.B. in Form des Besitzes eines Mobilfunkanschlusses und der Nutzung des eigenen Smartphones, vorliegt. Seit einigen Jahren erlangen jedoch industrielle Anwendungen, wie die Massenkonnektivität im Bereich des IoT oder die Realisierung von Echtzeitanwendungen vermehrt an Bedeutung im Bereich des Mobilfunks (GROTEPASS et al. 2019: 2 ff.; LAUZI 2019: 50). Es ist vor allem diese industriell geprägte Machine-to-Machine-Kommunikation, welche neue und höhere Anforderungen an den Mobilfunk zur Realisierung neuer Anwendungen stellt und für die Smart City einen vielversprechenden Ansatz darstellt (ATTARAN 2021: 14). Neben höheren Übertragungsgeschwindigkeiten rücken aktuell auch die Aspekte der Sicherheit, Zuverlässigkeit oder Kapazitätssteigerung in den Vordergrund (BMVI 2017b: 2f.).

Um die stetig steigenden Anforderungen an den Mobilfunk umsetzen zu können, wird kontinuierlich an neuen Mobilfunkstandards und damit neuen technischen Möglichkeiten gearbeitet. Ein neuer Mobilfunkstandard wird

dabei rückblickend etwa alle 10 Jahre realisiert. Dabei handelt es sich bei einem Mobilfunkstandard weniger um eine formale Definition, sondern mehr um einen Industriekonsens, üblicherweise in Kombination mit einer neuen Funkschnittstelle und Netzarchitektur (COX 2021: 5). Eine kompakte Übersicht bisheriger Mobilfunkstandards ist in *Tabelle 1* dargestellt.

Tabelle 1 Übersicht Mobilfunkgenerationen
Eigene Darstellung nach SAGHEZCHI et al. 2015

Mobilfunkgeneration	Rollout	Datenrate	
		<i>mobil</i>	<i>stationär</i>
1G	1981	-	-
2G	1992	-	-
3G	2001	384 Kbps	>2 Mbps
4G	2011	100 Mbps	1 Gbps

3.2 Der fünfte Mobilfunkstandard

Während die vorherigen Mobilfunkstandards den Fokus auf die Endnutzer von Mobilfunkgeräten legten, zeichnet sich 5G durch eine Diversität in der Adressierung von Anwendungen und Nutzenden aus. Eine neue zentrale Funktionalität von 5G stellt die Maschinenkommunikation beispielsweise für industrielle, Smart City- oder Mobilitätsanwendungen dar (COVELL & LIEBHART 2019: 1f.). 2018 wurden von der Standardisierungsorganisation 3GPP erstmals die Standards der ersten Phase von 5G veröffentlicht. Dazu gehörten die zentralen Säulen der Funktionalität von 5G, dem Enhanced Mobile Broadband (eMBB), die Ultra Reliable and Low Latency Communication (URLLC) sowie das Massive Internet of Things (mIoT) (3GPP 2019: 9f.). Die Mehrwerte, die durch 5G für Mensch und Maschine entstehen, sind eng an diese Kernfunktionen gebunden:

Enhanced Mobile Broadband (eMBB) ermöglicht die Bereitstellung von signifikant erhöhten Datenraten und richtet sich damit vor allem an Endnutzer*innen. Mögliche Anwendungen umfassen vor allem datenintensive Vorgänge wie Augmented und Virtual Reality (AR /VR) sowie hochauflösende Videoanwendungen oder die Bereitstellung hoher Kapazitäten in hochfrequentierten Bereichen wie Innenstädten oder Stadien

(COX 2021: 11f.). eMBB ermöglicht Datenraten von bis zu 20 Gbit/s im Download und 10 Gbit/s im Upload (ITU 2017: 2).

Ultra Reliable and Low Latency Communication (URLLC) beschreibt den 5G Anwendungsfall sehr geringer Latenzen, welche in der Regel an eine hohe Zuverlässigkeit der Services geknüpft sind. Die Latenz beschreibt den Zeitbedarf zwischen Versand und Empfang von Datenpaketen. Anwendungsfälle von URLLC besitzen höchste Anforderungen an die Verbindungsqualität. Das sind beispielsweise industrielle Steuersignale für Roboter oder die autonome Mobilität (COX 2021: 13f.; LEIDINGER et al. 2019: 6). URLLC ermöglicht Latenzen von unter 1 Millisekunde (ITU 2017: 6) bei einer Zuverlässigkeit von 99,999% (GROTEPASS et al. 2019: 4).

Massive Internet of Things (mIoT), auch *Massive Machine-type Communication (mMTC)*, spezifiziert die drahtlose Verbindung zwischen Maschinen ohne menschliche Interaktion. 5G ermöglicht mit mIoT/mMTC die Vernetzung, den Austausch und die Datenanalyse durch eine Vielzahl von Geräten (COX 2021: 12). Ein Anwendungsfall für mIoT/mMTC, der in dieser Arbeit besondere Beachtung erfährt, ist die Smart City und die Vernetzung ihrer vielfältigen Sensoren und Infrastrukturen (LEIDINGER et al. 2019: 6). Dabei ermöglicht 5G die Vernetzung von bis zu einer Million Endgeräte pro km² (ITU 2017: 6).

Graphisch dargestellt werden die Funktionalitäten von 5G oft in dem sogenannten *5G-Dreieck* (*Abbildung 12*). Jede der drei vorgestellten Funktionalitäten stellt dabei eine Ecke des Dreiecks dar. Mögliche Anwendungen werden gemäß der Anforderungen an die Funktionalität im Dreieck verortet. Die graphische Darstellung der 5G Funktionalitäten verdeutlicht dabei gleichzeitig die Möglichkeiten von 5G sowie die Tatsache, dass 5G-Netze entsprechend ihren Anwendungsfällen angepasst werden müssen.

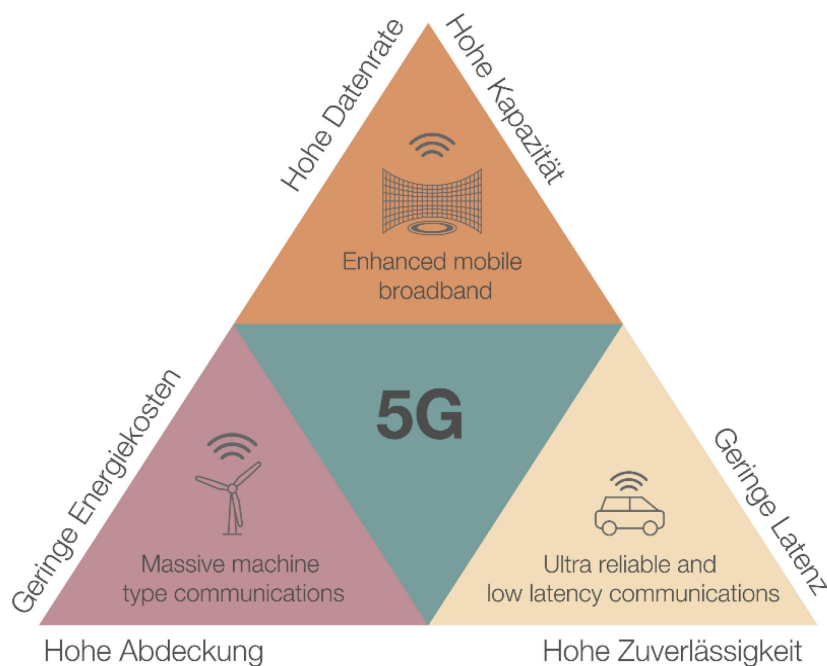


Abbildung 12 5G-Dreieck
Eigene Darstellung nach KAPOR 2019

Neben den genannten Vorteilen des neuen Mobilfunkstandards bietet 5G weitere Vorzüge, wie beispielsweise der verringerte Energiebedarf pro Dateneinheit (SAGHEZCHI et al. 2015: 9f.) sowie das Network Slicing, welche es Betreibenden ermöglicht, Teile des Netzwerks anwendungsbezogen zur Verfügung zu stellen (COVELL & LIEBHART 2019: 15).

Das Frequenzspektrum der elektromagnetischen Strahlung für 5G umfasst neben den bereits heute verwendeten Frequenzbereichen von 700 MHz und den Bereich um 2 GHz auch die 2019 erstmals versteigerten Bereiche von 3,4-3,7 GHz sowie den für lokale Anwendungen (Campus Netze) reservierten Bereich von 3,7-3,8 GHz (BMVI 2017a: 8; BNETZA 2021a; LEIDINGER et al. 2019: 11). Um mittels 5G noch höhere Bandbreiten und Kapazitäten den Nutzenden zur Verfügung stellen zu können, wird perspektivisch auch der Frequenzbereich oberhalb von 24 GHz genutzt werden (BMVI 2017a: 8). Mit steigender Frequenz lassen sich beispielsweise zwar höhere Datenraten realisieren. Gleichzeitig nimmt die Dämpfung des Signals aber zu, sodass die Reichweite von Sendestandorten bei ansonsten gleichbleibenden Parametern sinkt (LEIDINGER et al. 2019: 11). Zur

Abdeckung der gleichen Fläche werden u.a. durch die erhöhten Frequenzen von 5G mehr Sendeanlagen benötigt. Aufgrund der erhöhten Raumrelevanz wird im weiteren Verlauf der Arbeit der Fokus auf die Frequenzen oberhalb von 3,4 GHz gelegt, da diese vermehrt den Neubau, beziehungsweise Ausbau von technischen Infrastrukturen voraussetzen. Die Nutzung höherer Frequenzbereiche steht auch im Zentrum der 5G-Kritik, die im Rahmen des Kapitels 3.3.3 näher erläutert wird.

3.3 5G-Sendeinfrastrukturen

Gegenüber bisherigen Mobilfunknetzen und deren Sendefunkturen stellt das 5G-Netz aufgrund der dargelegten Gegebenheiten neue Anforderungen an die Sendestandorte- und -infrastrukturen. Neben dem Umbau sowie der Neuerrichtung von klassischen Dachstandorten für Antennenanlagen, den sogenannte Makro-Standorten, wird der Aufbau vieler Kleinzellen-Sendeanlagen durch 5G zunehmen müssen, die in ihrem Aufbau eher mit WLAN-Accesspoints vergleichbar sind (ATTARAN 2021: 4; BMVI 2019a: 10; SHAIK & MALIK 2021: 28806). Im Folgenden werden die beiden Sendestandorttypen, Makro-Standorte und Kleinzellenanlagen, vorgestellt und deren unterschiedliche Raumwirksamkeit aufgezeigt. Im weiteren Verlauf der Arbeit stehen die Kleinzellenanlagen im Zentrum der Betrachtung und werden dementsprechend detaillierter betrachtet.

3.3.1 Makro-Standorte

Die heutige Versorgung mit Mobilfunk geschieht in der Regel durch „große“, sogenannte Makro-Sendestandorte, die auf Dächern oder Masten verortet sind (BMVI 2019a: 12). Nachfolgend werden *Aufbau* sowie *rechtliche Rahmenbedingungen* des 5G-Ausbaus für Makro-Standorte hinsichtlich ihrer raumwirksamen Relevanz vorgestellt.

Aufbau

Für eine optimale Raumabdeckung bilden bei heutigen Makro-Standorten in der Regel drei Sende- und Empfangssektoren pro Mobilfunkbetreiberunternehmen einen Makrostandort. Der Standort besteht vornehmlich aus den Komponenten der Antennen, Systemtechnik,

Verkabelungen und Systemtechnik-Schränken und / oder separaten Funkmodulen, Stromwandlern sowie einer Pufferbatterie. Die Systemtechnik und die dazugehörigen Komponenten sind dabei häufig in einem separaten Betriebsgebäude verortet. (BMVI 2019a: 12). Die Makro-Standorte werden zukünftig wie heute für eine flächendeckende Mobilfunkversorgung eingesetzt.

Zum Aufbau eines 5G-Netzes spielt der Ausbau, beziehungsweise die Aufrüstung von bestehenden Makrostandorten eine zentrale Rolle. Bei dem Ausbau bestehender Mobilfunkstandorte für 5G wird unter anderem eine multi-aktive-Antennen-Einheit (auch Active Antenna Units, AAUs) nachträglich der Konstruktion hinzugefügt. Hürden der Aufrüstbarkeit sind vor allem im Baurecht und bei den Rahmenbedingungen der Zulassung zu identifizieren. Aber auch physikalische und ökonomische Gründe können einen Ausbau erschweren oder verhindern. Ergänzend zu der Aufrüstung bestehender Standorte wird der Neubau von Makro-Standorten unter anderem aufgrund der geringeren Senderadien notwendig sein. Im Gegensatz zu bestehenden Makro-Standorten, weisen neuartige Sendeanlagen häufig einen einfacheren Aufbau auf und eignen sich auf diese Weise auch für bisher nicht nutzbare Flächen. So kann beispielsweise die Größe der Netztechnik reduziert werden (BMVI 2019a: 13ff.). Der *Abbildung 13* ist der schematische 5G-Ausbau eines Makrostandortes zu entnehmen. Der Ausbau von Mobilfunk-Makrostandorten ist sowohl durch gesetzliche sowie untergesetzliche Bestimmungen geregelt. Neben Vorgaben des Immissionsschutzes sowie des Bauplanungs- und Bauordnungsrechts haben sich die Netzbetreiber mit den Kommunen auf verschiedene Transparenz- und Dialogmaßnahmen geeinigt (SOIKE 2019: 5).

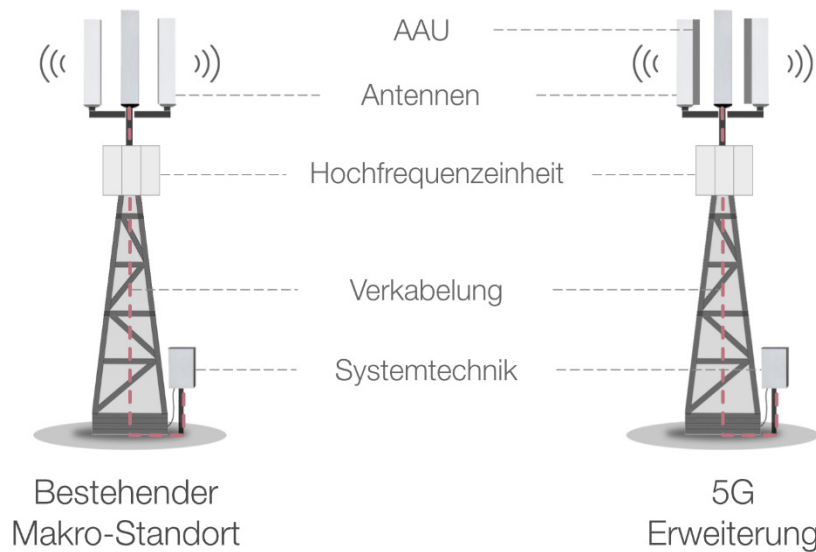


Abbildung 13 Schematisch Aufbau und 5G-Erweiterung eines bestehenden Makrostandort
Eigene Darstellung ergänzt nach BMVI 2019a

Rechtliche Rahmenbedingungen des Mobilfunkausbaus

Zentrale Grundlage weiterer rechtlicher Prüfungen des Mobilfunkausbaus ist der Immissionsschutz, welcher für den Mobilfunk primär durch die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) vorgegeben wird. Für die Errichtung und den Betrieb der Mobilfunkanlagen ist nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) keine Genehmigung einzuholen. Allerdings müssen die Hochfrequenzanlagen bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) im Zuge eines Standortbescheinigungsverfahren angezeigt werden (§7 Abs. 1 26. BImSchV) und dürfen, sofern die Hochfrequenzanlagen eine äquivalente isotropen Strahlungsleistung (EIRP) von 10 Watt oder mehr aufweisen, die festgelegten Grenzwerte gemäß §2 sowie den Anhängen 1a und 1b nicht überschreiten. Seit 2013 sieht die 26. BImSchV gemäß §7a zudem eine Beteiligung der Kommunen zur Standortfindung vor. Diese Beteiligung wird aber in der Regel bei der Beachtung bestehender Verbändevereinbarungen und Selbstverpflichtungen der Mobilfunkbetreiber bereits erfüllt (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ 2014: 39). Ergänzend zum Immissionsschutz sind insbesondere für den Aufbau von Makro-Standorten bauordnungs- und planungsrechtliche Regelungen zu berücksichtigen. Die Anwendung der baurechtlichen Bestimmungen gestaltet sich in der Praxis herausfordernd, da diese zum Teil unbestimmte

Rechtsbegriffe verwenden, welche auszulegen sind und sich überwiegend auf Einzelfallentscheidungen beziehen (SOIKE 2019: 26).

3.3.2 Kleinzellensendeanlagen

Um durch Makrostandorte aufgespannte Mobilfunknetzte weiter zu verstärken, mehr Kapazitäten bereitzustellen und neue Anwendungen zu ermöglichen, rücken Kleinzellenanlagen, sogenannte Small Cells, vorrangig im urbanen und hoch frequentierten Raum, vermehrt in den Fokus des Netzausbaus (BMVI 2019a: 2; SAGHEZCHI et al. 2015: 24; SOIKE 2019: 24). Kleinzellenanlagen zeichnen sich insbesondere durch eine niedrige Sendeleistung und eine geringe Ausdehnung des abgestrahlten Funknetzes aus (LEIDINGER et al. 2019: 13). Die deutschen Mobilfunknetzbetreiber sehen Kleinzellenanlagen als wichtige Ergänzung existenter Makronetze zur Steigerung der Übertragungsgeschwindigkeiten und -kapazitäten. Perspektivisch sollen Kleinzellen auch direkte funktionale Aufgaben, wie die Unterstützung beim vernetzten und autonomen Fahren übernehmen und so einen zentralen Bestandteil von 5G-Netzen darstellen (DEUTSCHE TELEKOM TECHNIK GMBH, TELEFÓNICA GERMANY GMBH & CO. OHG, VODAFONE GMBH, DRILLISCH NETZ AG 2020: 2).

Aufbau

Die für Kleinzellen eingesetzten Sendeinfrastrukturen gleichen eher vergrößerten WLAN-Accesspoints als klassischen Mobilfunkantennen. Die Kleinzellen-Sendeinfrastruktur setzt sich neben der Antenne aus den kompakten Komponenten der Systemtechnik, der Datenanbindung, Stromversorgung sowie einer Belüftung und Erdung zusammen.

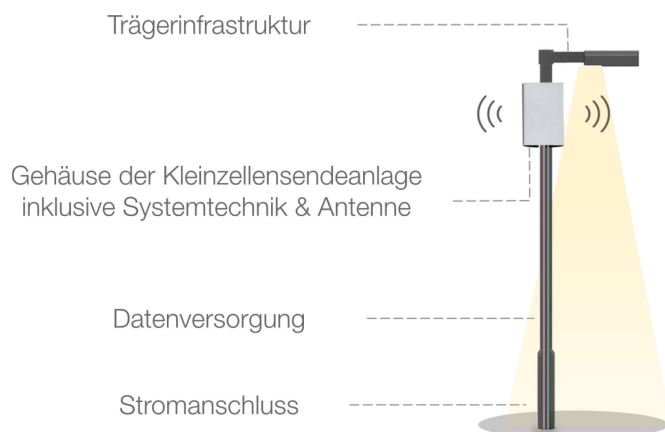


Abbildung 14 Schematischer Aufbau einer 5G-Kleinzellenanlage
Eigene Darstellung

Standortabhängig ist ein angepasstes Gehäuse nötig. Als Standorte für Kleinzellensendeanlagen bieten sich bestehende Infrastrukturen des Stadtraumes an, welche aus Perspektive des Immissionsschutzes eine Höhe von 2,3 m überschreiten sollten. Dazu zählen etwa Masten, z.B. von Beleuchtungs- oder Ampelanlagen, Stadtmöbel wie Litfaßsäulen oder Bushaltestellen sowie Gebäudefassaden und niedrige Dächer (BMVI 2019a: 17f.). Diese bestehenden Infrastrukturen, an welche die Kleinzellenanlagen angebracht werden können, werden im Rahmen dieser Arbeit als Trägerinfrastrukturen zusammengefasst. Die Telekom definiert Trägerinfrastrukturen als *„von dem Standortpartner errichtete und/oder betriebene Objekte und Einrichtungen, die für Menschen im öffentlichen Raum aufgestellt sind und/oder auf öffentlichem Grund und Boden errichtet sind“* (TELEKOM DEUTSCHLAND GMBH 2019b: 2). Die Europäische Kommission geht davon aus, dass das Volumen der benötigten Hardware für Kleinzellenanlagen für den Außenbereich 30 Liter sowie ein Gewicht von 50 kg nicht überschreiten muss (EUROPEAN COMMISSION 2020a: 11; FORGE et al. 2019: 96). *Abbildung 14* kann der schematische Aufbau einer Kleinzellensendeanlage an einem Laternenmast entnommen werden.

Kleinzellen können dabei ein breites Spektrum an unterschiedlichen Frequenzen bedienen. Unterteilt werden die Frequenzbereiche von Kleinzellen nach der 3GPP-Definition in die Bereiche unter 6 GHz sowie in den Millimeterwellenbereich (mmWave) (SMALL CELL FORUM 2020: 3). Die Millimeterwellen-Kommunikation ermöglicht die signifikante Erhöhung der Mobilfunkkapazitäten und agiert im Bereich 30 – 300 GHz (LIU et al. 2018: 40). Wie in Kapitel 3.1 dargelegt, führt die Nutzung der höheren Frequenzen jedoch zu einer geringeren Signalreichweite und Penetrationsfähigkeit von Objekten. Funkverbindungen im Millimeterwellenbereich werden beispielsweise von Wänden oder Bäumen unterbrochen und benötigen in der Regel eine direkte Sichtverbindung (ADASME et al. 2022: 732; BMVI 2019a: 23). Während aktuell überwiegend Kleinzellenanlagen im Frequenzbereich unter 6 GHz installiert werden, wird angenommen, dass bereits ab dem Jahr 2026 die Neuinstallationen im Millimeterwellenbereich überwiegen werden (SMALL CELL FORUM 2021: 9).

Aufgrund der signifikant geringeren Abdeckungsreichweite von Kleinzellen wird im Vergleich zu Makro-Standorten eine deutlich höhere Anzahl an Kleinzellenanlagen benötigt, um dieselbe Fläche zu versorgen. Das Marktforschungsinstitut IDTechEx antizipiert im Jahr 2031 bereits 45 Millionen Small Cells weltweit (IDTECHEx 2021). Die EU-Kommission geht zukünftig von bis zu 1000 Small Cells pro Quadratkilometer in urbanen Gebieten aus (EUROPEAN COMMISSION 2020b: 2). Auch wenn ein Großteil, beispielsweise wie vom Small Cell Forum angenommen ca. 80% der Small Cells zukünftig in Innenräumen verortet werden (SMALL CELL FORUM 2017), so ist immer noch von einer hohen Anzahl neuer Sendeinfrastrukturen im öffentlichen Raum auszugehen (FORGE et al. 2019: 28). Der hohe Bedarf an neuen Sendeinfrastrukturen im Stadtraum führt für die Betreiber dieser Netze zu neuen operativen Herausforderungen im Roll-out (BMVI 2019a: 16f.). Als aktuell größte Hindernisse des Small Cell-Ausbaus im öffentlichen Raum werden der Zugang zu Standorten, die hohen Gesamtkosten sowie die damit verbundene Frage nach wirtschaftlich attraktiven Anwendungsfällen gesehen (SMALL CELL FORUM 2021: 7). Zudem müssen Kleinzellenanlagen deutlich ortsgenauer installiert werden und weisen geringere Spielräume in der Standortfindung auf (DEUTSCHE TELEKOM TECHNIK GMBH, TELEFÓNICA GERMANY GMBH & CO. OHG, VODAFONE GMBH, DRILLISCH NETZ AG 2020: 3).

Die geringere Reichweite der Small Cells bedingt ebenfalls, dass diese aus Netzabdeckungsperspektive möglichst nah an den Endgeräten und damit wahrnehmbarer im Stadtraum verortet werden sollten. Immissionsrechtlich ist eine Anbringungshöhe von 2,3 m über dem Grund ausreichend (BMVI 2019a: 22). FORGE et al. (2019: 96) schlagen eine Anbringungshöhe zwischen 3 – 5 m über dem Straßenlevel vor.

Geeignete Standorte für Kleinzellenanlagen weisen diverse technische sowie prozessuale Anforderungen auf. Zu den Anforderungen nach dem *BMVI* (2019a: 20f.) gehören:

Technische Anforderungen:

- Ca. 0,5 m² Grundfläche für die technischen Bestandteile
- Statische Voraussetzung der potenziellen Trägerinfrastrukturen
- Stromanschluss

Prozessuale Anforderungen:

- Flexible und individuelle Zugangsregelungen zum Standort
- Aufstellung eines Prozesses bei notwendiger Abschaltung des Standorts
- Zeitnahe Information zu Störungen
- Einfache Abrechnungsmodalitäten des Stromverbrauchs
- Digitaler Informationsaustausch
- Digitale Bereitstellung von Standortinformationen zur Identifizierung potenzieller Standorte

Städtebauliche Integrationsansätze von Kleinzellenanlagen

Trotz der Vielzahl der genannten Voraussetzungen eignen sich viele bestehende Infrastrukturen im Stadtraum für die Anbringung von Kleinzellenanlagen. Die meisten dieser Standorte sind im Besitz beziehungsweise im Verfügungsbereich der Kommunen und ihrer Betriebe. Zu den potenziellen Standorten gehören etwa Beleuchtungsanlagen, Versorgungskästen, Fahrgastinformationstafeln, Gebäudefassaden und Dachkanten, Fahrleitungsmasten, Lichtsignalanlagen oder Verkehrszeichenträger. Die *Arbeitsgruppe Digitale Netze* des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr sieht aus technischer, rechtlicher und organisatorischer Perspektive insbesondere Beleuchtungsanlagen, Gebäudefassaden und Fahrgastinformationstafeln als sehr geeignet für den Kleinzellenausbau an (BMVI 2019a: 33). Städtebauliche Aspekte wurden in dieser Analyse nicht berücksichtigt. Die *AG Digitale Netze* hat drei archetypische Bauformen identifiziert, um die Kleinzellensendetechnik im Stadtraum zu verorten (BMVI 2019a: 17ff.). Die Telekom benennt in der Anlage zu ihrem *Rahmenvertrag zur Errichtung und zum Betrieb von Funkanlagen auf bzw. an kommunaler Infrastruktur* ebenfalls drei mögliche Aufbauvarianten aus denen die Kommunen wählen können, um „ein dem Stadtbild angemessenes äußeres Erscheinungsbild der kommunalen Trägerinfrastruktur zu erreichen“ (TELEKOM DEUTSCHLAND GMBH 2019a,

2019b: 7). Es bleibt jedoch festzustellen, dass die städtebauliche Integration, beziehungsweise die Auswirkungen der materiellen Bestandteile von Kleinzellenanlagen auf den Stadtraum höchstens am Rande der aufgezeigten Dokumente behandelt werden.

Im Folgenden werden die ausgemachten Aufbauvarianten kompakt dargelegt:

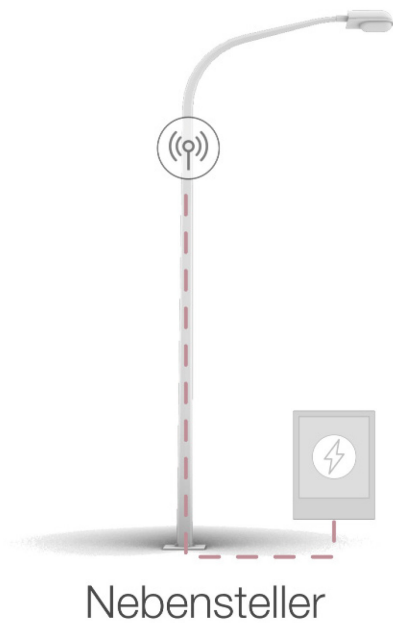


Abbildung 15 Schematische Darstellung
Nebenseller
Eigene Darstellung auf Grundlage Kubatta 2022

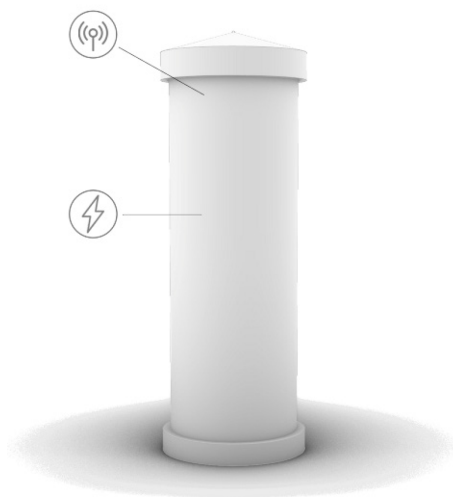
Bei der Aufbauform „Nebenseller“ wird die benötigte Technik in einem Gehäuse am Boden in unmittelbarer Nähe zum Antennenstandort positioniert (Abbildung 15). Die Antenne ist an einer Trägerinfrastruktur befestigt. Die Aufteilung von Antenne und der weiteren Technik ermöglicht eine hohe Anzahl von Varianten für visuelle Anpassungen (BMVI 2019a: 18). Diese Aufbauvariante kann je nach Ausgestaltung allen in Kapitel 2.3.4 vorgestellten Gestaltungsansätzen für technische Infrastrukturen zugeordnet werden. Die von der Telekom aufgezeigte Umsetzung eines Nebensellers zielt dabei auf eine möglichst unauffällige Integration in Form einer maskierten Gestaltung ab (TELEKOM DEUTSCHLAND GMBH 2019a: 2).



Umschluss- / Seitengehäuse

Abbildung 16 Schematische Darstellung
Umschluss- / Seitengehäuse
Eigene Darstellung auf Grundlage Kubatta 2022

Vornehmlich an Masten wird bei der Aufbauvariante des *Umschluss- oder Seitengehäuses* die benötigte Sendetechnik kompakt an der Trägerinfrastruktur befestigt (*Abbildung 16*). Mit der Anbringungshöhe steigt der Aufwand für Installation und Instandhaltung, gleichzeitig sinkt jedoch die Gefahr des Vandalismus (BMVI 2019a: 19). Diese Aufbauvariante kann in der Regel dem in Kapitel 2.3.4 vorgestellten funktionalen oder einfügenden Gestaltung zugeordnet werden. Die beispielhafte Darstellung der Telekom ist funktional geprägt und zielt nicht auf den Erhalt oder die Aufwertung des Stadtbildes ab (TELEKOM DEUTSCHLAND GMBH 2019a: 5).



Standortintegrierte Systemtechnik

Abbildung 17 Schematische Darstellung
Standortintegrierte Systemtechnik
Eigene Darstellung auf Grundlage Kubatta 2022

Bei der Aufbauvariante der standortintegrierten Systemtechnik wird die benötigte Sendetechnik innerhalb einer Trägerinfrastruktur untergebracht (*Abbildung 17*). Die Aufbauvariante der standortintegrierten Systemtechnik stellt den geringsten Eingriff in das Stadtbild dar. Die Integration kann dabei in bestehende Stadtmöbel wie beispielsweise Litfaßsäulen oder in neu zu errichtende, sogenannte *smarte* Masten vorgenommen werden. (BMVI 2019a: 20; Telekom Deutschland GmbH 2019a: 1). Diese Aufbauvariante kann in der Regel dem städtebaulichen Integrationsansatz der maskierten oder einfügenden Gestaltung zugeordnet werden.

Bisher sind in der Umsetzung vornehmlich funktionale beziehungsweise maskierte Gestaltungsansätze von Kleinzellenanlagen auszumachen. So hat bereits eine Vielzahl an US-Amerikanischen Städten Regularien erlassen, die nur minimale Eingriffe von 5G-Kleinzellenanlagen in das Stadtbild erlauben (CITY AND COUNTY OF DENVER 2019: 9; SALT LAKE CITY 2018: 5 ff.). Auch andere Leitdokumente, z.B. des Small Cell Forums, empfehlen eine möglichst gering wahrnehmbare Installation von Kleinzellenanlagen (SMALL CELL FORUM 2018: 38f.). Erste Ansätze, 5G-Kleinzellenanlagen auch bewusst wahrnehmbar im öffentlichen Raum darzustellen, konnten in Pilotprojekten vor allem aus dem akademischen Umfeld identifiziert werden. In Kooperation mit der *Deutschen Telekom* und *covestro* haben Studierende des *Umea Institute of Design* aus Schweden auffällige 5G Small Cells, beispielsweise in Form eines markanten Vogels oder einer Uhr entwickelt (MEINE UND GROTE 2020: 9ff.). An der TU Kaiserslautern erstellten Studierende im Rahmen einer Lehrveranstaltung Entwürfe für umweltfreundliche Trägerinfrastrukturen aus Holz für 5G-Small Cells (TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN 2019). FORGE et al. (2019: 74f.) nehmen in ihrer Studie für die Europäische Kommission den Punkt der gestalteten Kleinzellenanlagen ebenfalls auf und sprechen sich für einen EU-weiten Designwettbewerb für Kleinzellenstandorte aus, um die Ansätze mit der höchsten gesellschaftlichen Akzeptanz zu identifizieren. Eine entsprechende Umsetzung durch die Europäischen Kommission war auf Rückfrage Ende 2020 nicht geplant. Ein ähnlicher Ansatz eines Designwettbewerbs für Kleinzellenstandorte wurde bereits 2018 in Helsinki von der Stadt Helsinki in Kooperation mit Nokia und Elisa durchgeführt (CITY OF HELSINKI 2018). Die dargestellten Lösungen adressieren primär Einzelstandortlösungen. Eine an stadt- und quartierstypen angepasste skalierbare Lösung wurde nicht identifiziert.

Rechtliche Grundlagen

Anders als bei den Makrostandorten müssen bei Kleinzellenstandorten nach §2 Abs. 1 26. BImSchV, sofern diese auch durch Aufsummierung eventueller weiterer Anlagen am Standort die Sendeleistung von 10 Watt nicht überschreiten, keine Standortbescheinigung bei der BNetzA eingeholt werden. Sofern eine oder mehrere Anlagen aufsummiert am Standort die Sendeleistung von 10 Watt überschreiten, ist analog zum Verfahren für

Makrostandorte die entsprechende Standortbescheinigung einzuholen. Die Kleinzellenanlagen müssen jedoch auch ohne Verpflichtung zur Beantragung einer Standortbescheinigung bei der BNetzA unter Angabe des Installationsortes angezeigt werden. Die anzeigepflichtigen Kleinzellenstandorte sind in der EMF-Datenbank der BNetzA enthalten und können auf der sogenannten EMF-Karte der BNetzA angezeigt werden (BNetzA 2022b). Im Rahmen der *Fortschreibung der Selbstverpflichtung gegenüber der Bundesregierung aus dem Jahr 2001 mit dem Schwerpunkt Kleinzellen* verpflichten sich die Mobilfunkbetreiber die bisher vereinbarten Maßnahmen des Mobilfunkausbaus auf den Kleinzellenausbau zu adaptieren. Das gilt insbesondere für die Immissionsthematik sowie die Beteiligung von kommunalen Akteuren am Standortfindungs- und Ausbauprozess (DEUTSCHE TELEKOM TECHNIK GMBH, TELEFÓNICA GERMANY GMBH & CO. OHG, VODAFONE GMBH, DRILLISCH NETZ AG 2020).

Das 2022 novellierte Telekommunikationsgesetz (TKG) schreibt den zuständigen Behörden in §152 TKG vor, die Errichtung „*drahtloser Zugangspunkte mit geringer Reichweite*“ (Kleinzellenanlagen) gemäß Artikel 57 Abs. 2 der EU Richtlinie 2018/197 nicht in unangemessener Weise zu beschränken. Die EU-Richtlinie sieht in Artikel 57 Abs. 1 insbesondere vor, dass die Behörden die neuen Zugangspunkte keiner individuellen städtebaulichen Genehmigung oder einer individuellen Vorabgenehmigung unterwerfen. Das TKG charakterisiert die drahtlosen Zugangspunkte in §3 Abs. 12 TKG als geringe Beeinträchtigung für das Erscheinungsbild. Eigentümer*innen, beziehungsweise Betreiber*innen öffentlicher Telekommunikationsnetze haben gemäß §153 und §154 TKG die Möglichkeit, Informationen über potenzielle, bereits existierende Trägerinfrastrukturen zu erhalten und eine Mitnutzung dieser zu beantragen. Gestalterische oder städtebauliche Belange sind dabei nach §154 TKG Abs. 4 kein Grund zur Ablehnung etwaiger Anträge.

Die FACHKOMMISSION STÄDTEBAU UND FACHKOMMISSION BAUAUFSICHT DER BAUMINISTERKONFERENZ (2020) kommt in ihren Hinweisen zur baurechtlichen Beurteilung von Mobilfunkanlagen zu dem Schluss, dass aufgrund ihrer geringen Größe die Kleinzellenanlagen im Sinne des Artikels 57 der EU Richtlinie 2018/197 und des Europäischen Kodex für die

elektronische Kommunikation „*in der Regel keine bodenrechtliche Relevanz haben*“ (FACHKOMMISSION STÄDTEBAU UND FACHKOMMISSION BAUAUFSICHT DER BAUMINISTERKONFERENZ 2020: 2). Ferner hält die Kommission fest, dass gemäß den EU-Richtlinien Kleinzellensendeanlagen, deren sichtbares Volumen 30 Liter nicht überschreiten dürfen, entweder unter die formulierten Tatbestände der Verfahrensfreiheit fallen oder sie als andere unbedeutende Anlagen nach §61 Abs. 1 Nr 15 Buchstabe e MBO verfahrensfrei sind (FACHKOMMISSION STÄDTEBAU UND FACHKOMMISSION BAUAUFSICHT DER BAUMINISTERKONFERENZ 2020: S. 3, 19). Die EU-Richtlinie 2018/197 Artikel 57 Abs. 1 sieht jedoch vor, dass die zuständigen Behörden im Einklang mit nationalem Recht Genehmigungen verlangen können, sofern architektonische, historische oder ökologische Gründe oder Gründe der öffentlichen Sicherheit dies rechtfertigen.

3.3.3 Gesellschaftliche Akzeptanz von 5G-Infrastrukturen

Wie bereits vorangegangene Mobilfunkstandards, erfährt auch 5G eine große Bandbreite an gesellschaftlicher Kritik während des Ausbaus. Bereits vor dem flächendeckenden Ausrollen der 5G-Anlagen wurde auf eine erneute Zunahme der öffentlichen Debatte im Rahmen des neuen Mobilfunkstandards hingewiesen (SOIKE 2019: 36). Dabei stützt sich die Kritik an 5G primär auf eine potenziell erhöhte gesundheitliche Belastung (LEIDINGER et al. 2019: 24; ROHWEDDER 2020) sowie ästhetische Beeinträchtigungen des Stadt- und Landschaftsbildes durch eine Zunahme von Sendeanlagen (BERKE 2019; FORGE et al. 2019: 73). Die Bedenken zu den gesundheitlichen Auswirkungen von 5G, bei Einhaltung bestehender Grenzwerte, können aus wissenschaftlicher Perspektive oft widerlegt werden (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ 2021b). So existieren zu den aktuell genutzten 5G-Frequenzen im sub 6 GHz-Bereich zahlreiche und überprüfte Langzeitstudien, die keine Belege für eine schädigende Wirkung des Mobilfunks liefern (z.B. BENSON et al. 2013; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ 2021b; FREI et al. 2011). Mittelfristig sollen vor allem die Small Cell Anlagen auch höhere Frequenzbänder im Milli- oder Zentimeterbereich nutzen. Für diese Frequenzen des 26, 40 oder sogar 86 GHz-Bereichs liegen aktuell noch nicht genügend Studienergebnisse vor. Es

ist jedoch ebenfalls davon auszugehen, dass bei Einhaltung der Grenzwerte keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen entstehen (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ 2021b; LEIDINGER et al. 2019: 24f.).

In regelmäßigen Studien geben bis zu 10% der Befragten an, unter einer *idiopathischen Umweltintoleranz gegenüber elektromagnetischen Feldern*, umgangssprachlich auch Elektrosensibilität, zu leiden (LAUFF & WACHENFELD 2014: 47). Zu den Symptomen gehören beispielsweise Schlafstörungen, eine geminderte kognitive Leistungsfähigkeit oder ein verschlechtertes Hör- und Sehvermögen. Eine Verbindung zwischen den Symptomen und elektromagnetischen Feldern konnte in zahlreichen nationalen und internationalen Studien nicht festgestellt werden (z.B. BMDV o.J.; EUROPEAN COMMISSION 2015; STRAHLENSCHUTZKOMMISSION 2011). Als Auslöser der Symptome wird der Nocebo-Effekt vermutet der, ähnlich wie der Placebo-Effekt, ohne die Zufuhr eines Wirkstoffes eine Reaktion hervorruft. Im Gegensatz zum Placebo-Effekt, bei dem eine positive Reaktion erreicht wird, verursacht der Nocebo-Effekt negative Reaktionen (BÖHMERT & POPHOF 2019: 51f.). Die Symptome der Patient*innen entstehen zwar nicht direkt durch Mobilfunkstrahlung, werden jedoch durch die eigenen Erwartungen und Ängste hervorgerufen. Die Beschwerden elektrosensibler Personen sollten daher in jedem Fall ernst genommen werden, auch wenn die elektromagnetischen Felder nicht ursächlich für die Leiden sind (BMDV o.J.).

Die von manchen Teilen der Bevölkerung empfundene Verringerung ästhetischer Qualitäten des Stadt- und Landschaftsbildes durch neue 5G-Infrastrukturen lassen sich weniger leicht wissenschaftlich einordnen als die gesundheitlichen Bedenken. FORGE et al. (2019: 73) attestieren den ästhetischen Auswirkungen neuer Kleinzellensendeanlagen auf das Stadtbild ein hohes Potenzial, um eine gesellschaftliche Ablehnung der Technologie zu erzeugen. Zwar reduziert sich durch den neuen Mobilfunkstandard die Größe, gegebenenfalls die Anzahl der Komponenten und damit die Komplexität sowie eventuell die Sichtbarkeit von Macro-Sendeanlagen (BMVI 2019a: 15). Aufgrund der hohen Anzahl benötigter Kleinzellen-Standorte im wahrnehmbaren Stadtraum wird die Raumwirksamkeit insgesamt voraussichtlich zunehmen.

Aktuelle Studien zur Akzeptanz von 5G und dem damit verbundenen Mobilfunkausbau zeigen ein sehr ambivalentes und teilweise aus Perspektive des Mobilfunkausbaus besorgniserregendes Bild. Nach einer repräsentativen bitkom-Studie aus dem Jahr 2020 fürchtet sich fast jede*r zweite Befragte (45%) vor Mobilfunkmasten als Quelle elektromagnetischer Strahlung. Befürworter*innen und Gegner*innen des Mobilfunkausbau halten sich nach den bitkom-Zahlen genau die Waage (je 48 %). Besorgniserregend dürfte im Hinblick auf die oben genannte Handlungsbereitschaft bezüglich der Technikakzeptanz (vgl. Kapitel 2.3.3) der Fakt sein, dass knapp 43% der Befragten angaben, sich aktiv gegen neue Mobilfunkinfrastrukturen einzusetzen zu wollen, sofern ein Mast in direkter Nähe zum eigenen Wohnraum gebaut werden sollte. Gleichzeitig nutzen fast 90% der Deutschen den Mobilfunk mittels Mobiltelefone. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Menschen zwar die besten und schnellsten Netze nutzen wollen, sich aber neuen Funkinfrastrukturen verschlossen zeigen (BITKOME.V. 2020).

Das Schweizer Umweltpanel der ETH Zürich kommt für die Schweiz auf vergleichbare Akzeptanzwerte zum 5G-Netzausbau (QUOSS et al. 2021: 17). Die Ergebnisse des Panels zeigen auch, dass der Großteil der Befragten die eigene häusliche Distanz zur nächsten Mobilfunkantenne als genau richtig einschätzt. Weniger als 10% geben an, zu weit von einer Antenne weg zu wohnen. Im Umkehrschluss kann angenommen werden, dass ein Ausbau mit weiteren Mobilfunkantennen überwiegend negativ aufgenommen werden würde. Unterstützt wird diese Annahme durch die Abfrage der Bereitschaft, einen Einspruch gegen eine neue 5G-Mobilfunkantenne einzureichen. Die Wahrscheinlichkeit, Einspruch gegen eine neue Antenne einzureichen, schwankt je nach Entfernung vom eigenen Wohnort und den angenommenen Verfahrenskosten im Bereich zwischen ca. 57% und 61%. Je näher die Antenne am eigenen Wohnort geplant ist, desto höher ist die Bereitschaft, Einspruch einzulegen (QUOSS et al. 2021: 29ff.). Damit lassen sich einige Parallelen zum Ausbau und Akzeptanzentwicklungen von erneuerbaren Energieinfrastrukturen ausfindig machen. Obwohl der überwiegende Teil der deutschen Bevölkerung der Energiewende auf nationaler Ebene positiv gegenübersteht, wird auf der lokalen Ebene vermehrt ein signifikanter Widerstand gegen die neuen Infrastrukturen nachgewiesen (BERTSCH et al. 2016: 474f.). Treiber dieses Widerstands sind in vielen Fällen die materiellen Komponenten der neuen

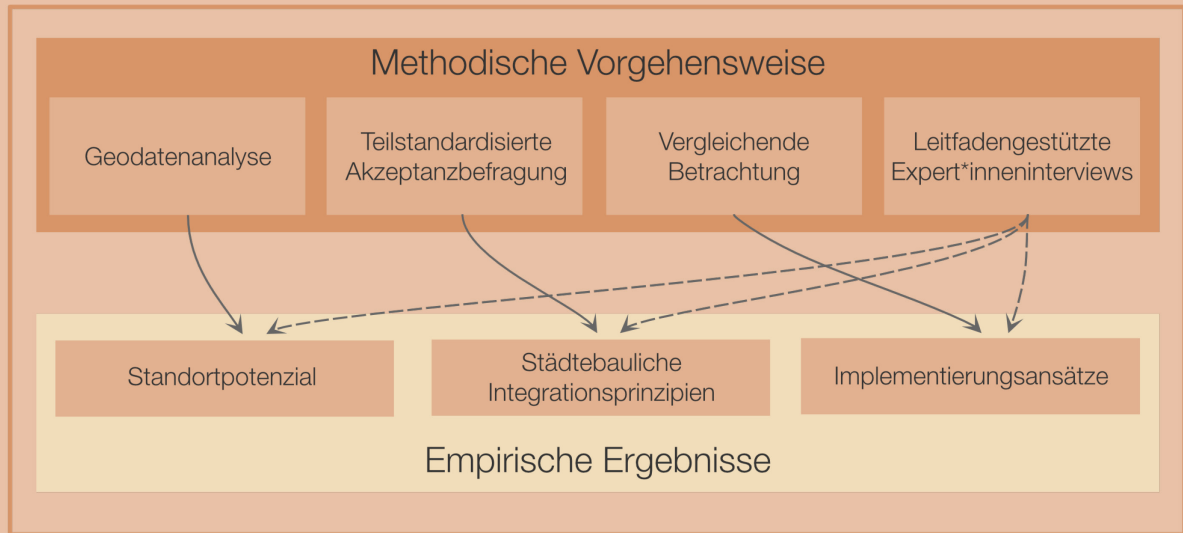
Infrastrukturen und deren Auswirkungen auf Landschaften, Raumsymbole oder kollektive Identitäten (GAILING & RÖHRING 2015: 37). Bei der fehlenden Berücksichtigung der gesellschaftlichen Akzeptanzkriterien ist mit einer langjährigen Verzögerung bis hin zum kompletten Scheitern von Infrastrukturprojekten zu rechnen (ALTHAUS 2012: 105). Parallelen von Protestargumenten zwischen 5G- und erneuerbaren Energieinfrastrukturen sind auch in der Rhetorik zu finden. So wird von Gegner*innen in beiden Fällen z.B. von einer „Verspargelung“ der Landschaft gesprochen (BERKE 2019; GAILING & RÖHRING 2015: 36).

Neben den vorhandenen Bedenken zum Thema 5G und dem damit verbundenen Mobilfunkausbau kristallisiert sich in verschiedenen Studien ein Informationsproblem bezüglich 5G seitens der Bürgerschaft heraus. Das 5G-Meinungsbild von BearingPoint zeigt beispielsweise, dass sich 57% der Befragten in Deutschland eher oder sehr schlecht mit 5G auskennen. Knapp 70% glauben, dass die Deutschen nicht ausreichend über 5G informiert sind. Bezüglich vertrauenswürdigen Informationsquellen zu 5G zeigt sich, dass 20% der Befragten Fachzeitschriften das meiste Vertrauen zur Aufklärung bezüglich 5G schenken. Lediglich 3% der Befragten legen ihr größtes Vertrauen in die Politik. Ein Augenmerk sollte auf den Fakt gelegt werden, dass der größte Teil (22%) der Befragten keiner Quelle bezüglich 5G vertraut (BEARINGPOINT GMBH 2021: 6 ff.).

Die Wechselwirkung zwischen Gestaltung und Akzeptanz von Kleinzellenanlagen als Forschungslücke

Wie in den vorherigen Kapiteln dargelegt, stellt die 5G-Technologie zukünftig eine wichtige Säule von Smart Cities dar. Dabei formuliert der neue Mobilfunkstandard veränderte Anforderungen an die benötigten Sendeinfrastrukturen. Zukünftig werden stetig mehr sowie andere Standorttypen in die Städte drängen. Insbesondere die Anzahl an Kleinzellenanlagen dürfte signifikant zunehmen. Rechtliche Rahmenbedingungen schränken ihren Ausbau dabei nur vereinzelt ein. Ferner wurde aufgezeigt, dass die materiellen Komponenten von Sendeinfrastrukturen als Beeinträchtigung des Stadtbilds aufgenommen werden und die gesellschaftliche Akzeptanz verringern können. Aktuelle Ansätze der Integration von 5G-Kleinzellenanlagen weisen entweder keine Gestaltung auf oder zielen auf eine möglichst gering wahrnehmbare Integration ab.

Dabei konnten bisher keine Studien ausgemacht werden, welche eine positive Auswirkung der maskierten Gestaltung auf die gesellschaftliche Akzeptanz aufzeigen. FORGE et al. (2019: 31) halten fest, basierend auf den Erfahrungen mit versteckten Small Cells in Amsterdam, dass das Verstecken von Sendeanlagen nicht ausreiche, um eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz zu schaffen. Versteckte Anlagen führen in vielen Fällen zu Skepsis seitens der Bevölkerung. Bürger*innen vermuteten bei versteckten Anlagen anderweitige Gründe, beispielsweise negative gesundheitliche Auswirkungen, für die unsichtbare Integration. Genauere Untersuchungen hinsichtlich der gesellschaftlich präferierten Integrationsarten für Kleinzellenanlagen sowie für eine kommunalstrategische Perspektive der städtebaulichen Kleinzellenintegration bezüglich gesellschaftlicher Akzeptanzoptimierung fehlen bisher. Diese Forschungslücke adressiert die vorgelegte Arbeit durch die im Folgenden vorgestellten empirischen Ansätze.



Abschnitt C:

Empirie

4 Methodische Vorgehensweise

Um die eingangs vorgestellten Fragestellungen zu beantworten, wurde ein Methodenmix aus quantitativen und qualitativen Methoden der Raum- und Sozialforschung angewandt. Eine *Geodatenanalyse* auf Basis bestehender und neu erhobener Raumdaten, eine *teilstandardisierte Akzeptanzbefragung*, eine *vergleichende Betrachtung* sowie *leitfadengestützte Expert*inneninterviews* wurden durchgeführt und ausgewertet. Die verwendete *Raumanalyse* adressiert dabei primär die zu ergründenden Aspekte des *Standortpotenzials*. Die *teilstandardisierte Akzeptanzbefragung* stellt eine elementare Säule des zu untersuchenden Aspekts der *städtebaulichen Integrationszenarien* dar. Um im späteren Verlauf der Arbeit potenzielle *Implementierungsansätze* näher darlegen zu können, wurde zudem die *vergleichende Betrachtung von Kleinzellenintegrationsansätzen* vorgenommen. Die *explorativen leitfadengestützten Expert*inneninterviews* nehmen im Rahmen dieser Arbeit eine übergeordnete und zentrale Rolle im Methodenmix ein. Im Zuge der geführten Interviews wurden Fragen zu allen drei genannten Aspekten gestellt und diskutiert. Die Methode der *Expert*inneninterviews* validiert und ergänzt die Erkenntnisse der übrigen methodischen Ansätze.

4.1 Quantitative Geodatenanalyse

Ziel der quantitativen Geodatenanalyse ist die Identifikation potenzieller Standorte, die Erkennung von Verteilungsmustern sowie die Ableitung von Aussagen über die Eignung bestehender und die Notwendigkeit zur Schaffung neuer Trägerinfrastrukturen für Kleinzellenstandorte. Am Beispiel von Kleinzellenanlagen des 5. Mobilfunkstandards werden durch diesen methodischen Ansatz Grundlagen geschaffen, die sich potenziell auf andere Infrastrukturen der Smart City übertragen lassen. Als Betrachtungsgebiet der Geodatenanalyse wurde das *5Gain-Reallabor* in Dortmund als exemplarisches urbanes Gebiet herangezogen. Das Dortmunder Reallabor wurde im Rahmen des BMWK-geförderten Forschungsprojekts *5Gain* virtuell und aufgrund vorhandener Energiebereitstellungs- und Verbrauchseinheiten abgegrenzt, um dort den Smart City-Anwendungsfall eines durch künstliche Intelligenz und 5G gestützten zellularen Energiesystems zu erproben. Die Eignung des Untersuchungsgebiets hinsichtlich der Übertragbarkeit der Ergebnisse wird im Rahmen dieses methodischen Ansatzes ebenfalls untersucht und dargestellt.

Verwendete Geodaten

Zur Analyse der potenziellen Kleinzellenstandorte wurden Geodaten erhoben, gesammelt, verarbeitet, analysiert und daraus neue Erkenntnisse abgeleitet. Als Geodaten werden Daten verstanden, welche reale räumliche Strukturen und Prozesse abbilden und somit die Beantwortung raumbezogener Fragestellungen ermöglichen (HENNERMANN & WOLTERING 2014: 36). Im Rahmen dieser Arbeit wurde das geographische Informationssystem (GIS) ArcGIS Pro der Firma ESRI verwendet. Geoinformationssysteme arbeiten mit raumbezogenen Informationen und ermöglichen so eine exakte Verortung ebenjener im digitalen Raum (KAISER 2021: 49).

Zur Beantwortung der Teilfragestellungen zu den Aspekten des Standortpotenzials wurde eine Vielzahl von Geodaten verwendet. Die verwendeten Geodaten und deren Herkunft sind der nachfolgenden *Tabelle 2* zu entnehmen und lassen sich in die Oberkategorien *Kartengrundlagen* und *Infrastrukturen* unterteilen.

Tabelle 2 Übersicht verwendeter Geodaten
Eigene Darstellung

<u>Kartengrundlagen</u>		<u>Infrastrukturen</u>	
Daten	Quelle	Daten	Quelle
Gemeinde & Bezirksgrenzen	Stadt Dortmund	Beleuchtungsanlagen	Eigene Erhebung, Stadt Dortmund
Flächennutzung	Stadt Dortmund	Fahrleitungsmasten	Eigene Erhebung
Gebäude	Stadt Dortmund	Kommunikationsanlagen	Eigene Erhebung
		Ladeinfrastrukturen	Eigene Erhebung
		Lichtsignalanlagen	Eigene Erhebung, Stadt Dortmund
		Litfaßsäulen	Eigene Erhebung
		Öffentliche Gebäude	Stadt Dortmund
		ÖPNV-Infrastrukturen	Eigene Erhebung, Stadt Dortmund
		Paketstationen	Eigene Erhebung
		Sonstiges	Eigene Erhebung
		Versorgungskästen	Eigene Erhebung

Die *Kartengrundlagen* stellen den baulich-funktionalen sowie regulatorischen Ist-Zustand ausgewählter Raumaspekte im Dortmunder Reallabor dar und wurden über das Geoportal der Stadt Dortmund bezogen. Sie dienen im weiteren Verlauf der Verortung, Einordnung und Eingrenzung der Infrastrukturdaten. Die Geodaten der *Infrastrukturen* verorten und charakterisieren potenzielle Standorte und Trägerinfrastrukturen für den Aufbau von 5G-Sendeanlagen sowie andere Smart City-Technologien. Die Auswahl potenzieller Standorttypen orientiert sich an den Vorschlägen der *Arbeitsgruppe Digitale Netze* des *Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur* (BMVI 2019a: 4). Diese wurde eigenständig um mögliche Standorttypen erweitert, die den aufgezeigten technischen Anforderungen von 5G-Kleinzellenanlagen genügen (vgl. Kapitel 3.3.2). Die neu erhobenen Geodaten zu den Infrastrukturen wurden zu großen Teilen im Rahmen des im Wintersemesters 2020/2021 durchgeführten Forschungsfelds *5G-Infrastruktur für die Smart City* von Masterstudierenden der Architektur und Stadtplanung der RWTH Aachen aufgenommen und kartiert. Die analog vorliegenden Daten wurden im Rahmen dieser Arbeit in ein GIS-Modell übertragen und kategorisiert sowie mit Geodaten der Stadt Dortmund abgeglichen und ergänzt, sodass ein universelles digitales Modell potenzieller Kleinzellenstandorte entstanden ist. Dabei wurden lediglich Standorte aufgenommen, die sich aus funktionalen und städtebaulichen Gründen für eine potenzielle Integration anbieten. Das GIS-Modell stellt somit keine Gesamtaufnahme aller Infrastrukturen und potenzieller Standorte im Reallabor dar, sondern einen thematischen Ausschnitt.

Analyse

Nach der Datenerhebung und -bereinigung erfolgte die Analyse der jeweiligen Standorte gemäß der aufgezeigten Infrastrukturkategorien. In einem ersten Schritt wurde die Verteilung der Infrastrukturen im Reallabor mittels der *Kernel Density*-Anwendung untersucht. Anhand von Punktdaten wird hierbei die Dichte der betrachteten Punkte in der Nachbarschaft untersucht (ESRI 2021b). Um herauszufinden, ob flächendeckend ausreichend Infrastrukturen als potenzielle Träger für den 5G-Kleinzellenausbau zur Verfügung stehen, wurde eine idealisierte, gleichmäßige sowie radiale Ausbreitung des Mobilfunksignals für das Reallabor zugrunde gelegt. Nach dem BMVI (2019a: 11) wurde für Kleinzellenanlagen ein Senderadius von 100 m angenommen.

Mittels der integrierten *Buffer-Funktion* wurden neue Polygone der entsprechenden Senderadien um die Punktdaten der Standorte erstellt und mittels der *Dissolve-Funktion* zusammengefügt (ESRI 2021a). Die räumlichen Ausbreitungen der Polygone der einzelnen Kategorien wurden graphisch aufbereitet und die Prozentwerte als Indikatoren der idealisierten Abdeckungsbereiche tabellarisch zusammengetragen.

Um Aussagen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse des Reallabors auf andere urbane Gebiete zu ermöglichen, wurde ein Infrastrukturvergleich des Reallabors zu den Innenstadtbezirken (Innenstadt Nord, West, Ost) Dortmunds durchgeführt. Dafür wurden die Infrastrukturkategorien Beleuchtungsanlagen, Lichtsignalanlagen, ÖPNV-Stationen und öffentliche Gebäude miteinander verglichen. Die Auswahl der Kategorien liegt in der Tatsache begründet, dass für diese Kategorien stadtweite Daten durch die Stadt Dortmund bereitgestellt wurden. Die händische Aufnahme der weiteren Kategorien wäre bei der knapp 40 km² großen Fläche der Dortmunder Innenstadtbezirke nicht zu realisieren. Der Vergleich wurde analog zu den oben vorgestellten Methoden mittels *Kernel-Density* und *Buffer-Tool* sowie anschließender Indikatorberechnung vorgenommen. *Abbildung 18* ist der schematische Aufbau der Geodatenanalyse zu entnehmen.

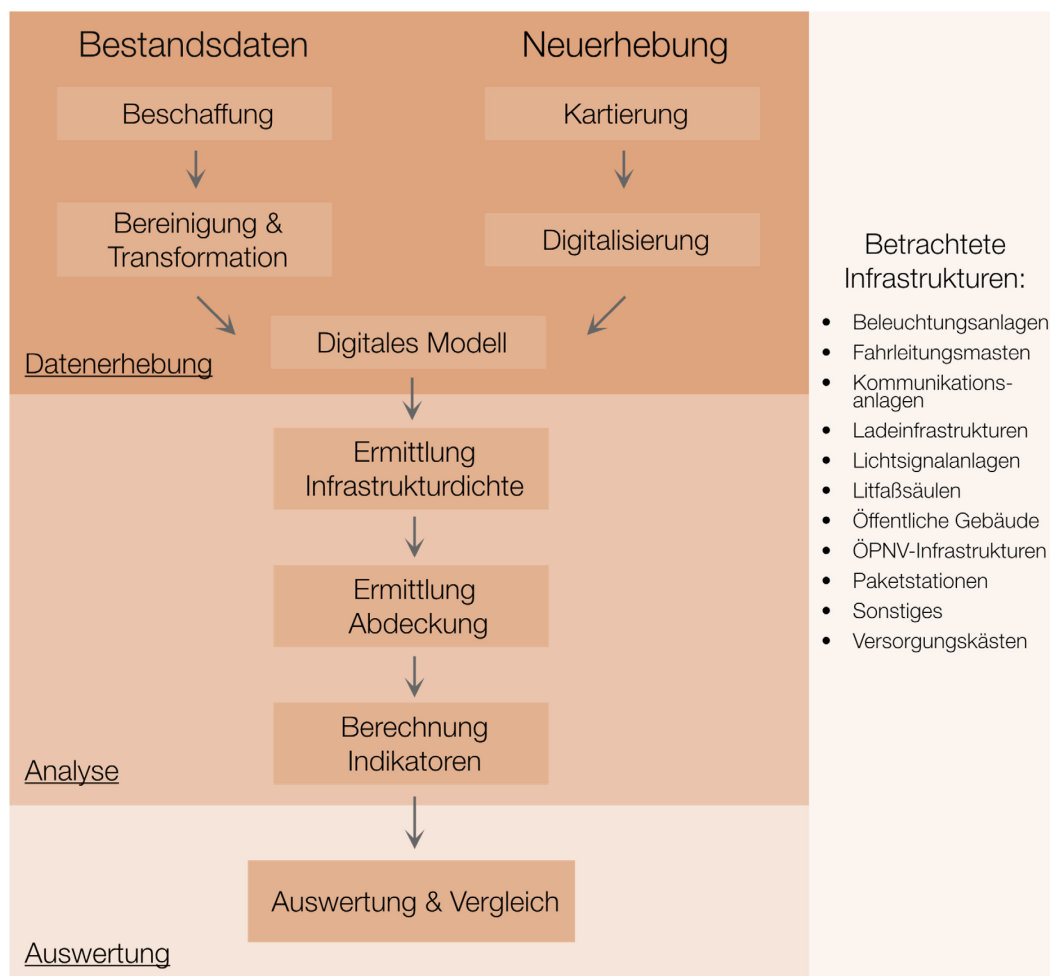


Abbildung 18 Schematischer Ablauf der Geodatenanalyse
Eigene Darstellung

4.2 Teilstandardisierte Akzeptanzbefragung

Die Akzeptanzforschung untersucht unterschiedliche Parameter des Akzeptanzsubjekts, -objekts sowie des jeweiligen Kontexts (LUCKE 1995: 88–89). Wie in Kapitel 2.3.3 aufgezeigt, ist die Akzeptanzforschung durch eine hohe Komplexität geprägt. Das schlägt sich auch in der Methodenvielfalt der Akzeptanzforschung nieder. Diese „*erstreckt sich prinzipiell über das gesamte vorhandene sozialwissenschaftliche Instrumentarium*“ (QUIRING 2006: 9). Zu den anwendbaren Methoden gehören etwa die Sekundäranalyse bestehender Daten und Dokumente, standardisierte Befragungen, Leitfadeninterviews und Gruppendiskussionen, Tagebuchverfahren, Feldstudien mit Prototypen, laborexperimentelle Verfahren, Onlinebeobachtungen sowie das usability testing. Im akademischen Bereich wird die standardisierte Befragung am häufigsten eingesetzt (QUIRING 2006: 9ff.). Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine online durchgeführte teilstandardisierte Befragung unter Teilen der Aachener Bevölkerung vorgenommen. Im Gegensatz zur qualitativen Forschung werden bei der Umfrageforschung standardisierte Daten anhand einer hohen Anzahl an Personen erhoben. Dazu werden zumeist qualitative Sachverhalte so aufgearbeitet, dass diese anhand vordefinierter quantitativer Variablen abgefragt und ausgewertet werden können (JACOB et al. 2019: 1).

Aufbau Befragung

Für die durchgeführte Befragung wurde ein teilstandardisierter Fragebogen entwickelt. Dieser bot neben rein quantitativen Variablen zur Abklärung von präferierten Integrationsansätzen der Kleinzellenanlagen zu Teilen auch die Möglichkeit Erläuterung mittels freier Textfelder zu übermitteln. Die Umfrage setzte sich inhaltlich aus einem allgemeinen, einem monadischen sowie einem vergleichenden Testaufbau zusammen. Der allgemeine Teil fragte zunächst sozio-demographische Merkmale der Teilnehmenden ab. Daran anschließend folgten einleitende Fragen zur Nutzung von Mobilfunk und dem Kenntnisstand zu 5G. Im folgenden monadischen Testaufbau wurde jeder Person nur eines der zu vergleichenden Konzepte zur Bewertung gezeigt (MOORE 1982: 283). Abschließend wurden den Befragten alle Konzepte vergleichend gegenübergestellt. Der Fragebogen ist *Anhang I* zu entnehmen. Insgesamt wurden vier unterschiedliche Konzepte der städtebaulichen Kleinzellenintegration erarbeitet und graphisch dargestellt.

Die Konzepte sind von den in Kapitel 2.3.4 vorgestellten Integrationsansätzen abgeleitet und bestehen jeweils aus einem graphischen Teil sowie einem erläuternden Textanteil. Folgende Szenarien wurden abgefragt, jeweils dargestellt in *Abbildung 19*:

1) *Funktionale Gestaltung*:

Im ersten Szenario sind die neuen Sendeanlagen funktional in den Stadtraum integriert. Die funktionale Integration ist für die Bürger*innen wahrnehmbar. Eine Berücksichtigung des bestehenden Stadtbilds in der Gestaltung findet nicht statt. Die Gestaltung der Sendetechnik orientiert sich an technischen Parametern.

2) *Maskierte Gestaltung*:

Im zweiten Szenario werden neue Sendeanlagen maskiert in das Stadtbild integriert. Dafür werden diese in bestehende und neue Elemente des Stadtraums integriert. Die Sendeanlagen sind für Außenstehende nicht als solche erkennbar.

3) *Gestaltung mit Lokalbezug*:

Im dritten Szenario wurden die Sendeanlagen als wahrnehmbarer Bestandteil in den Stadtraum integriert. Die Sendeanlagen wurden mit regionalen Charakteristika versehen, um einen regionalen Bezug zu schaffen. Dieser Ansatz lässt sich überwiegend dem einfügenden Gestaltungsansatz zuordnen.

4) *Nutzungserweiterung*:

Im vierten Szenario wurden bestehende Stadtmöbel durch neue Stadtraumelemente mit integrierter Kommunikationstechnik ersetzt. Die neuen Elemente bringen neben innovativen Funktionen der Smart City neue Mehrwerte zur Erhöhung der Aufenthaltsqualität mit sich, z.B. der Schaffung neuer Sitzgelegenheiten. Dieser Ansatz lässt sich überwiegend dem prägenden Gestaltungsansatz zuordnen.

Bei der graphischen Gestaltung der vier Szenarien wurde sich bewusst für ein neutrales Design sowie dezente Farbgebung entschieden, um die Szenarien möglichst objektiv miteinander vergleichen zu können. Gemäß dem Aufbau der Umfragesystematik des *OecherPanels*, in dessen Rahmen die Befragung durchgeführt wurde, setzen sich die ergänzenden Erläuterungstexte jeweils

aus einem *Connecting Statement*, einem *Benefit* sowie dem *Reason Why* zusammen. Das *Connecting Statement* bildet den Einstieg in die Kommunikation mit der Zielgruppe und schafft eine Verbindung zum jeweiligen Konzept. Das *Connecting Statement* war bei allen Szenarien identisch und erläuterte die potenzielle Zunahme an Sendeinfrastrukturen. Der *Benefit* beschreibt den Umfang sowie den Nutzen des Konzepts für die Befragten. Der *Reason Why* fasst die Argumente noch einmal zusammen und erläutert die speziellen Auswirkungen des jeweiligen Konzepts. Neben der Beantwortung der szenarienbezogenen Fragen konnten die Befragten zusätzlich Bild- und Textausschnitte der Szenarien eigenständig definieren, welche ihnen besonders gut oder schlecht gefallen haben. Diese Klassifizierung konnte durch Texteingabe erläutert werden. Der nachfolgenden *Abbildung 19* sind die vier Szenarien in komprimierter Form zu entnehmen, im *Anhang II-V* sind diese noch einmal in Originalgröße sowie die jeweiligen Erläuterungstexte zu finden.

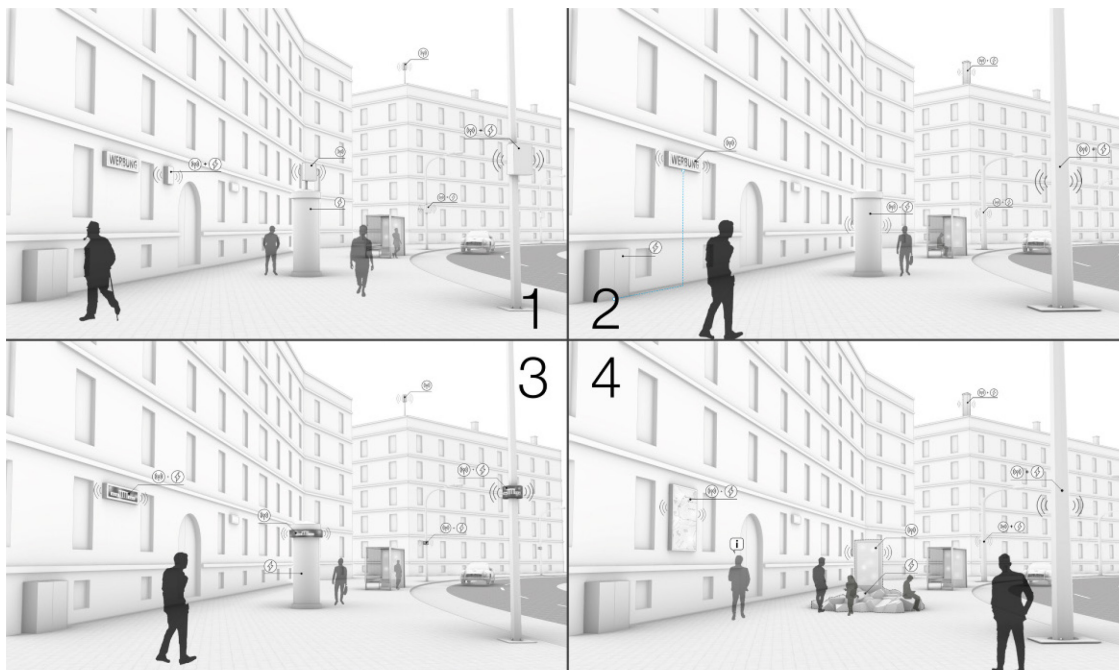


Abbildung 19 Übersicht untersuchter Szenarien
Eigene Darstellung auf Grundlage Kubatta 2022

Durchführung

Der Fragebogen wurde digital von 586 Personen aus Aachen vollständig ausgefüllt. Damit liegt die Stichprobengröße deutlich über der von z.B.

MAYER (2013: 66). empfohlenen Mindestgröße². Insgesamt wurden 3036 Personen eingeladen sich an der Befragung zu beteiligen. Die Rücklaufquote beträgt 19,3% und kann als zufriedenstellend bewertet werden. Die teilnehmenden Personen wurden durch das *OecherPanel* rekrutiert. Das *OecherPanel* ist ein lokales und digitales Tool der Bürgerbeteiligung, welches im Rahmen des Förderprogramms „Digitale Modellregion – Stadt Aachen und Städteregion Aachen“ des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW aufgebaut wurde (DIALEGO AG 2022). Es setzt sich aus zufällig und repräsentativ aus dem Melderegister ausgewählten Aachenerinnen und Aachenern zusammen. Ferner besteht die Option sich bei Interesse zusätzlich anzumelden.

Analog zu der qualitativen Forschung ist auch bei quantitativen Ansätzen eine Untersuchung der Grundgesamtheit in den allermeisten Fällen nicht möglich (MAYER 2013: 60). Um später dennoch Rückschlüsse von der Stichprobe auf eine Grundgesamtheit übertragen zu können, muss diese ein verkleinertes Abbild der Grundgesamtheit darstellen (KROMREY 1995: 197). Da sich das *OecherPanel* aus zufällig aus dem Melderegister angeschriebenen Personen zusammensetzt, kann grundsätzlich von einer einfachen Zufallsstichprobe ausgegangen werden. *Tabelle 3* ist eine Übersicht über die sozio-demographische Zusammensetzung der gezogenen Stichprobe im Vergleich zur Aachener Gesamtbevölkerung zu entnehmen. Während die Stichprobe hinsichtlich der Zusammensetzung nach dem Geschlecht als repräsentativ eingestuft werden kann, so lässt sich hinsichtlich des Alters eine divergierende Zusammensetzung von Stichprobe und Aachener Grundgesamtheit feststellen. So haben an der Umfrage im Verhältnis deutlich weniger Personen im Alter zwischen 16 und 29 Jahren und mehr im Alter von 30 bis 49 Jahren teilgenommen. Für die Verteilung des Haushaltsnettoeinkommen konnten für Aachen keine vergleichbaren Daten ausgemacht werden. Im Rahmen dieser Arbeit stehen nicht die inferenzstatistische Auswertung und die daraus ableitbaren Interpretationen im Zentrum des Erkenntnisinteresses, sondern vielmehr die Identifikation möglicher Akzeptanzfaktoren der

$$^2 \ 586 > \frac{t^2 \times N \times p(1-p)}{t^2 \times p(1-p) + d^2(N-1)} = \frac{1,96^2 \times 250000 \times 0,5(1-0,5)}{1,96^2 \times 1(1-0,5) + 0,05^2(250000-1)}$$

Annahmen:

N= Aachener Bevölkerung ca. 250.000, t= Sicherheitsfaktor bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit 1,96, p = Anteile der Elemente der Stichprobe, die Merkmalsausprägung aufweisen, d= Stichprobenfehler 5% 0,05 nach MAYER 2013: 66.

städtebaulichen Integration von Kleinzellenanlagen. Die Güte der Zusammensetzung der Stichprobe wurde vor diesem Hintergrund als zufriedenstellend eingeschätzt.

Tabelle 3 Sozio-demographische Zusammensetzung der Stichprobe
Eigene Darstellung, Datengrundlage für Aachen: STADT AACHEN (2020)

Idikator	Stichprobe		Aachen
	Anzahl	Prozentuale Verteilung	Prozentuale Verteilung
Geschlecht			
Männlich	308	52,6%	52,2%
Weiblich	276	47,1%	47,8%
Divers	2	0,3%	-
<i>gesamt</i>	<i>586</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
Alter			
16-29	133	22,7%	31,5%
30-49	219	37,4%	27,2%
50-99	234	39,9%	41,3%
<i>gesamt</i>	<i>586</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
Haushaltsnettoeinkommen			
< 1.500 €	69	12%	-
1.500 bis < 3.500 €	168	29%	-
> 3.500 €	269	46%	-
Keine Angabe	80	14%	-
<i>gesamt</i>	<i>586</i>	<i>100%</i>	-

Alle eingeladenen Personen erhielten eine Mail mit dem Link zur Umfrage und konnten über den eigenen Internetbrowser an der Umfrage teilnehmen. Das gewählte Format schließt so Personen ohne Internetzugriff aus. Diese Einschränkung wird nach eigener Einschätzung jedoch zugunsten der vielfältigen Vorzüge der digitalen Umfrage bewusst in Kauf genommen. Vor der breitangelegten Datenerhebung wurde ein Pretest mit einer geringen Anzahl an Proband*innen durchgeführt, um die Umfrage bezüglich Vollständigkeit und Verständlichkeit zu überprüfen (MAYER 2013: 58f.). Die Befragten wurden zufällig und gleichmäßig auf die vier unterschiedlichen Szenarien verteilt.

Auswertung

An die Datenerhebung schließt sich die computergestützte Auswertung der quantitativen beziehungsweise qualitativen Antworten an (MAYER 2013: 58f.). Fragenabhängig konnten die Befragten eine oder mehrere Antwortmöglichkeiten auswählen. Die zu messenden Merkmale können in der vorgenommenen Umfrage primär dem nominalen sowie dem Intervallskalenniveau zugeordnet werden. Bezüglich der Interpretation der gewonnenen Informationen ermöglichen nominal skalierte Merkmale lediglich Aussagen zur Gleichheit beziehungsweise Ungleichheit der Antworten. Die Intervallskala ermöglicht neben Aussagen zur Gleich- und Ungleichheit ebenfalls Interpretationen zur Reihenfolge von Werten im numerischen Relativ sowie deren Differenzen (SCHUMANN 2018: 21). Diese Interpretationsmöglichkeiten wurden bezüglich des explorativen Forschungsdesign als am zielführendsten bewertet.

Die Auswertung der Ergebnisse wurde aufbauend auf dem dargestellten Forschungsdesign in eine *Gegenüberstellung* sowie eine *Einzelbetrachtung* unterteilt. Im Rahmen der *Gegenüberstellung* wurden die gesammelten Daten auf der Betrachtungsebene der gesamten Stichprobe vorgenommen. Die *Gegenüberstellung* greift dabei auf die standardisierten, quantifizierbaren Daten zurück. Um diese Daten aussagekräftig auszuwerten, wurden mehrheitlich Auswertungsansätze der deskriptiven Statistik verwendet. Die *Gegenüberstellung* ermöglicht es beispielsweise Aussagen zu allgemeinen Präferenzen hinsichtlich der Integrationsart zu treffen. Die Auswertung der *Einzelbetrachtung* nutzt überwiegend den monadischen Testaufbau des Befragungsbogens und ermöglicht so eine detaillierte Betrachtung der relevanten Einzelaspekte. Zur Analyse der Einzelbetrachtungen werden größtenteils die qualitativen Angaben der Befragten verwendet. Die *Einzelbetrachtung* ermöglicht, Aussagen über die Gründe der genannten Präferenzen abzuleiten.

4.3 Vergleichende Betrachtung von Kleinzellenintegrationsansätzen

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte vergleichende Betrachtung untersucht eine Vielzahl an konkreten Entwürfen zur 5G-Kleinzellenintegration bezüglich der Berücksichtigung potenziell akzeptanzsteigernder Gestaltungsansätze. Während das vorherige Unterkapitel auf die Untersuchung grundsätzlicher Präferenzen bezüglich unterschiedlicher Integrationsszenarien abzielt, stellt die im folgenden dargestellte Methodik einen Ansatz dar, um konkrete Entwürfe hinsichtlich identifizierter Akzeptanzfaktoren zu bewerten. Das Instrument des Entwurfes ermöglicht die Konkretisierung menschlicher Absichten sowie erwünschten Veränderungen und ermöglicht daraufhin deren Analyse (NELSON & STOLTERMAN 2003: 2). Die hier angewandte vergleichende Betrachtung orientiert sich an dem methodischen Vorgehen von CUCUZZELLA & GOUBRAN (2019), welche eine hohe Anzahl an Entwürfen technischer Infrastrukturprojekte hinsichtlich divergierender Merkmale miteinander verglichen und auf einer zweidimensionalen Ebene kategorisiert haben (vgl. Kapitel 2.3.4).

Entstehung der Entwürfe

Die Anzahl an konkreten Möglichkeiten zur Umsetzung übergeordneter städtebaulicher Integrationsansätze von Kleinzellenanlagen ist lediglich durch die Kreativität der Planenden begrenzt. Im Rahmen unterschiedlicher Lehrveranstaltungen des Lehrstuhls und Instituts für Städtebau an der RWTH Aachen sind in verschiedenen Bachelor- sowie Masterveranstaltungen von Studierenden der Architektur und Stadtplanung 47 Entwürfe erstellt worden, welche sich mit der Unterbringung potenzieller Kleinzellenstandorte im Stadtraum auseinandersetzen. Die in *Tabelle 4* dargestellten Lehrveranstaltungen haben auf unterschiedliche Art und Weise die Thematik der Kleinzellenintegration behandelt:

Tabelle 4 Übersicht Herkunft untersuchter Entwürfe
Eigene Darstellung

Modul	Titel	Semester	Studierende
Forschungsfeld	5G-Infrastruktur für die Smart City	WiSe 2020/21	M.Sc. Architektur & Stadtplanung
Forum Stadt und Landschaft	Jülicher Straße 2040+	SoSe 2021	B.Sc. Architektur
Stegreif	Neue Belanglosigkeiten der intelligenten Stadt	WiSe 2021/22	M.Sc. Architektur & Stadtplanung

Bewertung

Im Rahmen der in Kapitel 5.2 näher vorzustellenden Ergebnisse können drei primäre Akzeptanzfaktoren aus einer städtebaulichen Perspektive ausgemacht werden. Auf Grundlage dieser identifizierten Akzeptanzfaktoren wurden die Entwürfe bewertet. Folgende Akzeptanzfaktoren wurden bewertet:

1. *Erhalt des Stadtbildes*

Beschreibt die Absicht und den Grad der Erhaltung des bestehenden Stadtbildes.

2. *Informationen für die lokalen Bevölkerung*

Beschreibt die Absicht und den Grad, inwiefern die Funktion sowie die physische Gestalt der 5G-Kleinzellen genutzt wird, um die Gesellschaft über die verwendete Technologie und deren Wirkungsweise zu informieren.

3. *Aufwertung des lokalen Stadtraums*

Beschreibt die Absicht und den Grad, inwiefern der öffentliche Stadtraum durch neue Infrastrukturen funktional sowie gestalterisch aufgewertet wird.

Je Kategorie wurde ein Wert von 0 bis 5 nach qualitativer Einschätzung vergeben. Der Wert 0 gibt dabei die Nichtberücksichtigung des Faktors an. Der Wert 5 zeigt hingegen eine höchstmögliche Berücksichtigung des Akzeptanzfaktors im Entwurf. Die tabellarische Übersicht der Entwurfsbewertung kann dem *Anhang VI* entnommen werden.

Kategorisierung

Als Grundlage der Kategorisierung der Entwürfe und der Ableitung allgemeiner Gestaltungsprinzipien wurde die graphische Darstellung des Akzeptanzdreiecks, in Anlehnung an das 5G-Dreieck, (vgl. Kapitel 3.2) genutzt. Jeder der drei identifizierten primären Akzeptanzfaktoren stellt eine Ecke des gleichseitigen Dreieckes dar. Gemäß ihrer zugeordneten Werte wurde für jeden Entwurf ein Netzdiagramm erstellt. Die Diagramme wurden verglichen, übereinandergelegt und nach visuellen sowie inhaltlichen Kriterien kategorisiert. Der *Abbildung 20* kann die graphische Grundlage der Kategorisierung entnommen werden. Die abgeleiteten Kategorien erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es gilt zu beachten, dass die Kategorisierung gemäß qualitativer Parameter geschieht. Eine Ableitung der gestalterischen Qualität oder der konkreten Akzeptanzauswirkungen ist nicht möglich und nicht beabsichtigt.

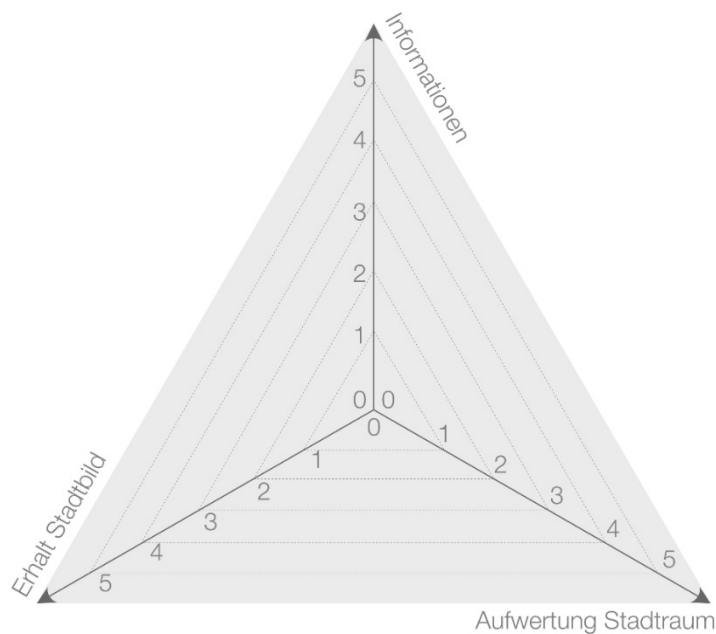


Abbildung 20 Bewertungsgrundlage Entwürfe
Eigene Darstellung

4.4 Explorative leitfadengestützte Expert*inneninterviews

In den Disziplinen der Raumforschung werden leitfadengestützte Interviews, häufig in Kombination mit anderen Methoden eingesetzt, um Informationen darüber zu gewinnen, wie Räume wahrgenommen, produziert, konstituiert oder genutzt werden (THIERBACH 2021: 192). Qualitative Methoden, wie die hier angewandten Expert*inneninterviews, werden primär dann verwendet, wenn eine objektive Realität nicht untersucht werden kann oder sollte, „*da die für das gesellschaftliche Handeln relevante soziale und räumliche Welt obnebin aus sozialen Konstruktionen besteht*“ (REUBER & GEBHARDT 2011: 96). Qualitative Ansätze gewinnen in den angewandten Disziplinen weiter an Bedeutung, um neu auftretende Herausforderungen adäquat adressieren zu können (SILVERMAN & PATTERSON 2021: 1). Explorative Experteninterviews werden zu Wissensdimensionen angewendet, die kaum dokumentiert oder aufgearbeitet sind und werden als anwendungsfeldbezogene Variante zu den Leitfadeninterviews gezählt (KRUSE 2015: 166f.). Um sich dem bisher nur gering erforschten Thema der städtebaulichen Integration von Smart City-Infrastrukturen annähern zu können, wurde das explorative leitfadengestützte Expert*inneninterview als ein essentieller Teil des qualitativen methodischen Vorgehens gewählt.

Interviewleitfaden

Der Interviewleitfaden nimmt im Rahmen von Expert*inneninterviews aufgrund des informationsorientierten Forschungsinteresses meistens eine stärker steuernde beziehungsweise strukturierende Funktion als bei anderen Interviewformen ein (KRUSE 2015: 166). Gemäß des explorativen Forschungsinteresses wurde der im Rahmen dieser Arbeit angewandte Leitfaden primär als rahmengebendes Konstrukt verstanden, welches die interviewten Akteur*innen in den Gesprächsmittelpunkt stellt und diesen möglichst hohe und freie Redeanteile ermöglicht (KRUSE 2015: 167). Nach MIEG & NÄF (2005: 14f.) gliedert sich der Leitfaden in drei Teile; die Einstiegsfragen, den Hauptteil und den Abschluss. Der Hauptteil des angewandten Leitfadens und dementsprechend der Gespräche unterteilt sich in drei thematische Blöcke:

- I. *Grundlagen & Verortung*
- II. *Integration & Akzeptanz*
- III. *Umsetzung.*

Der Aufbau des Leitfadens blieb für alle interviewten Expert*innengruppen identisch. Innerhalb der thematischen Blöcke wurden die Fragen teilweise zielgruppengerecht angepasst. Auf Wunsch wurde den interviewten Expert*innen vorab eine Kurzversion der Leitfragen zugesendet. Im Anhang sind die Leitfäden der drei Expert*innengruppen zu finden (*Anhang VII-IX*). Die Leitfäden wurden im Vorfeld im Rahmen von Pretests überprüft, um problematische und unverständliche Formulierungen identifizieren und anpassen zu können (MAYER 2013: 45).

*Die Expert*innen*

Als Experte*in wird in dieser Arbeit nach MEUSER & NAGEL (1991) eine Person verstanden, welche „*in irgendeiner Weise Verantwortung trägt für den Entwurf, die Implementierung oder die Kontrolle einer Problemlösung oder wer über einen privilegierten Zugang zu Informationen über Personengruppen oder Entscheidungsprozesse verfügt*“ (MEUSER & NAGEL 1991: 443). Die Auswahl der befragten Akteur*innen sollte bei qualitativen Ansätzen stets nach Plausibilität und nicht nach Repräsentativität erfolgen (PFAFFENBACH 2011: 164). Nach PFAFFENBACH (2011: 164) wurde daher das *theoretischen Sampling* als Auswahlmethode der Gesprächspartner vorgenommen. Die Auswahl der Akteure geschieht hierbei schrittweise während der Datenerhebung und orientiert sich zunächst an möglichen Unterschieden zwischen den interviewten.

Da das Thema der städtebaulichen Integration von 5G-Sendeinfrastruktur aktuell eine untergeordnete Rolle in den interviewten Institutionen einnimmt, konnten in der Regel keine direkten Ansprechpersonen für die Thematik ausgemacht werden. Daher haben die angefragten Akteur*innen eigenständig entschieden, welche Ansprechpartner*innen der eigenen Organisation interviewt wurden. Insgesamt konnte eine hohe Bereitschaft zur Teilnahme und Interesse am Thema ausgemacht werden. Da die Auswertung von qualitativen Methoden keine statistisch-belastbaren Ergebnisse liefert und die Anzahl möglicher Interviews begrenzt ist, steigt die Bedeutung der einzelnen Gespräche und Aussagen. Um die individuellen Besonderheiten einzelner

Interviews zu verringern, wurde nach REUBER & PFAFFENBACH (2005: 35) eine Einteilung in Akteursgruppen vorgenommen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden drei Akteursgruppen definiert; denen jeweils eigene Perspektiven und Interessen bezüglich des möglichen 5G-Rollouts zugeordnet wurden:

Akteursgruppe 1: Technisch-betriebswirtschaftliche Position

Zur ersten Akteursgruppe wurden die Expert*innen der Mobilfunk-Hardware entwickelnden, herstellenden, errichtenden und betreibenden Unternehmen sowie entsprechende Forschungseinrichtungen gezählt. Die hardwareproduzierenden Unternehmen haben einen direkten Einfluss auf den Aufbau sowie die Gestalt und damit die Raumwirksamkeit von Sendefunkinfrastrukturen. Die errichtenden beziehungsweise betreibenden Unternehmen von Sendestandorten entscheiden durch die gewählte Integrationsart der Sendeanlagen zu großen Teilen deren Raumwirksamkeit. Dabei handeln die interviewten Unternehmen privatwirtschaftlich und sind dementsprechend an wirtschaftlich tragbaren Lösungen interessiert. Bei der Ansprache der Hardwarehersteller und der Betreiber von Sendeeinrichtungen wurden vor allem die national und international aktiven Hersteller, TKUs und deren Dienstleister angefragt und interviewt.

Akteursgruppe 2: Kommunale Position

In der Akteursgruppe 2 wurden alle interviewten Expert*innen der Kommunen und Kommunalvertretungen subsummiert. Die organisatorische Verortung der jeweiligen Experten*innen für den 5G-Ausbau reicht vom Stadtplanungsamt über die Breitbandkoordination bis zur Stabsstelle für Digitalisierung. In zwei Städten wurde neben den genannten 5G-Ansprechpartner*innen zusätzlich das Stadtplanungsamt zu den Fragestellungen interviewt, wenngleich das Thema bisher nicht in deren Zuständigkeitsbereich fällt. Aufgrund der Aktualität des Themas wurden kommunenseitig primär Großstädte angefragt, da hier ein zeitnahe Rollout der 5G-Kleinzellentechnik wahrscheinlicher ist und auf eine größere und spezialisierter Personalressource zurückgegriffen werden kann.

Akteursgruppe 3: Infrastrukturelle und vernetzende Position

Zu der dritten Akteursgruppe wurden jene Expert*innen gezählt, die sich 1) entweder explizit mit der Trägerinfrastruktur potenzieller 5G-Standorte beschäftigen, sei es durch die Bereitstellung eigener Trägerinfrastrukturen oder die Nutzung von Trägerinfrastruktur durch eigene Applikationen abseits von 5G. Und/ oder Expert*innen, die sich 2) mit der Vernetzung der unterschiedlichen Akteure im Themenfeld 5G befassen. Zu dieser Gruppe werden die kommunalen Betriebe wie Stadtwerke, ein Unternehmen für Smart-City-Technologie sowie ein Innovationsnetzwerk gezählt. Es wurden lediglich kommunale Betriebe aus Städten angefragt, die auch im Rahmen der zweiten Akteursgruppe interviewt wurden.

Der *Tabelle 5* ist der Überblick der durchgeführten Interviews und deren Zuordnung zur jeweiligen Akteursgruppe zu entnehmen.

Tabelle 5 Übersicht Expert*inneninterviews
Eigene Abbildung**Akteursgruppe 1: Technisch-betriebswirtschaftliche Position**

Institution	Funktion Expert*innen	Bezeichnung	Datum
Forschungseinrichtung	Forschungsgruppenleitung	G1-1	17.06.2021
Kommunikationstechnologie- unternehmen	Technische Direktion Projektleitung Infrastruktur	G1-2	02.07.2021
Kommunikationstechnologie- unternehmen	Operations	G1-3	09.07.2021
Telekommunikationunternehmen	Produktmanagement	G1-4	14.07.2021
Telekommunikationunternehmen & Mobilfunkinfrastrukturunternehmen	Unternehmenskommunikation Geschäftsentwicklung Leitung Rechtsabteilung	G1-5	22.07.2021

Akteursgruppe 2: Kommunale Position

Institution	Funktion Expert*innen	Bezeichnung	Datum
Kommune	Breitbandkoordination	G2-1	08.07.2021
Kommune	Referent*in Projektmanagement	G2-2	24.08.2021
Kommune	Breitbandkoordination	G2-3	02.09.2021
Kommune	Amtsleitung Stadtplanung Leitung Innenstadtentwicklung	G2-4	09.09.2021
Kommunalvertretung	Referent*in	G2-5	13.09.2021
Kommune	Fachbereichsleitung Stabsstelle	G2-6	21.09.2021
Kommune	Teamleitung Sonderplanung Sonderplanung Stadtentwicklung	G2-7	28.10.2021
Kommune	Stadtgestaltung und Stadterneuerung	G2-8	10.11.2021

Akteursgruppe 3: Infrastrukturelle und vernetzende Position

Institution	Funktion Expert*innen	Bezeichnung	Datum
Versorgungsunternehmen	Strategie & Transformation Strategie & Transformation	G3-1	24.06.2021
Versorgungsunternehmen	Innovationsmanagement	G3-2	09.09.2021
Innovationsnetzwerk	Leitung Wissenschaftler*in Mitarbeiter*in	G3-3	14.09.2021
Smart-City Technologieunternehmen	Geschäftsführung	G3-4	13.10.2021

Ablauf Interviews

Im Zuge der Pretests der Experteninterviews wurde festgestellt, dass die Thematik eine hohe Aktualität für die Interviewten aufweist. Entsprechend konnte bei den unterschiedlichen Expert*innen, insbesondere die Vertreter*innen der Kommunen, nicht der gleiche Wissensstand bezüglich der technischen und raumrelevanten Eigenschaften von 5G-Kleinzellenanlagen vorausgesetzt werden. Da aber besonders die kommunale Perspektive einen hohen Neuerungswert in der Diskussion verspricht, wurde allen Akteuren dieselbe thematische Einleitung vor den jeweiligen Interviews übermittelt. Dabei wurde möglichst objektiv über die technischen Grundlagen und Integrationsansätze informiert, damit ein einheitliches Begriffs- und Funktionsverständnis zu Beginn der Gespräche hergestellt werden konnte.

Insgesamt wurden 17 Gespräche mit 26 Akteuren geführt. Je Interview waren bis zu drei interviewte Personen am Gespräch beteiligt. Aufgrund des interdisziplinären Charakters der Forschungsfrage wurde von manchen Expert*innen gewünscht, dass weitere Kolleg*innen an dem Gespräch teilnehmen, um die Fragen ganzheitlich beantworten zu können. Auch in den Interviews mit mehreren Personen wurde der Charakter des Expert*inneninterviews erhalten und damit der Fokus auf die jeweilige Rolle als Expert*in gelegt (MAYER 2013: 38). Auf diese Weise wurde nicht die Gruppendynamiken oder Beziehungen der jeweiligen Experten*innen zueinander, wie klassischerweise in qualitativen Gruppeninterviewverfahren, fokussiert (MISOCH 2019: 137). Überwiegend wurde das Gespräch mit einer interviewten Person geführt. Die Interviews wurden in der Zeit von Juni bis November 2021 überwiegend per Videotelefonie geführt. MISOCH (2019: 182f.) hält fest, dass die Durchführung von Interviews mittels Videotelefonie einige methodische Herausforderungen mit sich bringt. Besonders die Zusammensetzung der Expert*innengruppe könnte durch die fehlende Onlineaffinität älterer Bevölkerungsgruppen aktorsgruppenspezifische Aspekte vernachlässigt werden. Auf der anderen Seite sieht die Autorin digitale Interviews vielerorts als vielversprechende Lösung, da diese Form eine erhöhte Teilnahmbereitschaft aufweist und Akteursgruppen unabhängig der jeweiligen geographischen Lage erreicht. Zudem ist die Qualität digitaler Interviews mit den persönlich durchgeführten Interviews

vergleichbar (MISOCH 2019: 182f.). Die digitale Version des Expert*inneninterviews wurde aufgrund der Technikaffinität der Interviewten sowie der während der Coronapandemie aufgebauten Expertise im Bereich der Videotelefonie als zielführend erachtet.

Auswertung

Nahezu alle Gespräche wurden mit dem Einverständnis der Interviewten für die spätere Auswertung aufgezeichnet und anschließend transkribiert sowie anonymisiert. Als Transkriptionsmethode wurde die selektive Transkriptionsform gewählt (MISOCH 2019: 270). Da der Fokus der Interviews primär auf der Interpretation des Gesprochenen und der Wissensgenerierung lag, wurde auf eine vollständige Transkription, welche sämtliche verbale Kommunikationsinformationen, wie z.B. das Sprechtempo, den Tonfall oder Dialekte, beinhaltet, verzichtet (HALCOMB & DAVIDSON 2006: 40). Im Rahmen der selektiven Transkriptionen wurden beispielsweise Versprecher, Betonungen, Füllwörter oder Pausen nicht transkribiert. Ein Interview mit zwei Expert*innen konnte aufgrund der eigenen Firmenpolitik nicht aufgezeichnet werden. Hier wurden die extrahierten Kernaussagen im Anschluss an das Interview schriftlich durch die Interviewten bestätigt. Zur Auswertung der empirisch gewonnen Erkenntnisse wurde im Rahmen dieser Arbeit die gängige qualitative Inhaltsanalyse nach KUCKARTZ (2018) angewandt. Im Vergleich zur „klassischen“ qualitativen Inhaltsanalyse nach z.B. MAYRING (2015), welche theoretische Ansätze stärker in den Fokus setzt, erscheint der Ansatz von KUCKARTZ (2018) aufgrund der prinzipiell offeneren Herangehensweise für das hier dargestellte Vorhaben zielführender (MAYRING 2015: 62 ff.; KUCKARTZ 2018: 100 ff.). Grundlegendes Ziel der Inhaltsanalyse ist die Auswertung von Material, das aus jeglicher Form der Kommunikation stammt (MAYRING 2015: 11).

Als Grundlage der Analyse nach Kuckartz wurde eine initiale Textarbeit vorgenommen, auf deren Grundlage thematische Kategorien abgeleitet und das Interviewmaterial codiert wurde. An die Codierung schloss sich die Analyse an. Den Ausgang hierfür bildete die Aufstellung einer Themenmatrix sowie die Erstellung thematischer Zusammenfassungen. Darauf aufbauend wurden die einzelnen Kategorien der unterschiedlichen Akteursgruppen

ausgewertet. Anschließend konnten die Zusammenhänge innerhalb und zwischen den Kategorien und Akteursgruppen betrachtet werden. Abschließend wurden die Ergebnisse visualisiert (KUCKARTZ 2018: 100 ff.). Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Software MAXQDA 2022 zur Codierung, Kategorisierung, Zusammenfassung und Auswertung verwendet.

5 Empirische Ergebnisse

Im Rahmen dieses Kapitels werden die empirischen Ergebnisse des im vorherigen Kapitel vorgestellten methodischen Vorgehens dargestellt, um die eingangs formulierten Forschungsfragen zu beantworten. Dafür fließen die methodischen Ansätze entsprechend untenstehender *Abbildung 21* in die einzelnen Unterkapitel ein und erzeugen so eine möglichst umfangreiche Bearbeitung der formulierten drei Aspekte. Die Ergebnisse der Geodatenanalyse stellen die Grundlage der *Standortpotenziale* dar. Die Akzeptanzbefragung legt den Grundstein der Bewertung der *städtebaulichen Integrationsprinzipien*. Die vergleichende Betrachtung liefert *Implementierungsansätze* potenzieller Kleinzellenstandorte. Als Validation und Ergänzung der genannten und überwiegend quantitativen empirischen Ergebnisse fungieren die qualitativen empirischen Ergebnisse der Expert*inneninterviews. Die Erkenntnisse der einzelnen Aspekte werden für eine bessere Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit im Folgenden getrennt nach den durchgeführten Methoden dargestellt.

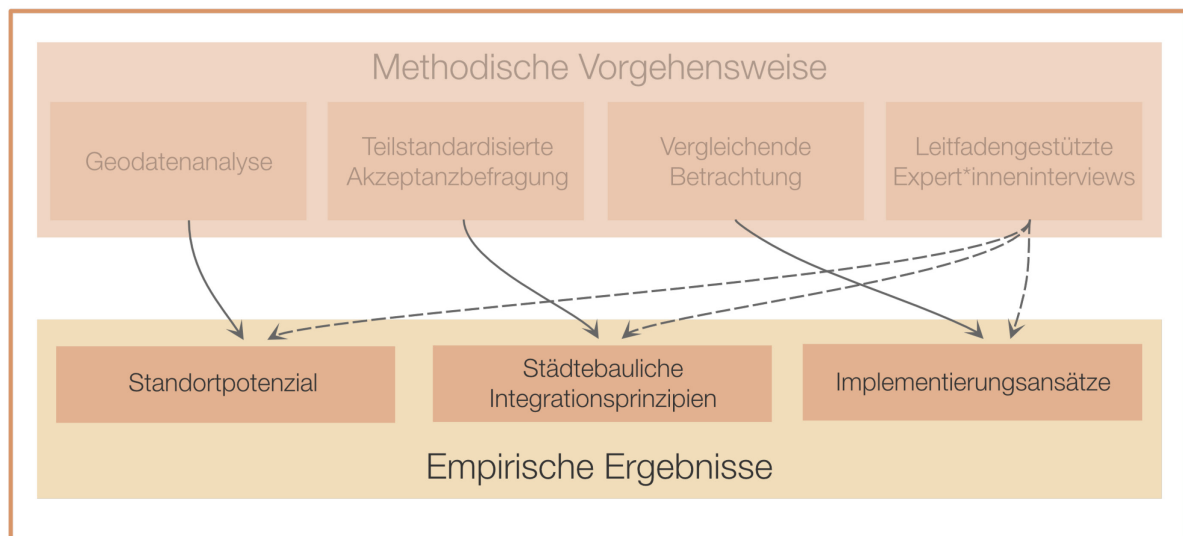


Abbildung 21 Ableitung empirischer Ergebnisse
Eigene Darstellung

5.1 Standortpotenzial

In diesem Unterkapitel werden die potenziellen Standorte und möglichen Trägerinfrastrukturen für Kleinzellenanlagen näher betrachtet. Die quantitativen Daten zur Verortung und zur idealisierten möglichen Mobilfunkabdeckung entstammen der Geodatenanalyse aus dem Dortmunder Reallabor (vgl. Kapitel 4.1). Die Einschätzungen bezüglich der Eignung der jeweiligen Standorttypen und potenziell notwendige Vorarbeiten für den Kleinzellenausbau leiten sich aus den geführten Experteninterviews ab (vgl. Kapitel 4.4). Ziel dieses Unterkapitels ist es, Aussagen ableiten zu können, inwiefern ausreichend nutzbare Trägerinfrastruktursysteme bereits bestehen oder perspektivisch neu geschaffen werden müssen. Dafür wird die Eignung ausgewählter bestehender Infrastrukturen aus räumlicher, baulicher, technischer und prozessualer Perspektive betrachtet. Aus den Ergebnissen lassen sich Flexibilitäten für die Verortung der Kleinzellen ableiten, die in die strategischen Betrachtungen von Kommunen einfließen können.

5.1.1 Quantitative Geodatenanalyseergebnisse

Das betrachtete Reallabor (*Abbildung 22*) liegt im Dortmunder Stadtbezirk Innenstadt West, weist eine Gesamtfläche von knapp. 2,5 km² auf und ist durch eine heterogene Nutzungsstruktur gekennzeichnet (*Tabelle 6*).

Tabelle 6 Übersicht Nutzungen im Reallabor
Eigene Darstellung, Datengrundlage Stadt Dortmund

Nutzung	Anteil
Straßenverkehr	25%
Wohnbau	15%
Funktionale Prägung	14%
Industrie & Gewerbe	13%
Freizeit & Erholung	12%
Mischnutzung	9%
Platz	8%
Bahnverkehr	2%
Sonstiges	1%
<i>Gesamtergebnis</i>	<i>100%</i>

Der nördliche Bereich des Reallabors ist besonders innerhalb der verkehrlichen Ringschließung durch eine sehr dichte und zum großen Teil gewerbliche sowie funktionale Nutzung charakterisiert. Charakteristische Bauten wie das *Dortmunder U* oder das Dortmunder Rathaus wirken gebietsprägend weit über die Grenzen des Untersuchungsgebiets hinaus. Der zentrale Bereich des Reallabors weist überwiegend urbane Blockstrukturen auf. Neben der prägenden Misch- und Wohnnutzung ist das Zentrum des betrachteten Gebietes sowohl durch die Funktionsgebäude des Klinikums und weiterer medizinischer Versorgungsinfrastrukturen, als auch durch den Hochschulstandort *Campus Sonnenstraße* der *FH Dortmund* charakterisiert. Im südlichen Bereich bilden großflächige Veranstaltungsanlagen, wie die *Westfallenhallen* oder der *Signal-Iduna-Park*, einen funktionalen sowie auch baulichen Gegenpol zu den nördlichen Gebieten. 5G-Kleinzellenanwendungsfälle sollen in den kommenden Jahren primär in hochfrequenten Bereichen umgesetzt werden. Die gewerblich geprägten Innenstadtbereiche, die dicht bebauten Bereiche des Klinik- und

Kreuzviertels sowie die Veranstaltungsflächen stellen jeweils unterschiedliche, jedoch sehr relevante 5G-Anwendungsfälle dar. Für den perspektivisch flächendeckenderen Kleinzellenausbau stellt das Reallabor aufgrund seiner diversen Nutzungs- und Bebauungscharakteristik einen geeigneten Untersuchungsrahmen dar. Abgeleitete Ergebnisse lassen sich durch die aufgezeigte Heterogenität von Nutzung und Bebauung auf eine Vielzahl urbaner Gebiete übertragen.

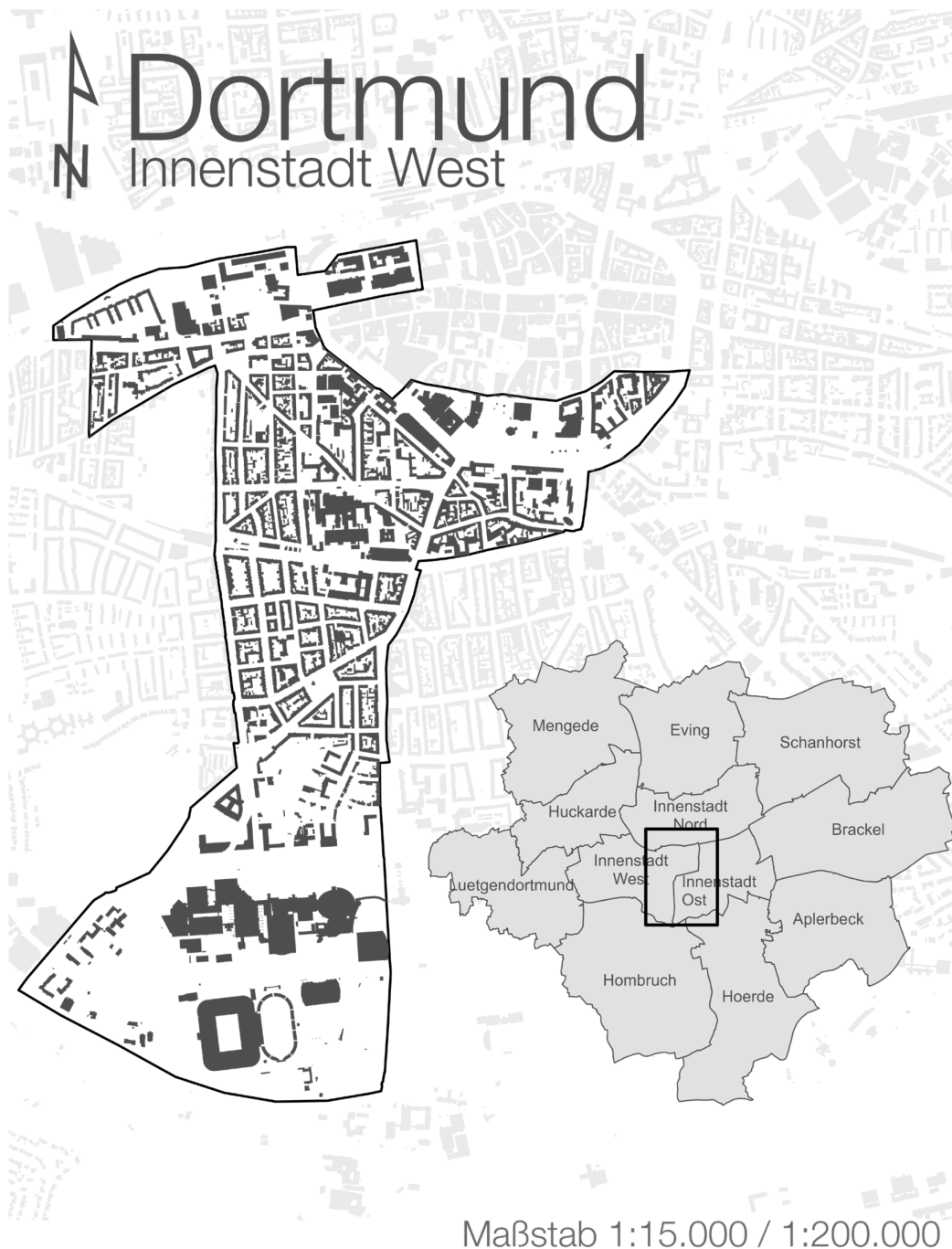


Abbildung 22 Übersicht Reallabor
Eigene Darstellung, Datengrundlage Stadt Dortmund

Quantitative Betrachtung potenzieller Trägerinfrastrukturen

Insgesamt wurden im Reallabor zur potenziellen Adressierung akzeptanzfördernder Integrationsansätze 2155 potenzielle Standorte für Kleinzellen-Sendeanlagen ausgemacht. Ein Überblick über die räumliche Verteilung der Standorte ist der folgenden *Abbildung 23* zu entnehmen.

Als potenzielle Standorte für Kleinzellenanlagen bieten sich aus den in Kapitel 3.3.2 vorgestellten Gründen primär bereits bestehende Objekte des Stadtraums an. Aus planerischer Perspektive kommt nun der Anspruch hinzu, die Standorte gemäß akzeptanzförderlicher Gestaltungsansätze in eine Gesamtstrategie einbinden zu können. Im Folgenden werden die untersuchten potenziellen Trägerinfrastrukturen näher erläutert und deren idealisierte Abdeckungscharakteristika dargestellt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die potenziellen Trägerinfrastrukturen *Beleuchtungsanlagen, Versorgungskästen, Fassaden öffentlicher Gebäude, Lifßsäulen, Lichtsignalanlagen, ÖPNV-Infrastrukturen, Ladeinfrastrukturen, Kommunikationsanlagen, Fahrleitungsmasten* sowie *sonstige Trägerinfrastrukturen* analysiert.



Abbildung 23 Übersicht potenzielle Kleinzellenstandorte
 Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung & Stadt Dortmund

Beleuchtungsanlagen

Aus quantitativer Sicht wird die größtmögliche alleinige Kleinzellenabdeckung im Dortmunder Reallabor durch urbane Beleuchtungsanlagen möglich. Insgesamt 1507 Beleuchtungsanlagen könnten eine idealisierte Mobilfunkabdeckung von ca. 95 % erreichen. Beleuchtungsanlagen bieten sich nicht nur bezüglich ihrer flächendeckenden Verfügbarkeit an. Auch sind die Anlagen in der Regel in Besitz eines*r alleinigen Eigentümer*in. Potenzielle Nutzungsvereinbarungen lassen sich dementsprechend skalieren. Im Reallabor können viele verschiedene Laternentypen ausgemacht werden. Diese unterscheiden sich beispielsweise durch ihre Höhe oder Form. In *Abbildung 24* wurden alle Beleuchtungsanlagen im Untersuchungsgebiet berücksichtigt. Infrastrukturexpert*innen betonen in den Interviews, dass sich lediglich Laternen mit Dauerstromversorgung als mögliche Standorte anbieten, da eine durchgehende Stromversorgung benötigt wird (vgl. Kapitel 3.3.2). Bei einer ausschließlichen Berücksichtigung der Standorte mit Dauerstromversorgung sinkt die Anzahl möglicher Standorte im Reallabor auf 591, diese könnten eine maximale Abdeckung von ca. 78 % des Reallabors ermöglichen. Da nach Expert*innenmeinung eine Nachrüstung in vielen Fällen möglich sei, wird an dieser Stelle keine weitere Unterscheidung zwischen Dauerstromversorgung und temporärer Stromversorgung der Laternen vorgenommen.

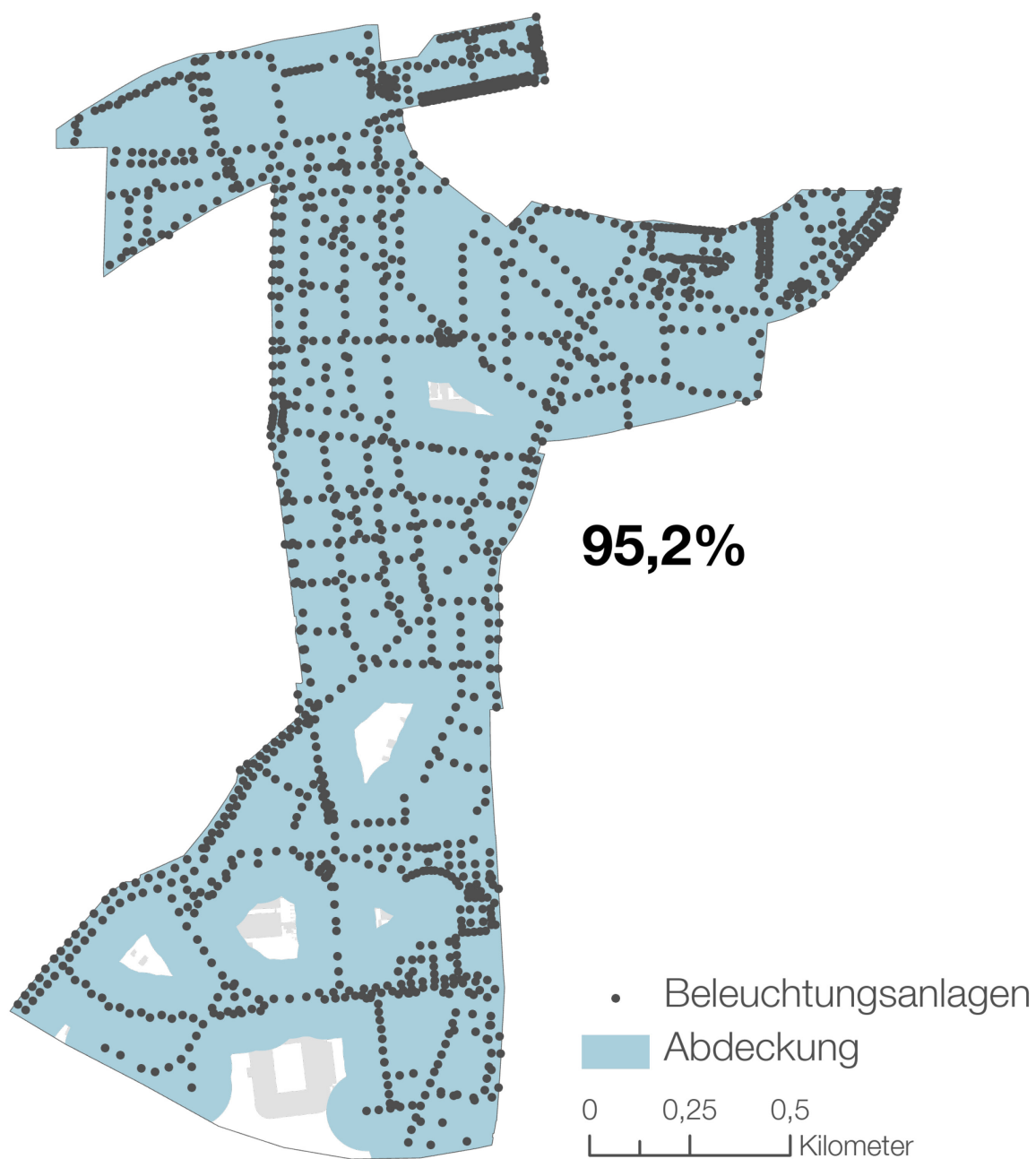


Abbildung 24 Übersicht Beleuchtungsanlagen
Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung und Stadt Dortmund

Versorgungskästen

Als Versorgungskästen werden in dieser Arbeit Kabelverteilerschränke für die Stromverteilung auf Niederspannungsebene, Kabelverzweigerschränke für die Verteilung von Kommunikationssignalen oder Kästen zur Verkleidung der Technik für die Ampelsteuerung zusammengefasst. Es handelt sich hierbei um in der Regel freistehende, rechteckige Kästen in gräulichem Farbton, welche Vielerorts im öffentlichen Raum anzufinden sind. Die Versorgungskästen bieten sich aufgrund ihres grundsätzlichen Strom- und Datenanschlusses auch zur Beheimatung von 5G-Sendetechnik an. Jedoch kommen die Kästen in ihrer aktuellen Bauform nicht auf die dargestellten und einzuhaltenden Mindesthöhen für die Antennen. Die Nutzung der in Kapitel 3.3.2 erläuterten Aufbauvariante des Nebenstellers könnte jedoch, zumindest theoretisch, das Problem der fehlenden Höhe lösen. Die 193 aufgenommenen Versorgungskästen erreichen im Reallabor durch eine vergleichsweise ausgeglichene Verteilung eine potenzielle Abdeckung von knapp 79 % (*Abbildung 25*). Besonders in den dicht besiedelten Gebieten wird eine hohe potenzielle Abdeckung erreicht.

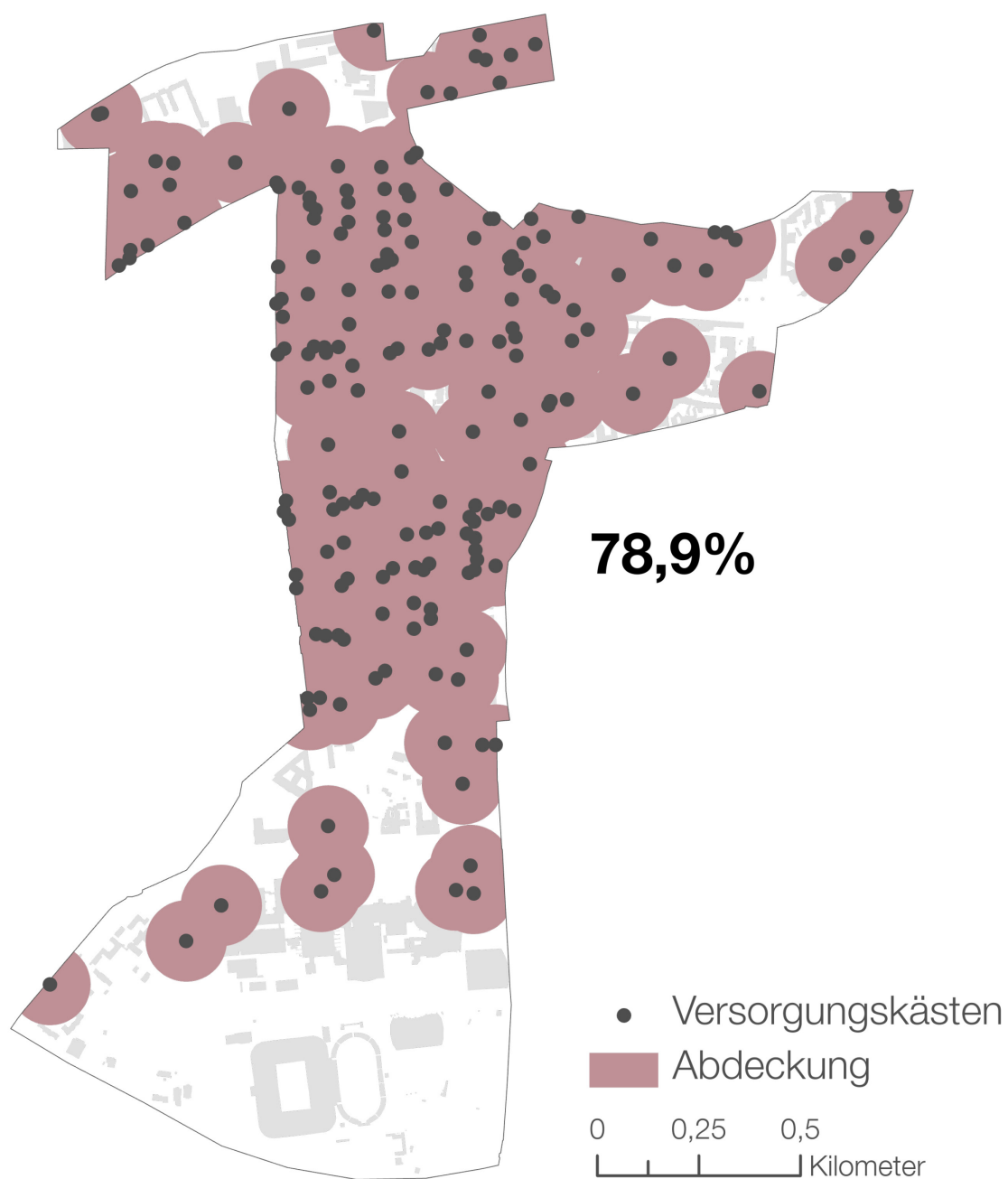


Abbildung 25 Übersicht Versorgungskästen
Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung und Stadt Dortmund

Fassaden öffentlicher Gebäude

Fassaden öffentlicher Gebäude bieten im Dortmunder Reallabor unter idealisierten Annahmen die Möglichkeit maximal knapp 65 % der betrachteten Fläche mittels Kleinzellen abzudecken. Aus den GIS-Daten der Stadt Dortmund lassen sich im Reallabor 238 Gebäude (-teile) in öffentlichem Besitz identifizieren. Der Anteil öffentlicher Gebäude ist dabei im Reallabor vergleichsweise hoch und erklärt sich durch diverse Veranstaltungs- und Sportstätten im südlichen sowie Verwaltungsgebäude im nördlichen Bereich des Reallabors. Öffentliche Gebäude als Standorte für (Kleinzellen-) Mobilfunktendeanlagen sind vor allem aus organisatorischer Perspektive attraktiv. Die hohe Anzahl an Gebäuden in kommunalem Besitz ermöglicht es TKUs, Rahmenverträge über die Nutzung diverser Immobilien zu schließen. Damit kann z.B. der organisatorische Aufwand der zu schaffenden rechtlichen Rahmenbedingungen verringert werden. Öffentliche Gebäude weisen in der Regel eine Strom- und Glasfaseranbindung auf, welche für den Betrieb der Kleinzellen mitgenutzt werden könnte. *Abbildung 26* ist ein Überblick über die öffentlichen Gebäude im Reallabor und die daraus resultierende idealisierte Mobilfunkabdeckung zu entnehmen.

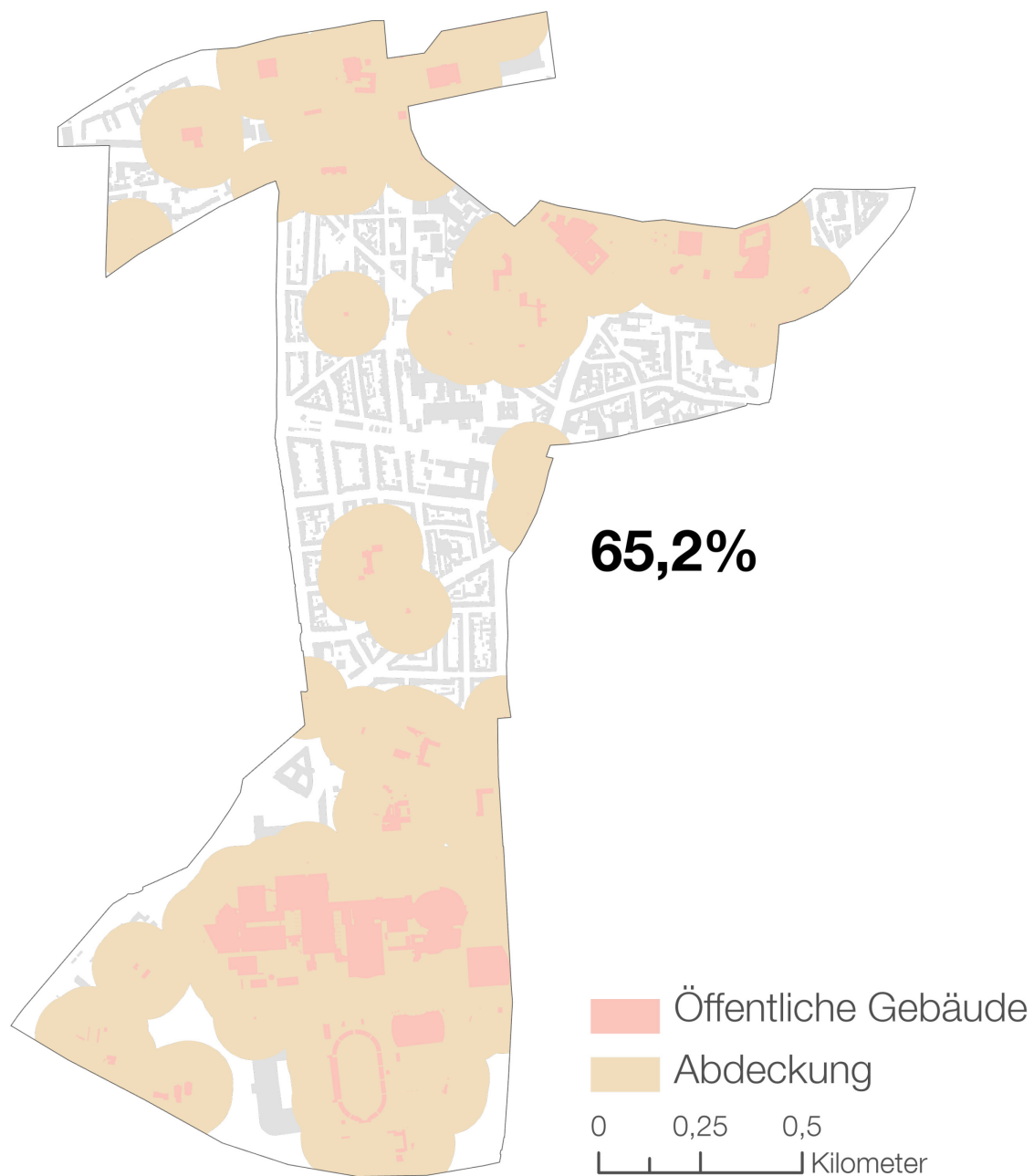


Abbildung 26 Übersicht Fassaden öffentlicher Gebäude
Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung und Stadt Dortmund

Litfaßsäulen

Die großvolumigen Stadtmöbel der Litfaßsäule sind in den meisten Groß- und Mittelstädten Deutschlands zu finden. Im Dortmunder Reallabor könnte anhand der 47 gleichmäßig verteilten Litfaßsäulen eine Abdeckung von knapp 40 % des Untersuchungsgebiets erreicht werden (*Abbildung 27*). Sie sind dabei in der Regel an stark frequentierten Orten im Stadtraum platziert. Im Gegensatz zu vielen anderen potenziellen Trägerinfrastrukturen, bietet die Litfaßsäule in vielen Fällen aufgrund ihres Aufbaus einen großzügigen Hohlraum, welcher zur Unterbringung notwendiger Mobilfunktechnik genutzt werden kann. Denkbar ist aufgrund der vorhandenen Platzreserven auch die Beheimatung weiterer Smart City-Technologien. Beleuchtete Litfaßsäulen verfügen zudem über einen zugänglichen Stromanschluss. Die elektrische Erschließung könnte gegebenenfalls auch für die Nachrüstung mit Glasfaser genutzt werden. Die erste 5G-Litfaßsäule wurde Ende 2021 in Düsseldorf in Betrieb genommen (Landeshauptstadt Düsseldorf 07.10.2021).

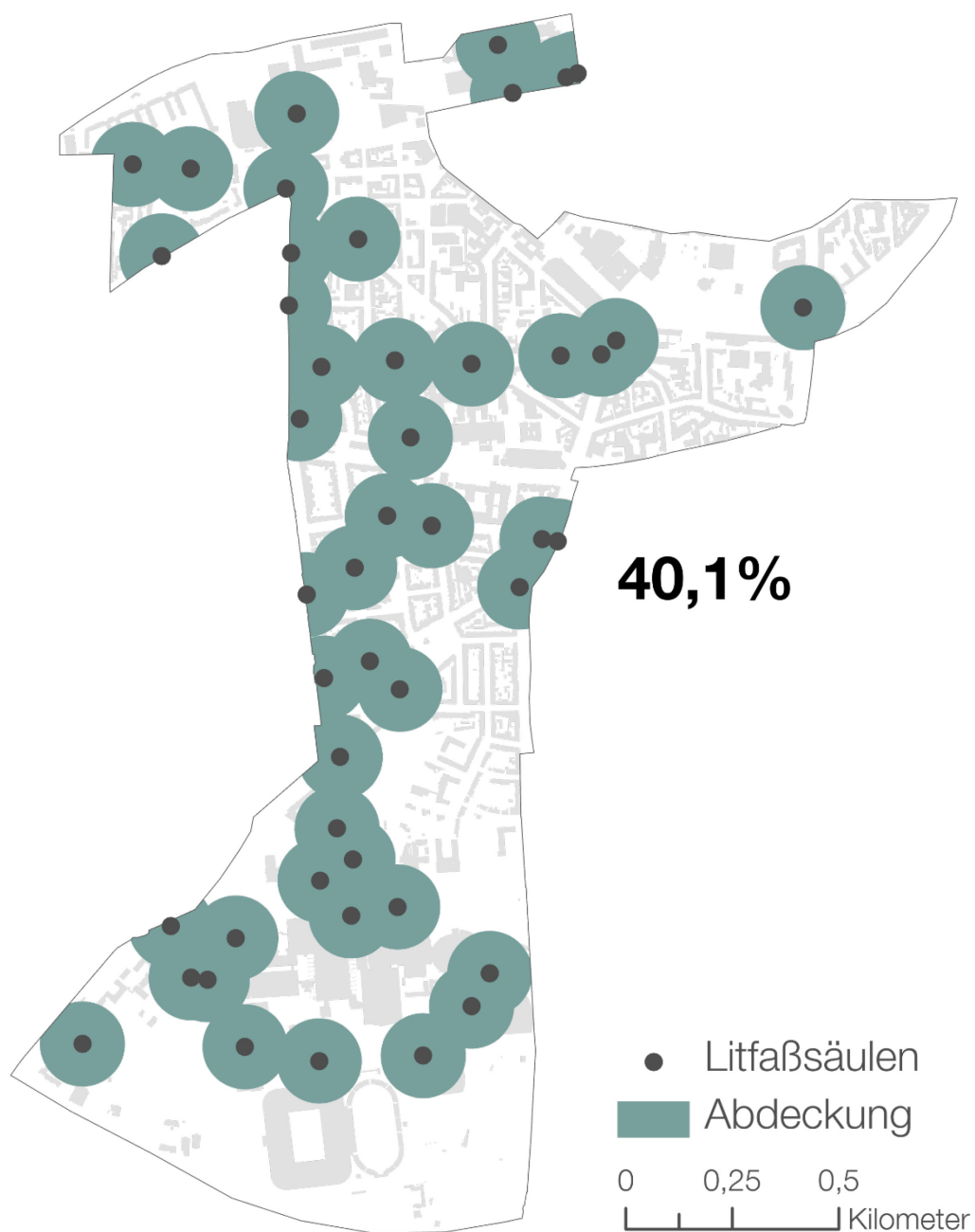


Abbildung 27 Übersicht Litfaßsäulen

Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung und Stadt Dortmund

Lichtsignalanlagen

Lichtsignalanlagen, umgangssprachlich Ampeln, sind fester Bestandteil städtischer und ländlicher Verkehrssysteme und werden zur Steigerung der Verkehrssicherheit eingesetzt (FRIEDRICH et al. 2008: 1). Im Reallabor sind 45 Lichtsignalanlagen zu finden, welche zusammen eine idealisierte Abdeckung von knapp 34 % der Gesamtfläche ermöglichen. Da die Lichtsignalanlagen zentraler Bestandteil der Verkehrssysteme sind, ist bei deren Verwendung als Trägerinfrastruktur besondere Sorgfalt auf eine störungsfreie Mitnutzung zu legen. Potenzielle Wartungsarbeiten sind daher eng mit der Verkehrsplanung abzustimmen und gegebenenfalls nicht immer unverzüglich zu gewährleisten. Die Lichtsignalanlagen weisen stets eine Stromversorgung auf, welche mitgenutzt werden könnte. Die identifizierten Ampelanlagen im Reallabor sind besonders an verkehrlich stark frequentierten Orten zu finden. Insbesondere für den Anwendungsfall autonome Mobilität könnte sich eine verkehrsnah Verortung von Kleinzellen anbieten. *Abbildung 28* ist eine Übersicht über die Lichtsignalanlagen und die daraus resultierende idealisierte Mobilfunkabdeckung im Reallabor zu entnehmen.

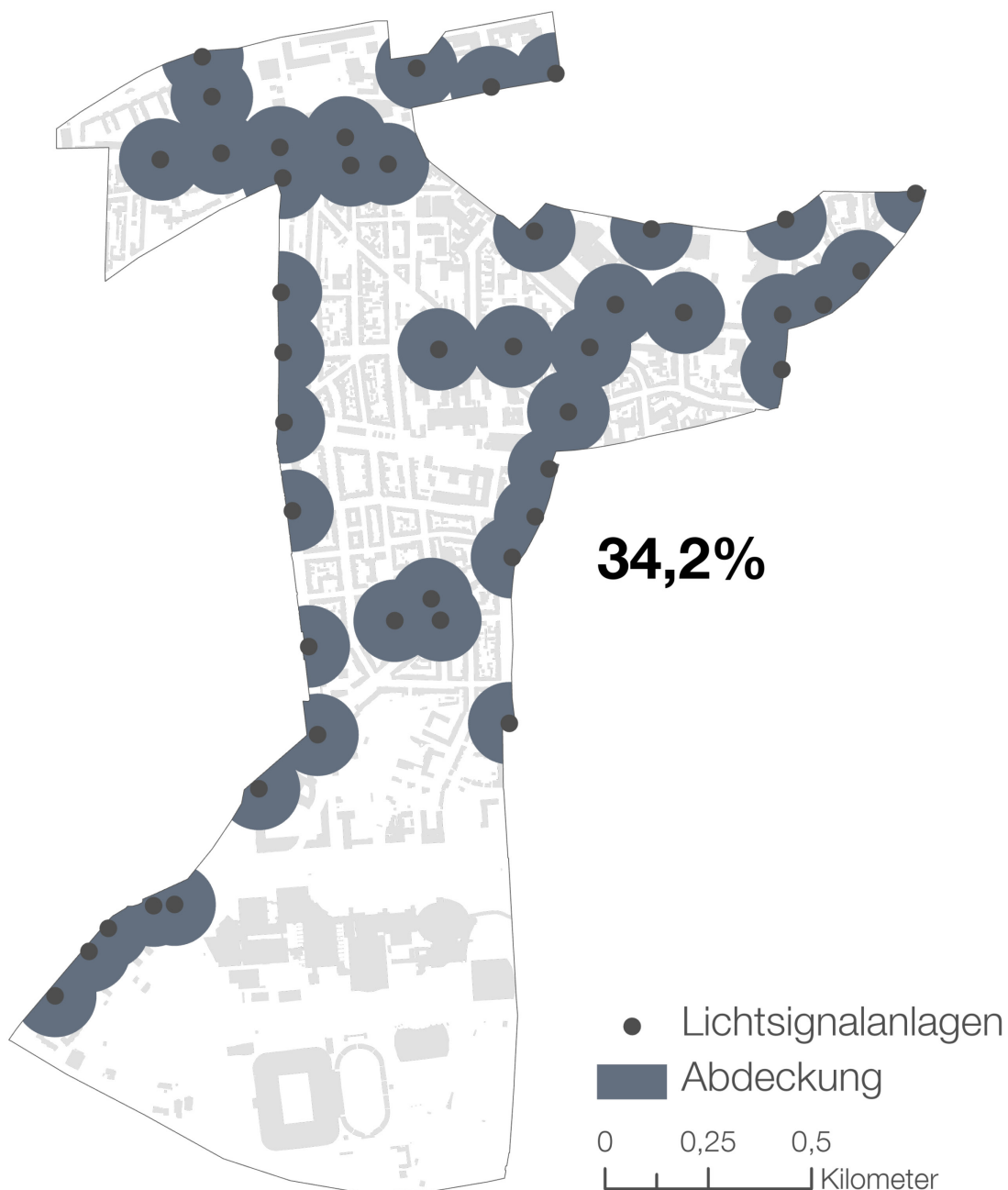


Abbildung 28 Übersicht Lichtsignalanlagen
Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung und Stadt Dortmund

ÖPNV-Infrastrukturen

Als ÖPNV-Infrastrukturen werden in dieser Arbeit die baulichen Komponenten der Ein-, Aus- und Umstieginfrastrukturen des öffentlichen Personennahverkehrs verstanden. Neben den Haltestellen für Bus, S- oder U-Bahn sowie Tram werden die dazugehörigen Komponenten, wie etwa Aufzugsanlagen oder Schilder hinzugezählt, die zwar in einiger Entfernung zum eigentlichen Haltepunkt verortet sind, aber trotzdem als möglicher Smart City-Infrastrukturstandort fungieren können. Insgesamt konnten im Dortmunder Reallabor 43 dieser ÖPNV-Infrastrukturen erfasst werden. Dabei können in der Regel mehrere Infrastrukturen pro Haltestelle ausgemacht werden. Knapp 25 % der Fläche des Untersuchungsgebiets könnte auf dieser Weise idealisiert abgedeckt werden. Die ÖPNV-Infrastrukturen weisen ein hohes Potenzial als potenzielle Trägerinfrastruktur auf, da sie in vielen Fällen bereits mit einer Stromversorgung bedacht sind. Teilweise besteht bereits eine kabelgebundene Datenverbindung. Die ÖPNV-Standorte weisen aufgrund ihrer Funktion als verkehrlicher Sammelpunkt eine hohe Frequenz an Menschen und Fahrzeugen auf. *Abbildung 29* ist eine Übersicht über die Verortung der ÖPNV-Infrastrukturen sowie eine mögliche idealisierte Mobilfunkabdeckung zu entnehmen.

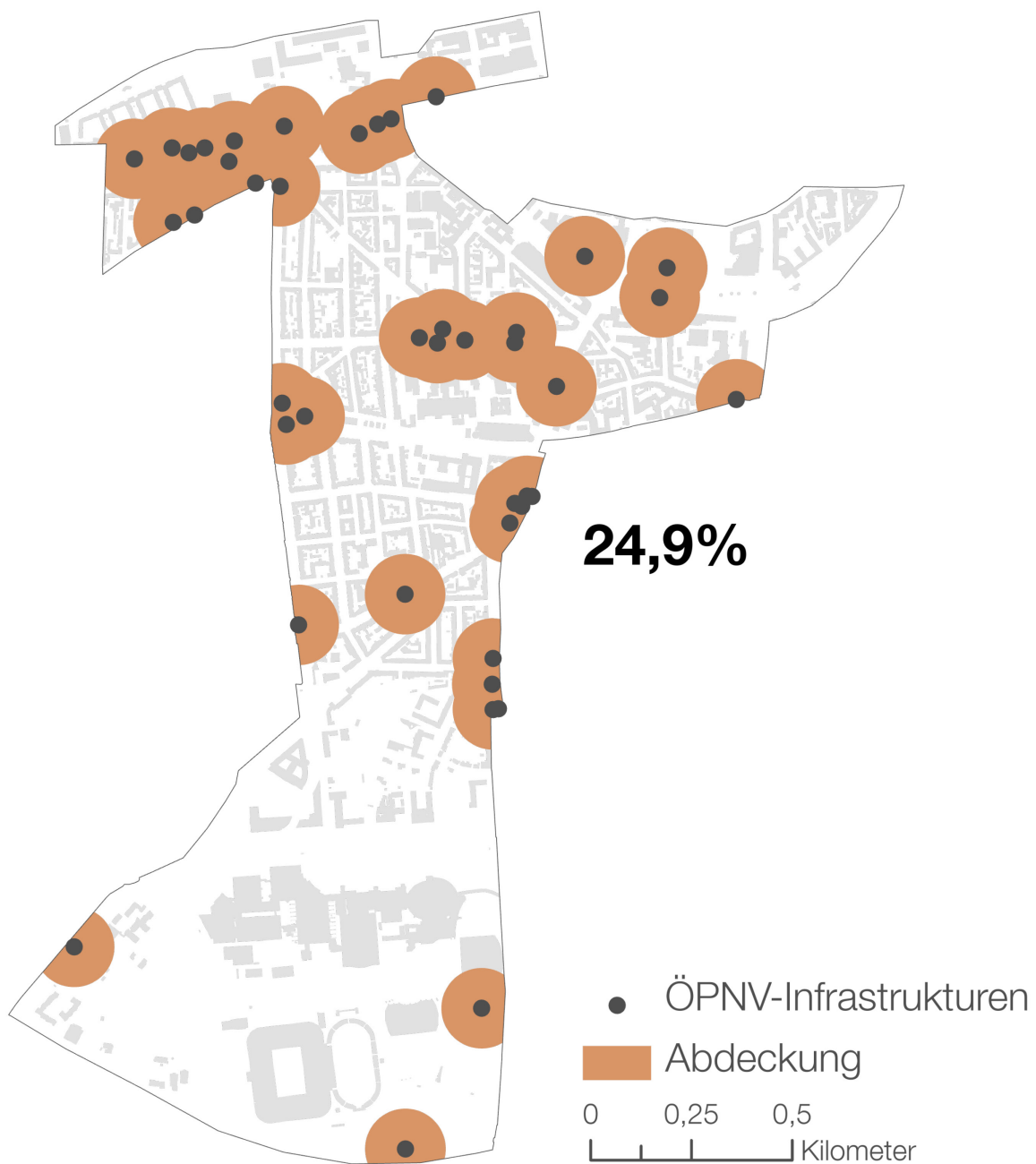


Abbildung 29 Übersicht ÖPNV-Infrastrukturen
 Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung und Stadt Dortmund

Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge

Im Bereich des Dortmunder Reallabors konnten während der Analysephase im Frühjahr 2020 12 öffentliche Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge ausgemacht werden. Da öffentliche und gewerbliche Ladestationen neben dem Stromanschluss ebenfalls eine Datenverbindung für das notwendige Lastmanagement sowie die Identifikation der Nutzer*innen benötigen (KRÖDEL 2021), eignen sich Ladeinfrastrukturen aufgrund ihrer technischen Voraussetzungen grundsätzlich als Trägerinfrastruktur für Kleinzellenanlagen. Bei dem aufgenommenen Stand des Ladeinfrastrukturausbaus wäre eine idealisierte Abdeckung von knapp 12 % möglich. Mit dem forcierten Ausbau der Ladeinfrastruktur in Deutschland (BMDV 2023) dürfte diese potenzielle Standortressource an Häufigkeit zunehmen. Eine frühzeitige Berücksichtigung der Ladeinfrastrukturen in der Ausgestaltung zukunftsfähiger vernetzter Städte stellt vor diesem Hintergrund eine lohnende Überlegung dar. Aktuelle Ladesäulenmodelle weisen derzeit in den meisten Fällen noch nicht die benötigte Höhe für etwaige Sendeanlagen auf und müssten dementsprechend angepasst werden. Aktuell werden vielerorts sogenannte Smart Poles diskutiert, die neben einer Beleuchtung und Sendefunktion in einigen Fällen auch Lademöglichkeiten für Elektromobilität vorsehen. *Abbildung 30* ist der Überblick über die im Reallabor ausgemachte Ladeinfrastruktur und die daraus abgeleitete idealisierte Mobilfunkabdeckung zu entnehmen.

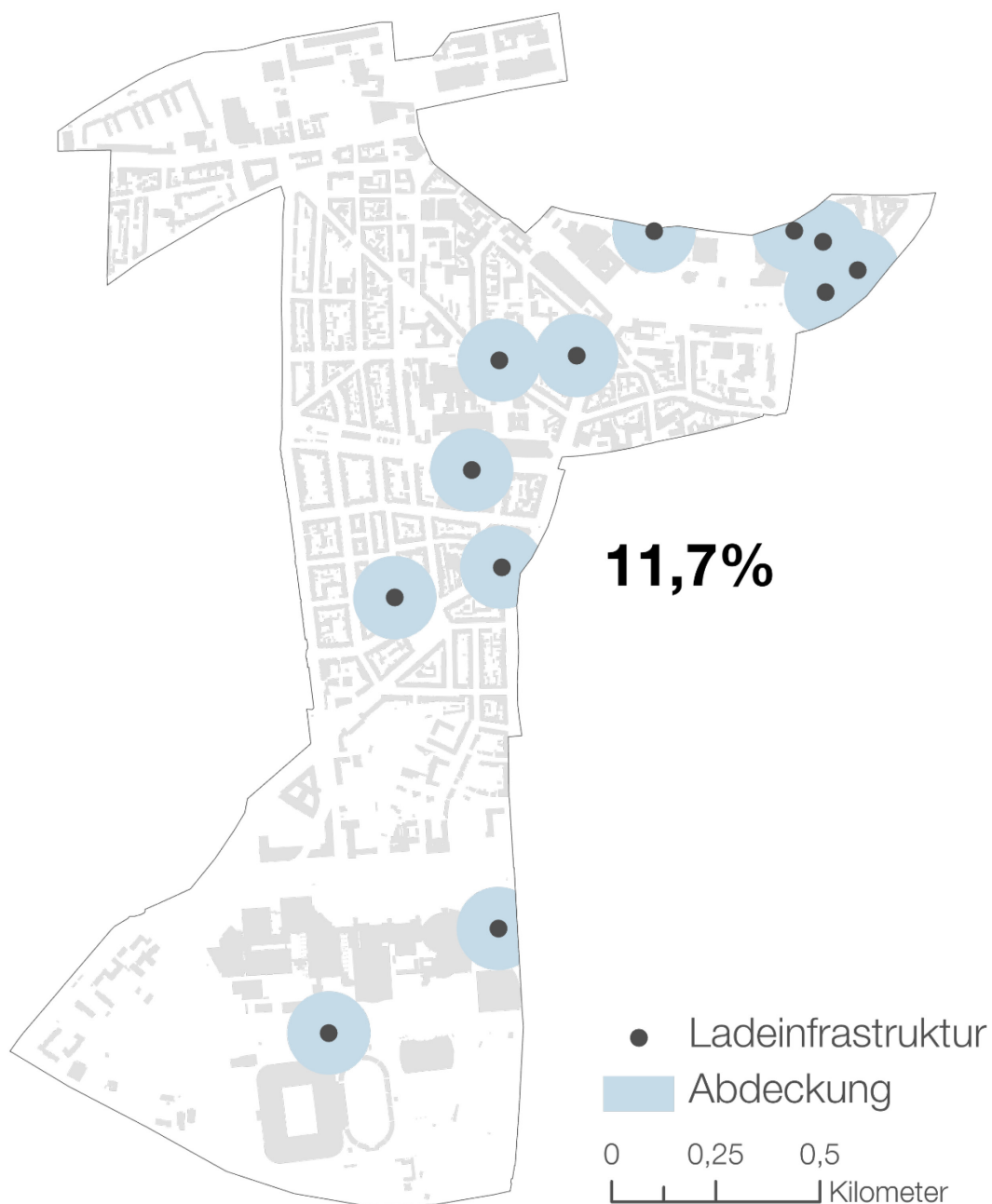


Abbildung 30 Übersicht Ladeinfrastrukturen
Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung und Stadt Dortmund

Kommunikationsanlagen

Bestehende und für die Öffentlichkeit nutzbare Kommunikationsanlagen, im Beispiel des Reallabors Telefonzellen, nehmen durch den technischen Fortschritt der Kommunikationstechnologie in ihrer Häufigkeit immer weiter ab (BNETZA 2021c: 81). Im Reallabor konnten zum Analysezeitpunkt noch 12 dieser Infrastrukturen identifiziert werden. Unter Nutzung dieser Standorttypen könnte eine maximale Mobilfunkabdeckung von knapp 11 % im Reallabor durch Kleinzellenanlagen erreicht werden. Vereinzelt werden bereits Telefonzellen als Trägerinfrastrukturen für Kleinzellenanlagen genutzt (z.B. DEUTSCHE TELEKOM AG 2018). Seit Ende Januar 2023 wurde die Telefonfunktion der Telefonsäulen eingestellt. Bis 2025 baut die Telekom ihre öffentlichen Telefonanlagen bis auf 3.000 Säulen zurück. Die verbleibenden Säulen werden als Kleinzellenstandort fungieren (DEUTSCHE TELEKOM AG 2022). Die bestehenden Telefonsäulen eignen sich besonders auf Grundlage ihres Strom- sowie Datenanschlusses für die Erweiterung als Kleinzellenstandort. Außerdem ist die Telekom als Eigentümerin dieser Standorte direkt in dem Ausbau neuer Kommunikationsinfrastrukturen involviert. *Abbildung 31* ist die Übersicht über ausgemachte Kommunikationsanlagen und die daraus resultierende idealisierte Mobilfunkabdeckung zu entnehmen.

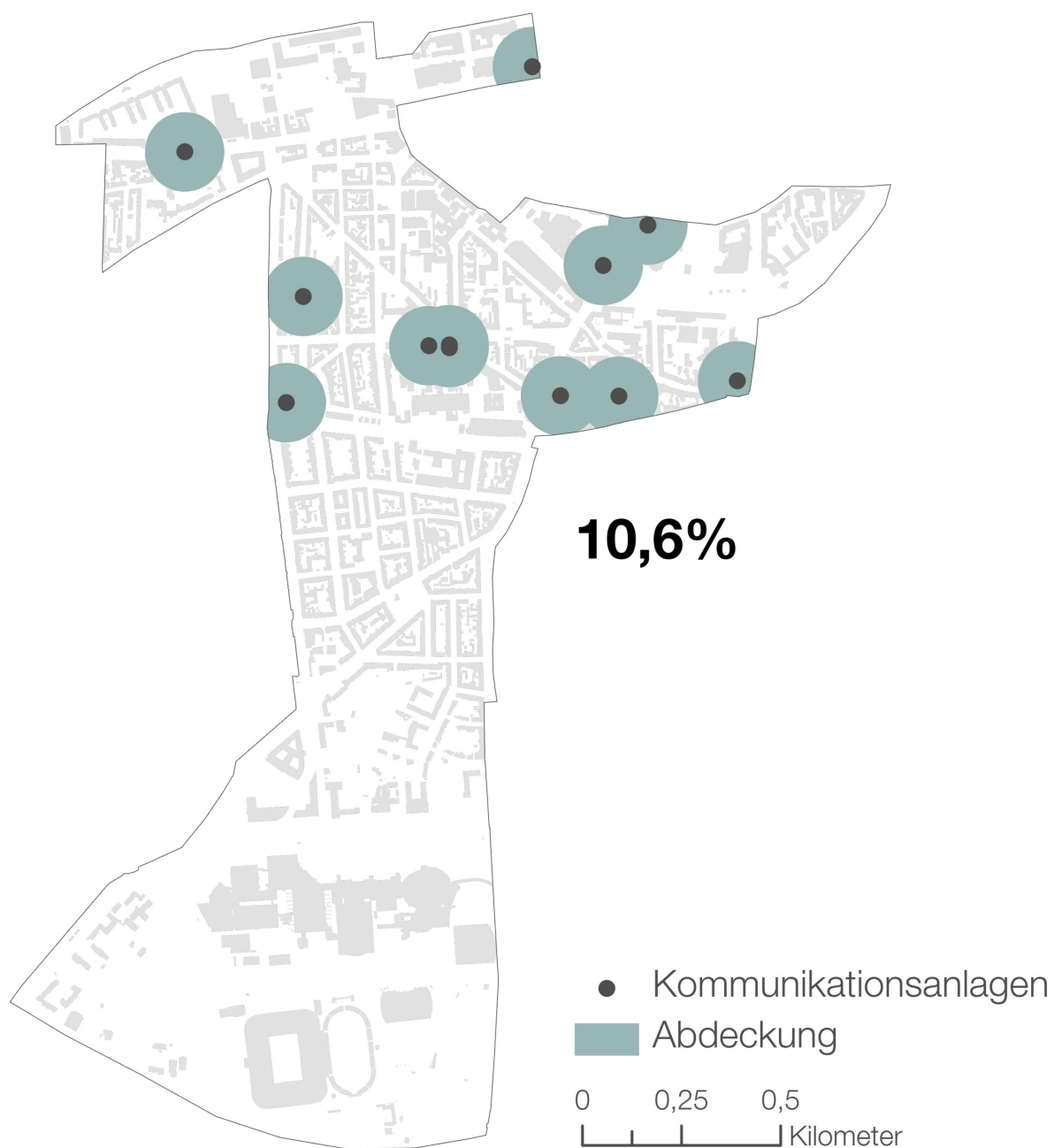


Abbildung 31 Übersicht Kommunikationsanlagen
 Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung und Stadt Dortmund

Fahrleitungsmasten

Fahrleitungsmasten dienen der Elektrifizierung von Bahn- oder Busstrecken. Aufgrund ihrer Höhe und dem vorhandenen Stromanschluss stellen sie potenzielle Standorte für Kleinzellenanlagen dar. Durch ihre geringe Anzahl und der unregelmäßigen Verteilung, zumindest im untersuchten Reallabor, wird dieses Potenzial jedoch stark eingeschränkt. 21 Fahrleitungsmasten konnten im Reallabor identifiziert werden. Damit könnte lediglich eine maximale Abdeckung von 8,5 % erreicht werden. Das Versorgungspotenzial wird durch die räumlich enge Verortung der Masten signifikant verringert. Als elementare Säule des flächenmäßigen Kleinzellenausbaus scheinen Fahrleitungsmasten ungeeignet. Diese Standorttypen könnten vielmehr als Ergänzung im urbanen Raum fungieren, sofern ein Kleinzellenausbau für automatisierte (Schienen-)Verkehrssysteme entlang dieser Masten verläuft. *Abbildung 32* sind die im Reallabor identifizierten Fahrleitungsmasten samt idealisierter Mobilfunkabdeckung zu entnehmen.

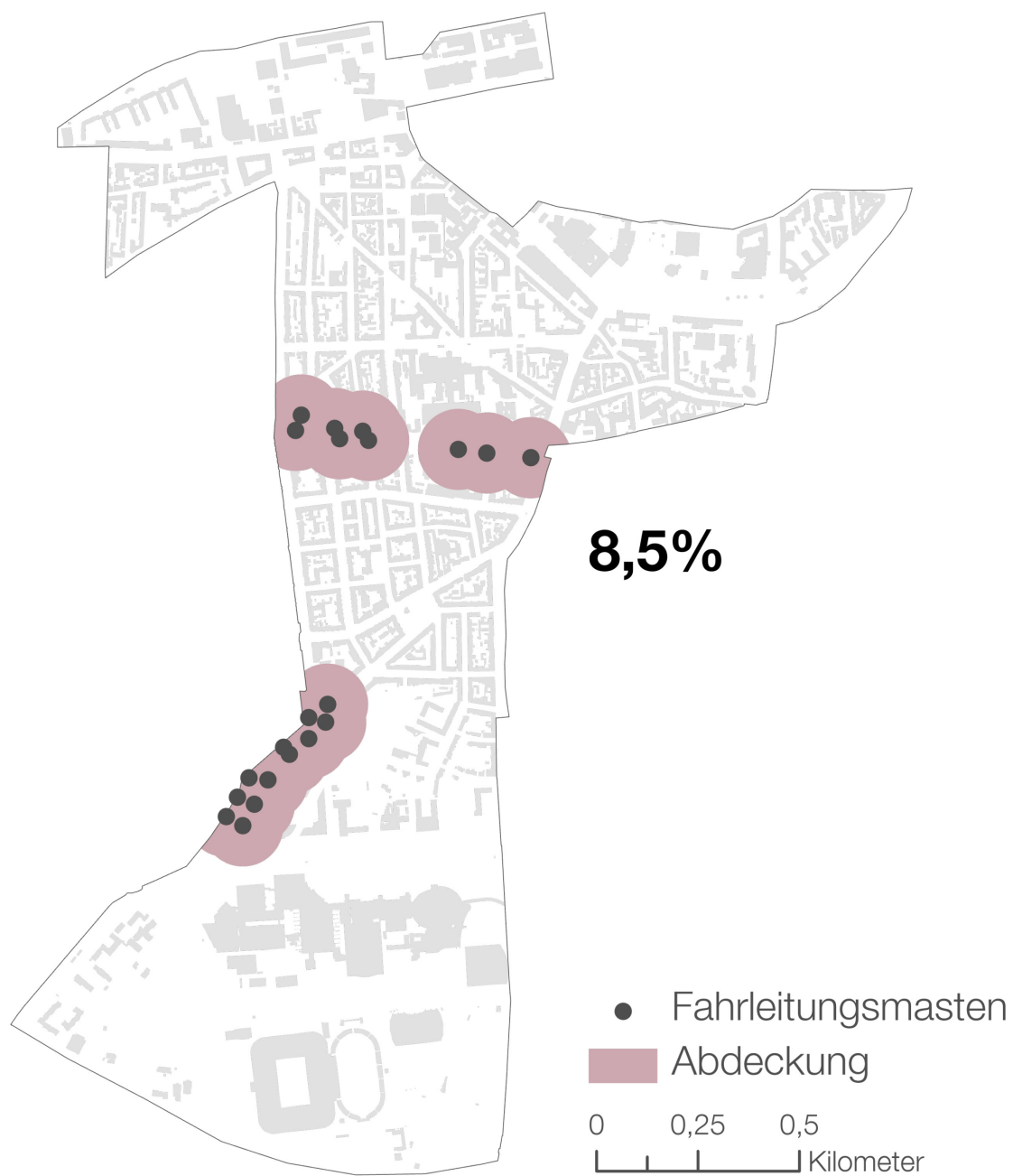


Abbildung 32 Übersicht Fahrleitungsmasten
Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung und Stadt Dortmund

Sonstige Infrastrukturen

Unter sonstige Infrastrukturen wurden in dieser Arbeit weitere, nur vereinzelt vorkommende, Standorttypen subsummiert. Dazu zählen etwa mögliche Trägerinfrastrukturen wie Paketstationen oder geeignete Flächen für neue, solitäre Träger. Letztere bieten sich vor allem im Hinblick auf die Realisierung raumprägender Integrationsansätze an. Aus ökonomischer Perspektive stellen diese Standorte vermutlich die kostenintensivsten Varianten dar, da sowohl die Infrastrukturen als auch die technischen Anschlüsse erst geschaffen werden müssen. Insgesamt konnten 37 alternative Standorte ausgemacht werden. Mit diesen ließe sich eine maximale Abdeckung von ca. 25 % erreichen. Da für eine Kostenoptimierung eine hohe Anzahl identischer Standorttypen und Besitzer*innen seitens der Betreiber*innen erwünscht wird, erscheint es wenig praktikabel, Trägerinfrastrukturen für den Kleinzellenausbau zu verwenden, die nur selten im urbanen Raum zu finden sind und von vielen Einzelakteuren betrieben werden. *Abbildung 33* zeigt die Verortung der sonstigen Infrastrukturen sowie die idealisierten Mobilfunkabdeckungen.

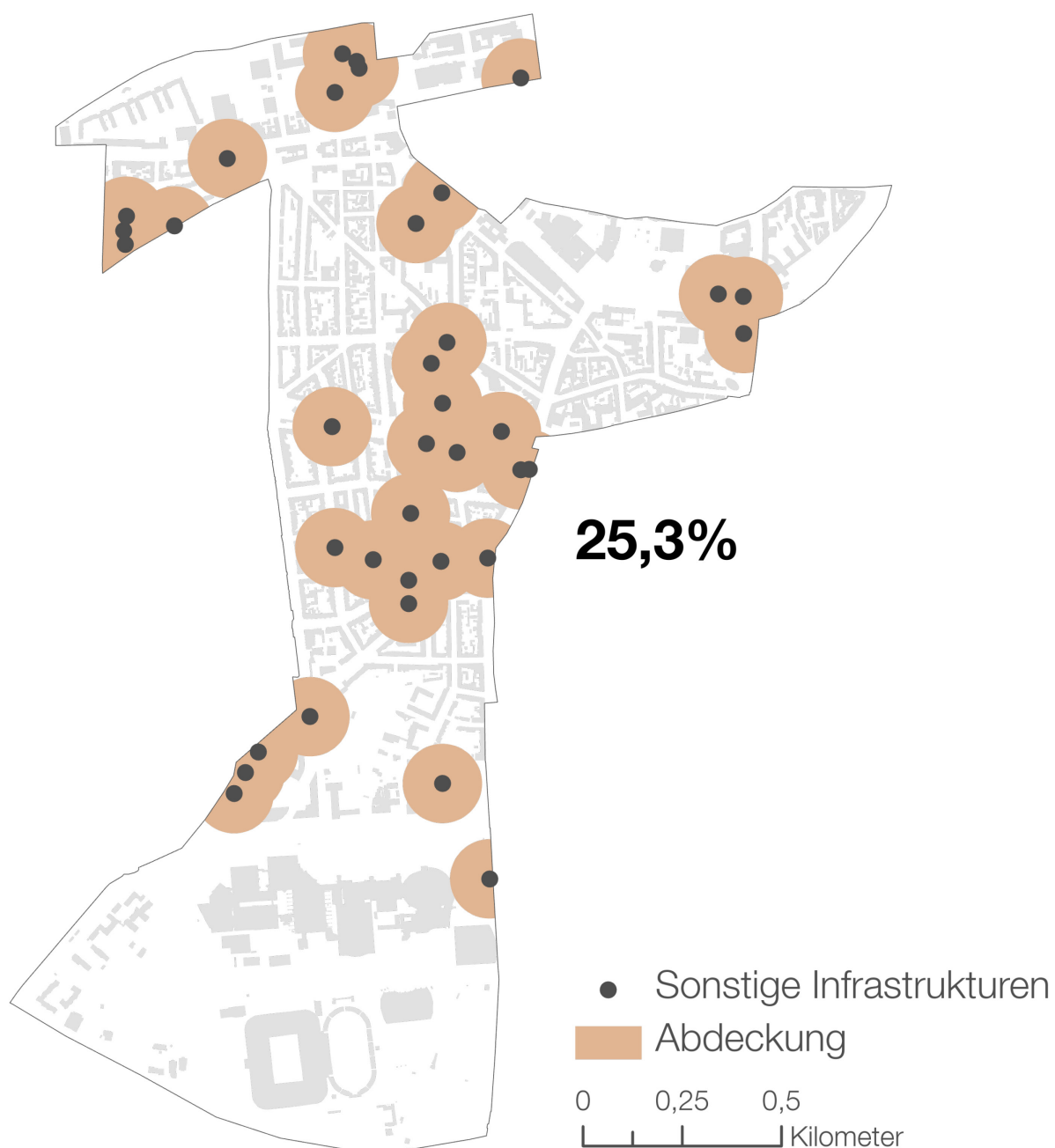
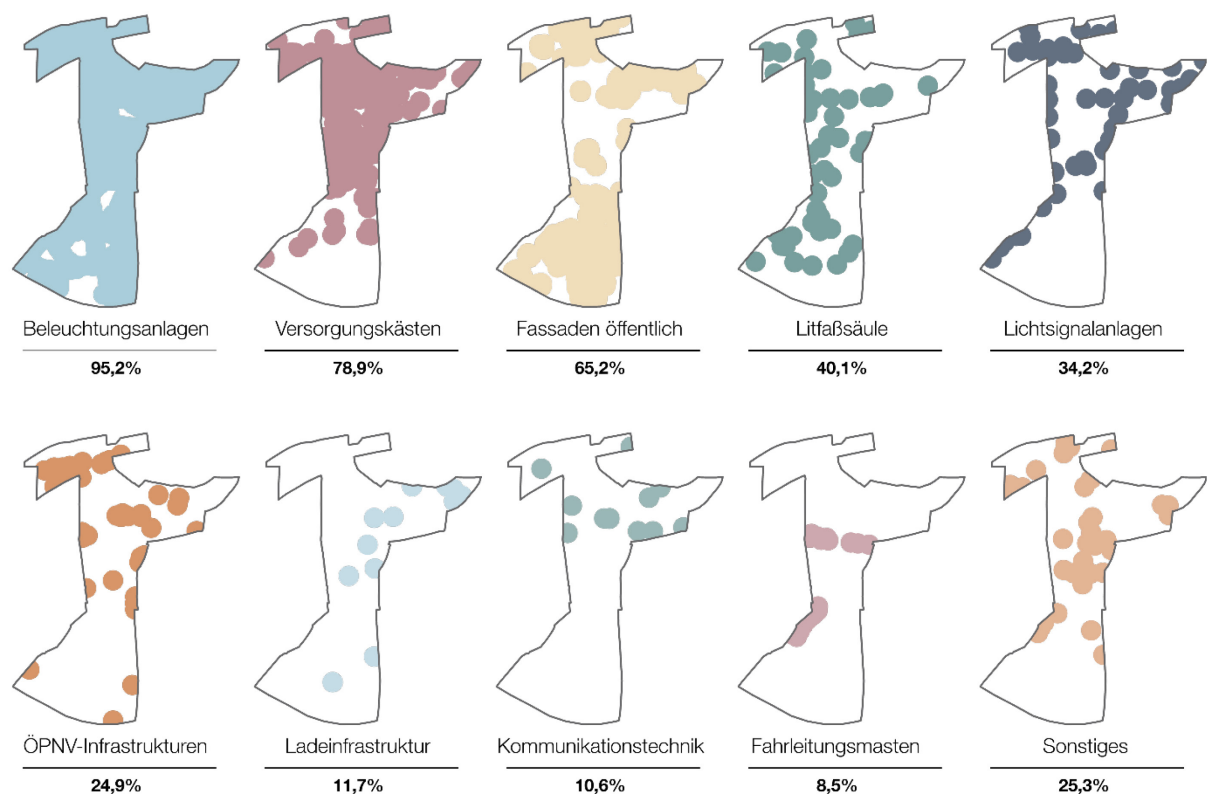


Abbildung 33 Übersicht sonstige Infrastrukturen
Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung und Stadt Dortmund

Zusammenfassend ist *Abbildung 34* eine Übersicht aller untersuchten Infrastrukturen, deren potenzielle, idealisierten Abdeckungsszenarien sowie deren Häufigkeit im Reallabor zu entnehmen. Aus quantitativer Perspektive konnte ein stark divergierendes Potenzial der Standorttypen und Trägerinfrastrukturen ausgemacht werden. Besonders im Hinblick auf wünschenswerte skalierbare Lösungen eignen sich primär Infrastrukturen, die ein regelmäßiges und häufiges Vorkommen im urbanen Raum aufweisen. Die zusammengefasste maximale Kleinzellenabdeckung von ca. 99% wird als sehr zufriedenstellend bewertet. Die fehlenden beziehungsweise nur vereinzelt abgedeckten Bereiche des Reallabors sind extensiv genutzte und bebaute Flächen. In der näheren bis mittleren Zukunft scheint der Bedarf an



Trägerinfrastruktur	Anzahl	Max. Abdeckung	Anzahl / km ²
Beleuchtungsanlagen	1507	95%	610,12
Versorgungskästen	193	79%	78,14
Fassden Öffentlich	238	65%	96,36
Litfaßsäulen	47	40%	19,03
Lichtsignalanlagen	45	34%	18,22
ÖPNV-Infrastrukturen	43	25%	17,41
Ladeinfrastrukturen	12	12%	4,86
Kommunikationstechnik	12	11%	4,86
Fahrleitungsmast	21	9%	8,50
Sonstiges	37	25%	14,98
Gesamt	2155	99%	872,47

Abbildung 34 Vergleich der untersuchten Trägerinfrastrukturen
Eigene Darstellung, Datengrundlage: Eigene Erhebung und Stadt Dortmund

einer Kleinzellenabdeckung dieser Stadtbereiche unwahrscheinlich. Im Umkehrschluss kann daher eine vollständige potenzielle Abdeckung der relevanten Gebiete im Reallabor angenommen werden.

Übertragbarkeit der Ergebnisse

Um aufzuzeigen, inwiefern die hier vorgestellten Ergebnisse zur Anzahl und Verteilung potenzieller Kleinzellenstandorte auf andere Stadträume übertragen werden können, wurde ein Infrastrukturvergleich zwischen dem aufgezeigten Reallabor und dem Dortmunder Innenstadtbereich vorgenommen. Verglichen wurden dabei die Häufigkeit und die räumliche Verteilung potenzieller Kleinzellenstandorte ausgewählter Infrastrukturen. Ziel des Vergleichs ist eine Einschätzung, ob und inwiefern die Erkenntnisse im Grundsatz auf andere Stadträume übertragen werden können.

Die Dortmunder Innenstadtbereiche (Innenstadt-Nord, -Ost, -West) umfassen eine Fläche von knapp 40 km² und sind damit fast 16 Mal größer als das sich innerhalb dieser Fläche befindende Reallabor. Ein Blick auf die Anzahl der Infrastrukturen pro km² und die zu erreichenden maximalen Abdeckungsbereiche zeigen, dass im Reallabor über alle untersuchten Standorttypen hinweg eine höhere Anzahl möglicher Standorte pro km² im Reallabor als im Innenstadtbereich ausgemacht werden konnte. Auch bei der Berechnung der maximalen Abdeckung konnten höhere Werte für das Reallabor identifiziert werden (vgl. *Tabelle 7*).

Tabelle 7 Infrastrukturvergleich Reallabor und Dortmunder Innenstadtbereich
Eigene Darstellung, Datengrundlage: Stadt Dortmund

Indikator	DO-Reallabor	DO-Innenstadtbereich
Größe (km ²)	2,47	39,4
Beleuchtungsanlagen		
Anzahl / km ²	610,1	364,4
Maximale Abdeckung	95,2%	76,4%
Lichtsignalanlagen		
Anzahl / km ²	18,2	7,5
Maximale Abdeckung	34,2%	19,0%
ÖPNV-Stationen		
Anzahl / km ²	4,9	4,1
Maximale Abdeckung	12,2%	16,3%
Öffentliche Gebäude		
Anzahl / km ²	96,4	40,5
Maximale Abdeckung	65,2%	37,5%

Ein kleinräumigerer und qualitativerer Blick auf die räumliche Verteilung der Infrastrukturen (*Abbildung 35*) zeigt jedoch kein auffällig erhöhtes Vorkommen der untersuchten Infrastrukturen im Reallaborbereich. Vielmehr wird ersichtlich, dass vor allem im nördlichen und nord-östlichen Bereich des Innenstadtgebiets eine sehr geringe Anzahl an untersuchten Infrastrukturen zu erkennen ist. Das liegt zum einen am Naherholungsgebiet *Fredenbaumpark* sowie an der ehemaligen Industriefläche *Westfalenhütte*, die durch ihre großen Flächen und geringe Anzahl an potenziellen Trägerinfrastrukturen die durchschnittlichen Werte des Innenstadtgebiets signifikant verringern. Die qualitative Untersuchung zeigt eine durchschnittliche Anzahl von potenziellen Standorten im Reallabor. Da davon auszugehen ist, dass 5G-Kleinzellenstandorte im Speziellen und Smart City Infrastrukturen im Allgemeinen vorwiegend in hoch frequentierten und eng besiedelten Räumen zum Einsatz kommen werden, können die genannten nord-östlichen Bereiche an dieser Stelle vernachlässigt werden. Die vergleichende Betrachtung der Infrastrukturverteilung am Beispiel des Dortmunder Innenstadtgebiets lässt die begründete Vermutung zu, dass sich die grundlegenden Ergebnisse im Kontext des 5G-Ausbaus aus dem Reallabor auf andere urbane Räume übertragen lassen. Es konnten keine Hinweise ausgemacht werden, dass für den Kleinzellenausbau relevante urbane Bereiche eine zu geringe Infrastrukturausstattung aufweisen.

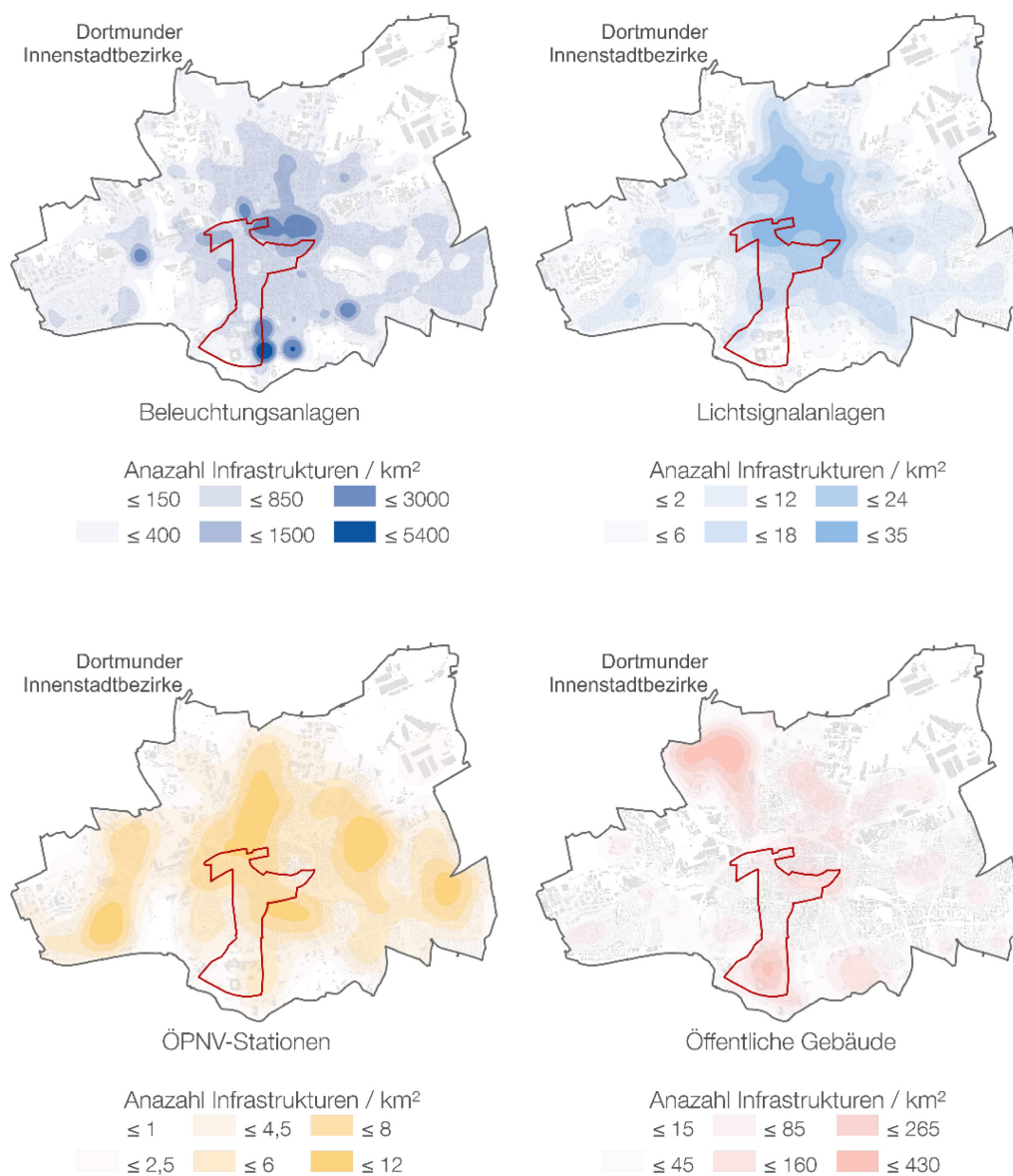


Abbildung 35 Vergleich Infrastrukturdichte der Dortmunder Innenstadtbezirke
Eigene Darstellung, Datengrundlage Stadt Dortmund

5.1.2 Interviewergebnisse

Während im vorherigen Unterkapitel das Standortpotenzial vor allem aus einer quantitativen Perspektive aufgrund der Verteilung von Trägerinfrastrukturen abgeleitet wurde, stehen in diesem Abschnitt die qualitativ gewonnenen Erkenntnisse der geführten Interviews zur baulichen, technischen und prozessualen Eignung der Trägerinfrastrukturen im Vordergrund. Die Ergebnisse werden zur besseren Transparenz und Nachvollziehbarkeit gemäß der vorgestellten Aufteilung separat für die drei Akteursgruppen (vgl. Kapitel 4.4) dargelegt.

Akteursgruppe 1: Technisch-betriebswirtschaftliche Position

Die Anzahl an potenziellen Standorten wird von den Expert*innen der ersten Akteursgruppe trägerinfrastrukturübergreifend als ausreichend eingeschätzt (z.B. G1:4). Übereinstimmend zählen alle Expert*innen Beleuchtungsanlagen zu den geeignetsten Trägerinfrastrukturen für zukünftige Kleinzellenstandorte (G1:1-5). Die Begründungen dieser Auswahl nehmen zum einen die im vorherigen Unterkapitel aufgezeigte gleichmäßige und flächendeckende Verteilung von Laternen im urbanen Raum auf (z.B. G1:2). Zum anderen werden vor allem die baulichen Eigenschaften von Laternen durch ihre Höhe, die Stromversorgung sowie ein in der Regel vorhandener Datenanschluss in unmittelbarer räumlicher Nähe zur Nachrüstung als wichtigste Argumente für Laternenstandorte angebracht (G1:2,3). Obwohl Laternen überwiegend als präferierte Standortkategorie eingeschätzt wurden, geben die Expert*innen zu bedenken, dass sich nicht per se alle Laternen im Stadtraum für die Anwendungsfälle von Kleinzellen anbieten. So kann bei Beleuchtungsanlagen im Bestand beispielsweise der nutzbare Innenraum zur Technikunterbringung nicht ausreichend sein (G1:4), die umliegende Belaubung die Signalausbreitung signifikant verschlechtern (G1:3), keine Dauerstromversorgung verfügbar sein (G1:4) oder die Genehmigungseinholung zu lange dauern (G1:5). Die baulichen und prozessualen Gegebenheiten beeinflussen, beziehungsweise verringern das ausgemachte Standortpotenzial des vorherigen Unterkapitels. Die Expert*innen gehen davon aus, dass die Festlegung auf nur einen standardisierten Standorttyp zur flächendeckenden Abdeckung aufgrund der

Potenzialverringerung nicht ausreichen wird. Vielmehr wird die Nutzung verschiedener Infrastrukturen nötig sein (G1:2,4). Aus einer technisch-betriebswirtschaftlichen Perspektive wünschen sich die interviewten Expert*innen primär replizierbare und skalierbare Lösungen, um die Kosten pro Standort möglichst gering zu halten (z.B. G-1:1,4). Zu den sich aus technischer und prozessualer sowie aufgrund ihrer Verteilung im Stadtraum anbietenden Trägerinfrastrukturen für Kleinzellenstandorte gehören neben den Beleuchtungsanlagen beispielsweise Litfaßsäulen (G1:1,4,5), Ampelanlagen (G1:4,5), Gebäudefassaden (G1:1,3,5) oder Stadtmöbel (G1:2). Jeder Standorttyp stellt dabei eigene Anforderungen an die Technikausgestaltung und den Betrieb. Diese seien jedoch in der Regel technisch lösbar (G1:1-4). Die Akteur*innen der technisch-betriebswirtschaftlichen Perspektive wünschen sich für zukünftige Trägerinfrastrukturen bereits heute die Berücksichtigung möglichst niederschwelliger Nachrüstmöglichkeiten. Standardisierte Gehäuse würden beispielsweise die skalierbare und damit kostengünstige Nachrüstung mit Kleinzellen signifikant erleichtern und beschleunigen (G1:1,4).

Neben den 5G-Kleinzellen bieten sich die dargestellten Trägerinfrastrukturen auch für die Beheimatung weiterer Smart City-Infrastrukturen an. Die Expert*innen schätzen die Bündelung von mehreren Smart City-Technologien an einem Standort aus technisch-betriebswirtschaftlicher Perspektive als sehr zielführend ein (G1:1,2,4,5). Der Ausbau von Technologien für die Smart City ist in der Regel kostengetrieben. Die Konsolidierung an einem Ort kann die Erschließungskosten, z.B. durch Teilung der entstandenen Tiefbaukosten, merklich reduzieren (G1:1,4). Zwar steigert die gemeinsame Nutzung der gleichen Trägerinfrastruktur den Absprachebedarf an dem entsprechenden Standort und damit den verursachten Aufwand. Es wird jedoch angenommen, dass die Mehrwerte insgesamt überwiegen (G1:4). Ein*e Expert*in merkt an, dass vor allem die TKUs in der Vergangenheit wenig Interesse an geteilten Standorten hatten, sich dies aber mit der Zeit ändere und insbesondere die Zusammenarbeit mit lokalen Stadtwerken eine attraktive Kooperation für Smart City Projekte darstelle (G1:1). Einige Expert*innen berichteten, dass ihre Organisation derzeit an eigenen Infrastrukturen arbeite, an denen sich weitere Smart City-Anwendungsfälle andocken können (G1:5).

Akteursgruppe 2: Kommunale Position

Analog zu der Einschätzung der ersten Akteursgruppe, sehen auch die interviewten Expert*innen der kommunalen Position Beleuchtungsanlagen mehrheitlich als am besten geeigneten Standorttyp an (G2:1, 3-8). Neben den bereits angeführten Aspekten ergänzen die kommunalen Akteure auch stadtgestalterische Argumente für die Nutzung von bestehenden Trägerinfrastrukturen. Die Nutzung bestehender Standorte würde den städtischen Raum z.B. nicht mit weiteren Infrastrukturen überladen (G2:2,5). Teile der interviewten Expert*innen können bereits auf konkrete Erfahrungen des Kleinzellenausbaus aus kommunaler Perspektive zurückgreifen (insbesondere G2:2,3). Diese berichten von enormen Aufwänden zur Realisierung von Kleinzellenstandorten. Zum einen wird die Errichtung eines Datenanschlusses, insbesondere durch die notwendigen Tiefbauarbeiten und damit die Einbindung verschiedener Ämter, als sehr zeit- und kostenintensiv angesehen (G2:3). Zum anderen wurde in der Vergangenheit die Erfahrung gemacht, dass die benötigte Technik teilweise wegen Platzmangel nicht in die vorhandenen Freiräume von Beleuchtungsanlagen integriert werden konnte³ (G2:2). Im Verkehrsraum sind Laternen zum Teil mit Sand verfüllt. Eine Nachrüstung der Datenanschlüsse ist somit sehr aufwendig (G2:6). Auch ästhetische Gründe werden als partielles Gegenargument für die Nutzung von Beleuchtungsanlagen genannt (G2:5). Neben Beleuchtungsanlagen werden insbesondere ÖPNV-Infrastrukturen (G2:3,5,6), Werbemöglichkeiten (G2:3,4,5) oder Lichtsignalanlagen (G2:3,4,5) als geeignete Trägerinfrastrukturen eingeschätzt.

Eine der interviewten Kommunen nimmt die Thematik der Nachqualifizierung bestehender Trägerinfrastrukturen seit neustem vermehrt in das kommunale Handeln mit auf. Durch eine sogenannte *Leerrohrstrategie* werden neue Infrastrukturen im urbanen Raum direkt mit Leerrohren versehen, sodass bei Bedarf die Glasfasererschließung schnell und günstig vorgenommen werden kann. Somit können nicht nur Kleinzellenstandorte, sondern auch andere Smart City-Anwendungsfälle niederschwelliger realisiert

³ Diese Erfahrungen beziehen sich allerdings auf 4G-Kleinzellen, deren Technik in der Regel mehr Raum einnehmen als 5G-Kleinzellen.

werden. Die interviewte Kommune hat vor allem den Datenanschlusspunkt als zentrales Instrument für Smart City-Infrastrukturen identifiziert. Ziel sei es zwar nicht, dass jeder der vorbereiteten Trägerinfrastrukturen auch als Kleinzellen- oder Smart City-Standort fungiere. Die Kommune strebt jedoch an, auf zukünftige Bedarfe flexibel reagieren zu können (G2:6).

Mehrheitlich wird die Bündelung technischer Infrastrukturen an ausgewählten Standorten, wie auch von der ersten Akteursgruppe, als sehr sinnvoll (G2:3,5,6,8) und teilweise als zukünftige kommunale Aufgabe (G2:3) eingeschätzt. Die stadtgestalterischen Aspekte werden von unterschiedlichen Akteuren sowohl als Pro- als auch als Gegenargument für kombinierte Smart City Standorte gesehen. Zum einen ermöglicht die Nutzung gebündelter Standorte eine effizientere Nutzung der knappen Ressource Stadtraum (G2:8). Zum anderen besteht die Befürchtung, dass eine Bündelung zu einer wahrnehmbaren Stadtraumveränderung führen könnte (G2:7).

Akteursgruppe 3: Infrastrukturelle und vernetzende Position

Die dritte Akteursgruppe der infrastrukturellen und vernetzenden Position kann auf einschlägige Erfahrung bezüglich der Integration von Kleinzellen und Smart City-Anlagen zurückgreifen. Insbesondere die kommunalen Versorgungsunternehmen (G3:1,2) und der interviewte Lösungsanbieter von Smart City-Anwendungen (G3:4) konnten in der Praxis bereits Anlagen installieren und sich somit mit der Standortfindung vertieft auseinandersetzen. Übergeordnet bieten sich nach Expertenaussage, wie auch in den vorherigen Akteursgruppen herausgearbeitet, primär bereits erschlossene Standorte für eine Kleinzellenintegration an. Im Idealfall sind am Standort bereits Kleinzellen oder andere Smart City-Infrastrukturen vorhanden, dessen bestehende Erschließung genutzt werden kann. Beleuchtungsanlagen werden auch von den Expert*innen der dritten Akteursgruppe am häufigsten als am besten geeignete Trägerinfrastruktur benannt (G3:2,4). Aktuell werden die Laternen von den Gesprächspartner*innen funktional mittels Retrofitting für die Smart City und Kleinzellennutzung nachgerüstet. Dafür werden derzeit graue Kästen an die Laternen von außen angebracht. Zukünftig sollen jedoch andere Installationsformen vorangetrieben werden (G3:2,4). Die Interviewten berichten ebenfalls von Hürden bezüglich der Laternennutzung.

So stellen die Dauerstromversorgung, die Stromabrechnung (G3:1) sowie lokalspezifische Aufbauvarianten (G3:4) hohe Hürden in der praktischen Umsetzung dar. Auch andere potenzielle Trägerinfrastrukturen wurden genannt, die sich zum Teil im eigenen Besitz der interviewten Organisationen befinden. Diese eigenen sich nach einstimmiger Meinung jedoch nur im begrenzten Maße (G3:1,2). Kabelverteilerschränke, die sich vor allem aus quantitativer Perspektive für die Versorgungsunternehmen anbieten, weisen beispielsweise Defizite aufgrund der baulichen Höhe sowie fehlender Flexibilität und finanzieller Anreize durch die vorgegebene starre Regulierung für Energieinfrastrukturen auf. Die interviewten Expert*innen des Innovationsnetzwerkes wiesen darauf hin, dass allgemeine Standortaussagen nur schwer zu treffen sind und sich die Standortwahl eng an der eigenen Strategie orientieren und interdisziplinär abgestimmt werden sollte. Der Kleinzellenausbau sei kein Selbstzweck, vielmehr müsse dieser auf akzeptierte und gesellschaftliche Mehrwerte abzielen (G3:3).

Zukünftig werde die Zahl technischer Infrastrukturen der Smart City im Stadtraum signifikant zunehmen (G3:4). Eine Bündelung der technischen Infrastrukturen für die vernetzte Stadt der Zukunft erscheint für die interviewten Expert*innen, vor allem aus ökonomischer Perspektive (G3:1), als ein sinnvolles Zielbild (G3:1,2,4). Zukünftige Planungen, vor allem im Neubau, sollten entsprechende Infrastrukturen, die als Konzentrationspunkt für technische Infrastrukturen der Smart City dienen können, präventiv in regelmäßigen Abständen im urbanen Raum vorsehen (G3:4). Es wird zudem aus Sicht der Betreiber der potenziellen Trägerinfrastrukturen angemerkt, dass die Funktionalität der primären Funktionen stets berücksichtigt und gewährleistet werden muss (G3:2). Ein*e Expert*in formuliert den Wunsch nach einer koordinierenden Stelle des Smart City Infrastrukturausbaus, die auch bezüglich der Standortwahl Vorgaben kommuniziert (G3:4).

5.1.3 Zusammenfassung Standortpotenzial

Insgesamt lässt sich für das betrachtete Reallabor eine hohe Anzahl an potenziellen Standorten für 5G-Kleinzellenanlagen, beziehungsweise Smart City-Infrastrukturen, identifizieren. Die ausgemachten Infrastrukturen ermöglichen eine flächendeckende idealisierte Mobilfunkabdeckung aller relevanten Bereiche. Neue Standorte beziehungsweise Trägerinfrastrukturen müssen nicht geschaffen werden. Zudem ermöglicht die hohe Anzahl identifizierter Potenzialstandorte eine gewisse Flexibilität und damit die Möglichkeit, die Trägerinfrastrukturen gemäß einer eigenen kommunalen Strategie auszuwählen. Am geeignetsten erscheint aus quantitativer sowie qualitativer Perspektive die primäre Mitnutzung bestehender Beleuchtungsanlagen, wobei auch bei der Nutzung der Beleuchtungsanlagen mit einer Vielzahl an individuellen Hürden der Ertüchtigung auszugehen ist. Die alleinige Nutzung eines Standorttyps wird nach Expert*inneneinschätzung jedoch nicht ausreichen, um skalierbare und übertragbare Lösungen flächendeckend anbieten zu können. Sekundär eignen sich unter anderem Fassaden öffentlicher Gebäude, Litfaßsäulen oder ÖPNV-Stationen als potenzielle Standorte für Kleinzellenanlagen. Vor allem aufgrund organisatorischer und regulatorischer Einschränkungen stellen beispielsweise Versorgungskästen oder Lichtsignalanlagen nur bedingt geeignete Standorte dar. Der nachfolgenden *Tabelle 8* sind die zusammengefassten und übertragenen Ergebnisse der Raumanalyse sowie der Expert*inneninterviews zu entnehmen. Die Infrastrukturen werden aus einer planerischen Perspektive in eine primäre, sekundäre sowie eine ergänzende Eignung eingeteilt. Während Beleuchtungsanlagen als primär geeignete Infrastrukturen eine flächenmäßige Abdeckung gewährleisten können und sollten, stellen sekundär geeignete Infrastrukturen eine skalierbare Option für Bereiche dar, die nicht über Beleuchtungsanlagen abgedeckt werden können oder sollen. Die ergänzenden Infrastrukturen eignen sich aufgrund ihrer geringen Anzahl im Stadtraum, mangelhafter baulicher und technischer Voraussetzungen sowie Hürden in der Regulation und Organisation nur als potenzielle Ergänzung für anders nicht abzudeckende Bereiche.

Tabelle 8 Vergleichende Eignung betrachteter potenzieller Trägerinfrastrukturen
Eigene Darstellung

Trägerinfrastruktur	Standortpotenzial	Bauliche / technische Eignung	Prozessuale Eignung	Kategorisierung
Beleuchtungsanlagen	↑	↗	↗	Primäre Eignung
Litfaßsäulen	→	↗	↑	Sekundäre Eignung
Kommunikationsanlagen	↘	↑	↑	Sekundäre Eignung
Fassaden öffentlicher Gebäude	↗	→	↗	Sekundäre Eignung
ÖPNV-Infrastrukturen	→	↗	↗	Sekundäre Eignung
Ladeinfrastrukturen	↘	↗	↗	Sekundäre Eignung
Versorgungskästen	↗	→	↓	Ergänzende Eignung
Lichtsignalanlagen	→	↘	↘	Ergänzende Eignung
Fahrleitungsmasten	↓	↘	→	Ergänzende Eignung
Sonstiges	↓	→	↘	Ergänzende Eignung

Technisch gesehen stellt die Nachrüstung von Trägerinfrastrukturen in den meisten Fällen kein Problem dar. Der deutlich überwiegende Teil der identifizierten Standorte ist in direkter räumlichen Nähe des öffentlichen Lebens verortet. In den überwiegenden Fällen sind die Standorte gut einseh- und wahrnehmbar. Stadtbildveränderungen sind damit eng an die Auswahl der Standorte und Trägerinfrastrukturen geknüpft und sollten in die Standortentscheidung mit aufgenommen werden.

Die in *Abbildung 35* vorgestellten Verteilungsmuster potenzieller Trägerinfrastrukturen lässt die begründete Vermutung zu, dass sich die im Reallabor gewonnen Erkenntnisse auf weite Teile der dicht bebauten Innenstadtgebiete Dortmunds übertragen lassen. Des Weiteren wird angenommen, dass sich grundlegende quantitative Erkenntnisse zu potenziellen Trägerinfrastrukturen ebenfalls auf andere Innenstadtgebiete deutscher (Groß-)Städte übertragen lassen. Die im Reallabor vorgefundenen vorhandenen Trägerinfrastrukturpotenziale zeigen in der Analyse keine signifikanten regionalspezifischen Besonderheiten, welche gegen eine übergeordnete Übertragung der Ergebnisse sprechen.

Die Bündelung der zunehmenden Anzahl neuer technischer Infrastrukturen im Stadtraum sollte nach mehrheitlicher Expert*inneneinschätzung bereits im Standortfindungsprozess berücksichtigt und zusammengedacht werden. Eine etwaige Bündelung verspricht insbesondere ökonomische Mehrwerte für die unterschiedlichen Akteure. Allerdings kann die Bündelung auch zu wahrnehmbaren Stadtraumveränderungen führen.

5.2 Städtebauliche Integrationsprinzipien

Im Rahmen dieses Unterkapitels werden die empirischen Ergebnisse der teilstandardisierten Akzeptanzbefragung (vgl. Kapitel 4.2) sowie der explorativen und leitfadengestützten Experteninterviews (vgl. Kapitel 4.4) vorgestellt. Aus diesen Ergebnissen werden die Auswirkungen unterschiedlicher städtebaulicher Integrationsansätze auf die gesellschaftliche Akzeptanz abgeleitet.

5.2.1 Ergebnisse der Akzeptanzanalyse

Die empirischen Ergebnisse der Akzeptanzanalyse zeigen die Präferenzen der Befragten Bürgerinnen und Bürger bezüglich unterschiedlicher Integrations- und Gestaltungsszenarien für 5G-Sendeinfrastrukturen. Sie geben ferner Hinweise darauf, welche Faktoren bezüglich der Formulierung konkreter Ausbaustrategien aus gesellschaftlicher Sicht besondere Berücksichtigung erfahren sollten. Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung werden in eine *Gegenüberstellung* und eine *Einzelbetrachtung* unterschieden (vgl. Kapitel 4.2). Die *Gegenüberstellung* präsentiert die Präferenzen der Befragten im Vergleich zu den übrigen Szenarien. Die *Einzelbetrachtung* erläutert die konkreten Meinungen zu jeweils einem der vier Konzepte bevor den Befragten die anderen Szenarien präsentiert wurden. Obwohl die Ergebnisse der *Einzelbetrachtung* chronologisch vor denen der *Gegenüberstellung* angefallen sind, werden diese aufgrund der angestellten Bezüge zur *Gegenüberstellung* ans Ende des Unterkapitels gestellt.

Einführend kann festgehalten werden, dass der Mobilfunkstandard 5G eine hohe Bekanntheit innerhalb der gezogenen Stichprobe genießt. Knapp 95% der Befragten gaben an, in der Vergangenheit bereits von 5G gehört zu haben. Dabei ist dieser Wert auch hinsichtlich der Merkmale Geschlecht, Einkommen oder Alter relativ konstant und bewegt sich zwischen 92-98%. Die überwiegende Zahl der Befragten verbindet mit 5G eine bessere beziehungsweise schnellere Kommunikationstechnologie. Die dafür benötigten zusätzlichen Sendeinfrastrukturen werden dahingegen mehrheitlich negativ aufgenommen. Während besonders Bedenken bezüglich strahleninduzierter gesundheitlicher Auswirkungen im Vordergrund der Anmerkungen zu den neuen Infrastrukturen stehen, kann

ebenfalls eine signifikante Anzahl an Bedenken bezüglich der Auswirkungen auf das Stadtbild identifiziert werden. Darüber hinaus wurden weitere Aspekte wie z.B. Energieverbrauch, Datensicherheit oder erwartete Kosten der neuen Infrastrukturausstattung kritisch gesehen. Der *Abbildung 36* sind exemplarisch ausgewählte Kommentare der Befragten zu dem Bedarf neuer Sendeinfrakturen zu entnehmen. Diese zeigen beispielhaft positive Erwartungen sowie Bedenken bezüglich gesundheitlicher und ästhetischer Auswirkungen der neuen Sendeanlagen.

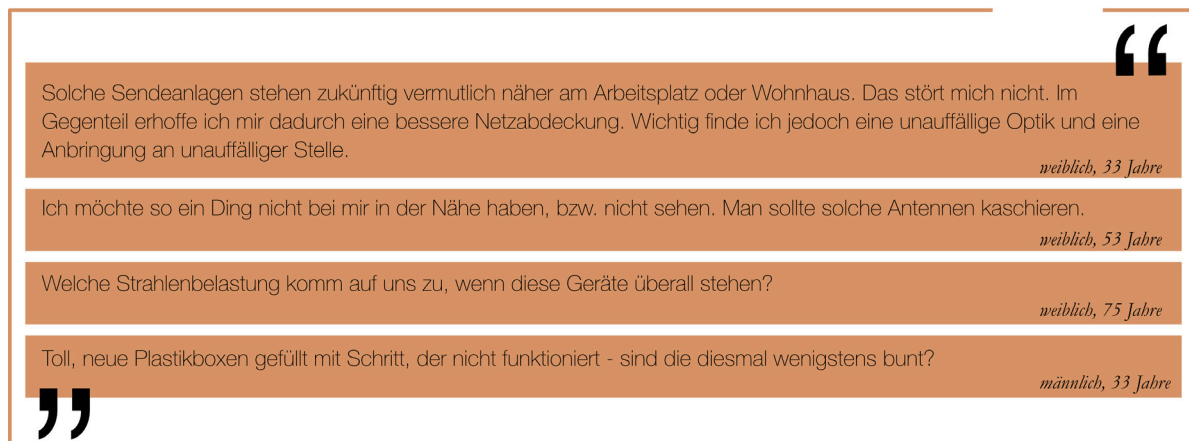


Abbildung 36 Exemplarische Antworten auf die Frage: Welche spontanen Gedanken gehen Ihnen nach dieser Beschreibung (neuer Sendeanlagen) durch den Kopf?
Eigene Darstellung

5.2.1.1 Gegenüberstellung

Im folgenden Unterkapitel wird zunächst dargelegt, welche der untersuchten Szenarien der städtebaulichen Kleinzellenintegration (vgl. Kapitel 4.2) seitens der Befragten am häufigsten präferiert werden. Daran anschließend wird erörtert, inwiefern Unterschiede in der Akzeptanz von wahrnehmbaren Sendeanlagen zwischen verschiedenen Stadtraumtypen bestehen. Abschließend werden die ausgemachten Gründe vorgestellt, welche den wahrnehmbaren Infrastrukturausbau für die Befragten rechtfertigen würde.

Gesellschaftliche Präferenzen der Integrationsszenarien

Im Vergleich der vier abgefragten städtebaulichen Integrations- und Gestaltungsansätze (*Abbildung 37*) zeigt sich, dass knapp 46 % der Befragten die *maskierte Gestaltung* (45,6 %) als präferierten Ansatz angeben. An zweiter Stelle folgt das Konzept der *Nutzungserweiterung* (34,3 %). Die *funktionale*

Gestaltung (11,1 %) sowie eine *Gestaltung mit Lokalbezug* (9,0 %) wurden am seltensten präferiert. Die Befragten sprechen sich demnach mehrheitlich entweder für den Erhalt des Stadtbilds oder eine Veränderung des Stadtbilds zur Aufwertung des öffentlichen Raums durch neue Infrastrukturen aus. Die offen sichtbare Installation in Folge einer funktionalen sowie die regionalreferenzierende Gestaltung werden mehrheitlich nicht präferiert. Es kann jedoch auch ausgemacht werden, dass die Mehrheit der befragten Personen eine mobilfunkinduzierte Stadtraumveränderung, in welcher Form auch immer, präferiert.

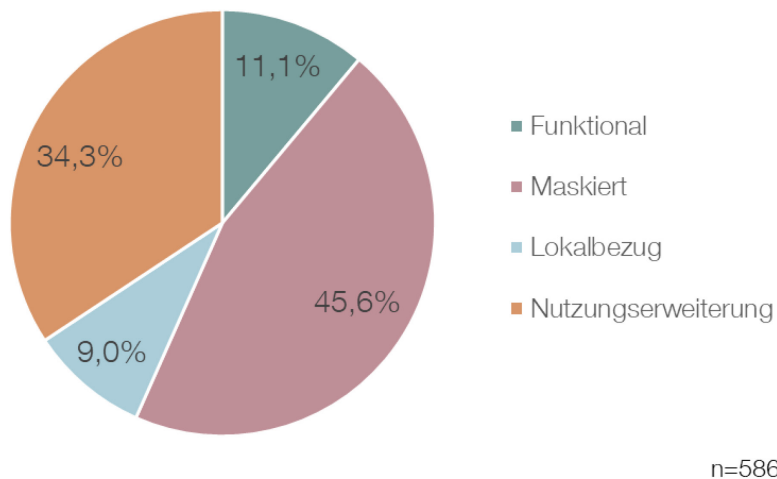


Abbildung 37 Präferenz der gezeigten Szenarien
Frage: Welches dieser Konzepte gefällt Ihnen am besten?
Eigene Darstellung

Statistische Tests weisen einen signifikanten Unterschied⁴ der Integrationspräferenzen in Abhängigkeit vom Geschlecht⁵ nach. *Abbildung 38* verdeutlicht dabei, dass weibliche Probandinnen tendenziell seltener eine funktionale und maskierte Gestaltung bevorzugen, sondern sich vermehrt für eine Installation aussprechen, welche den öffentlichen Raum gestalterisch und mit neuen Funktionen aufwertet oder neue Regionalbezüge herstellt. Bei männlichen Probanden kann eine gegenteilige Tendenz ausgemacht werden. Die grundlegenden Präferenzen bleiben geschlechterübergleichend gleich.

⁴ Signifikanzniveau: $\alpha=5\%$

⁵ Die Geschlechtskategorie „divers“ wurde aufgrund geringer Rückmeldungen im Rahmen der statistischen Test nicht berücksichtigt.

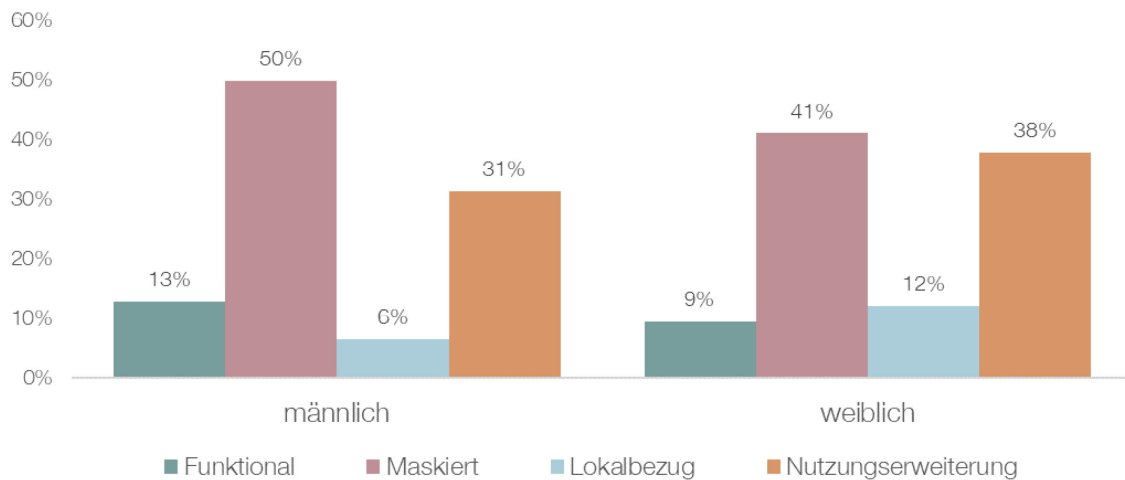


Abbildung 38 Präferenzen der Integrationsart nach Geschlecht
 Frage: Welches dieser Konzepte gefällt Ihnen am besten?
 Eigene Darstellung

Eine allgemeine Abhängigkeit der Präferenzwahl von dem Alter oder dem Haushaltsnettoeinkommen konnte statistisch nicht nachgewiesen werden⁶. Bezüglich des Alters zeigt sich jedoch eine Tendenz, dass jüngere Befragte vermehrt die Schaffung neuer Mehrwerte im Stadtraum durch die neue IKT-Infrastruktur bevorzugen und maskierte sowie funktional integrierte Sendeanlagen seltener präferieren⁷. Übergeordnet lässt sich in den untersuchten Kategorien eine vergleichbare Präferenzauswahl über alle angewandten Filtermerkmale identifizieren, was als Indikator für die Güte und Übertragbarkeit der gewonnen Erkenntnisse ausgelegt wird. Der *Tabelle 9* zu entnehmende Vergleich der verschiedenen Filtermerkmale bezüglich der angegebenen Präferenz zeigt die vergleichbaren Verteilungsmuster der gegebenen Antworten.

⁶ Signifikanzniveau: $\alpha=5\%$

⁷ Signifikanzniveau: $\alpha=10\%$, Vergleich der Altersgruppen 16-29 und 50-99 Jahre

Tabelle 9 Übersicht der Präferenzen nach Gestaltungsansatz und Merkmalen
Eigene Darstellung

Merkmal	Funktional	Maskiert	Lokalbezug	Nutzungserweiterung
Geschlecht				
männlich	13%	50%	6%	31%
weiblich	9%	41%	12%	38%
Alter				
16-29 Jahre	6%	43%	8%	43%
30-49 Jahre	14%	44%	10%	32%
50-99 Jahre	12%	48%	9%	31%
Haushaltsnettoeinkommen				
<1500 €	13%	42%	9%	36%
1500-3500 €	5%	48%	10%	37%
>3500 €	14%	45%	7%	34%
<i>Gesamt</i>	<i>11%</i>	<i>46%</i>	<i>9%</i>	<i>34%</i>

Akzeptanz wahrnehmbarer Stadtraumveränderungen nach Stadtraumtypen

Gefragt nach den Gebieten in Aachen, in denen sich die Befragten wahrnehmbare Sendeinfrastrukturen, vorstellen, beziehungsweise nicht vorstellen können, lassen sich klare Favoriten erkennen. Besonders die urbanen Räume, die mit Innovationen (Universitätscampi) in Verbindung gebracht werden können, Veranstaltungsorte, Gewerbegebiete oder Flächen des Gemeinbedarfs (z.B. Verwaltungs- oder Krankenhausareale) stellen für die Befragten Orte dar, an welchen sie sichtbare und stadtraumverändernde Infrastrukturen eher akzeptieren. In Wohngebieten oder der historischen Altstadt sind sichtbare Sendeanlagen hingegen nur selten für die Befragten denkbar. Die untersuchte Ablehnung zeigt erwartungsgemäß ein gegenteiliges Bild. Allerdings können deutlich geringere Werte der Ablehnungen gegenüber denen der Zustimmung ausgemacht werden. So können sich ca. 30% der Befragten sichtbare Infrastrukturen auf allen der genannten Flächen vorstellen, lediglich 7% der Befragten gaben an, alle vorgeschlagenen Raumkategorien abzulehnen (*Abbildung 39*).

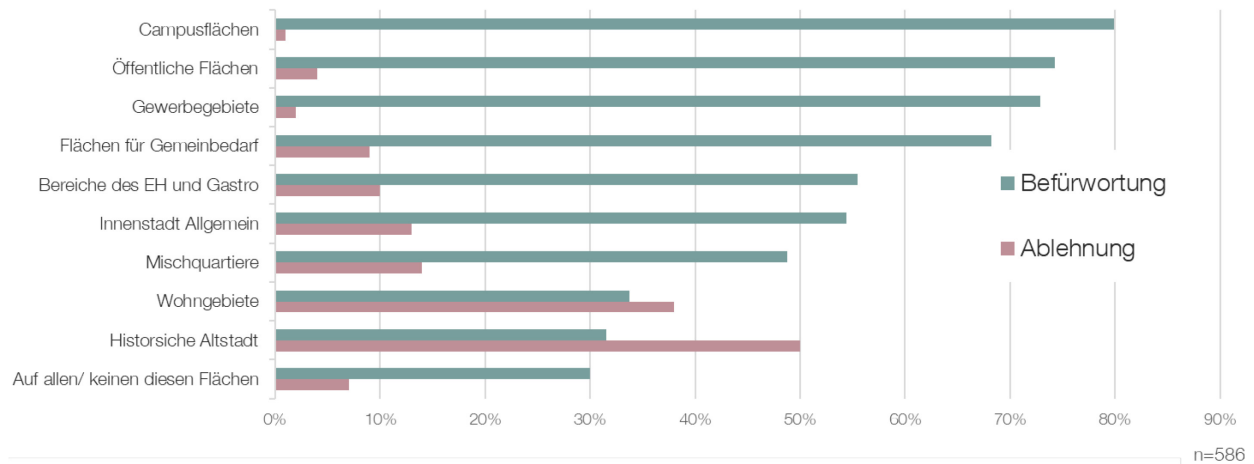


Abbildung 39 Vorstellbarkeit sichtbarer Sendeinfrastrukturen nach Stadtraumtypen
In welchen Bereichen können Sie sich sichtbare Sendeinfrastrukturen (nicht) vorstellen?
Eigene Darstellung

Ein Blick auf die Vorstellbarkeit sichtbarer Sendeanlagen unterteilt nach dem Alter zeigt, dass ältere Befragte sich insgesamt seltener sichtbare Sendeanlagen an den vorgeschlagenen Orten, ausgenommen in Gewerbegebieten, vorstellen können. Diese Ergebnisse unterstützen die bereits dargestellten Auswertungen des Szenariovergleichs, dass ältere Befragte tendenziell öfter maskierte Integrationen bevorzugen. Eine umfangreiche Darstellung der Zustimmungswerte der verschiedenen Raumkategorien nach den Merkmalen Alter, Geschlecht und Haushaltseinkommen ist dem *Anhang X* zu entnehmen.

Rechtfertigung für den Ausbau von Sendeanlagen

Abschließend zur vergleichenden Betrachtung der Akzeptanzanalyse werden die Gründe dargelegt, welche für die Befragten einen Ausbau der Sendeinfrastruktur und damit eine potenzielle Auswirkung auf das Stadtbild rechtfertigen (*Abbildung 40*). Dabei liegt der Fokus dieser Frage in Abgrenzung zu den vorherigen auf den Anwendungsfällen, die durch innovative Kommunikationsinfrastrukturen möglich oder verbessert werden. Für 82% der Befragten kann der Infrastrukturausbau durch (neue) Dienste im Bereich der Versorgung (Energie, Gesundheit) und Bevölkerungsschutz gerechtfertigt werden. Auch der Ausbau einer schnelleren Internetversorgung rechtfertigt für viele der Befragten den Ausbau. Bemerkenswerterweise befürworten mehr Befragte den Infrastrukturausbau für die Bereitstellung von schnellem Internet an Hot-Spots wie z.B. Bahnhöfen (75%) als für die tägliche Nutzung (65%). Zwei Drittel der Befragten gaben an, für eine

zukünftige Verkehrssteuerung, z.B. autonomes Fahren (66%), neue Sendeinfrastrukturen zu akzeptieren. Neue Angebote der Freizeitgestaltung, z.B. Augmented Reality Erlebnisse, rechtfertigen lediglich für 26% der Befragten neue Sendeinfrastrukturen. Nur 3% der Befragten gab an, dass keine der vorgeschlagenen Anwendungsfälle für die eigene Person den Ausbau von Sendeinfrastrukturen rechtfertigt.

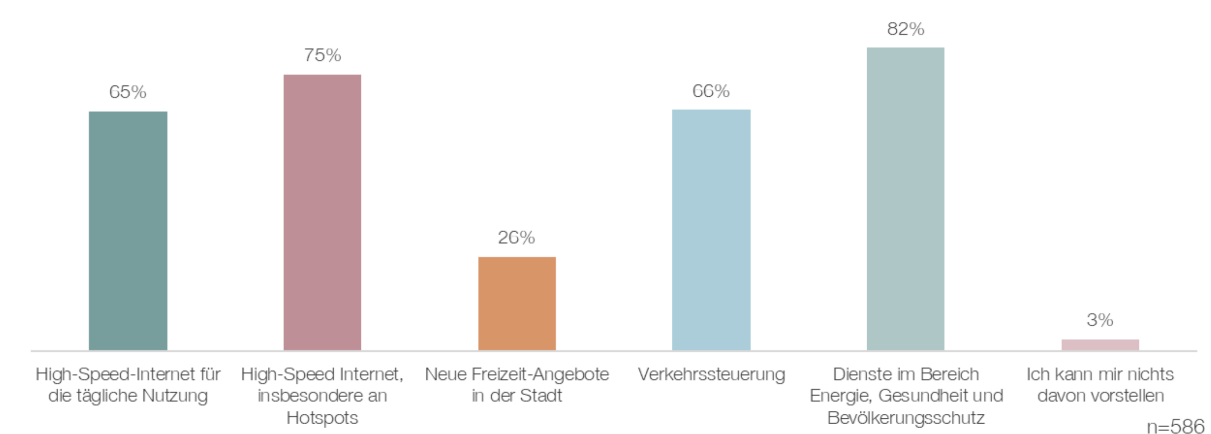


Abbildung 40 Rechtfertigung Ausbau Sendeanlagen
Frage: Welche würden einen Ausbau der Sendeanlagen rechtfertigen?
Eigene Darstellung

Es kann im Rahmen der Befragung daher festgehalten werden, dass der mit Abstand überwiegende Teil der Befragten den Ausbau von Sendeanlagen für gerechtfertigt hält, sofern für sie relevante Anwendungsfälle geschaffen werden. Für die städtebauliche Integration der Sendeanlagen stellt dies eine wichtige Erkenntnis dar, indem die Anwendungsfälle und deren Erfahrbarkeit im Stadtraum mitgedacht und kommuniziert werden können, um die gesellschaftliche Akzeptanz zu erhöhen. Bezüglich der unterschiedlichen Merkmalskategorien lässt sich, wie bei den vorherigen Fragen, ein vergleichbares Antwortverhalten innerhalb der einzelnen soziodemographischen Kategorien identifizieren und als Gütekriterium der Daten interpretieren. Allerdings weisen einzelne Merkmalsausprägungen teilweise abweichende Präferenzen auf. So rechtfertigen für jüngere Befragte schnellere Internetverbindungen deutlich häufiger den Ausbau neuer Infrastrukturen, wohingegen Ältere diese Gründe seltener akzeptieren. Auch gaben jüngere Befragte deutlich seltener an, sich keine Gründe für den Infrastrukturausbau vorstellen zu können (0,75%, 16-29 Jährige). Ein Überblick über die detaillierten Werte aller betrachteten Kategorien ist dem *Anhang XI* zur entnehmen.

5.2.1.2 Einzelbetrachtungen

Bei einer genaueren Betrachtung der Ergebnisse des monadischen Testaufbaus, vor allem der frei formulierten szenariobezogenen Antwortmöglichkeiten und Anmerkungen der Teilnehmenden, können Rückschlüsse auf die Beweggründe des im vorherigen Subkapitels beschriebenen Antwortverhaltens gezogen werden. Diese Rückschlüsse gilt es bei einer potenziellen akzeptanzförderlichen Kleinzellenintegration zu berücksichtigen. Der monadische Testaufbau ermöglicht es, detaillierte Rückmeldungen zu den einzelnen Konzepten, unabhängig der eigenen Präferenz, zu erhalten. So wurde zuerst die ausführliche Meinung zu dem individuell zugewiesenen Szenario abgefragt, bevor aus allen Optionen die eigene Präferenz gewählt wurde. Es kann festgehalten werden, dass rund 25% der Befragten sich bezüglich der Präferenz für jenes Szenario entschieden, welches ihnen im monadischen Teil der Umfrage zugelost wurde. Es muss daher nicht davon ausgegangen werden, dass die Teilnehmenden vermehrt das Szenario als Präferenz auswählten, welches ihnen im ersten Teil zugelost wurde und mit welchem sie sich bereits vertiefter auseinandergesetzt haben. Ein Blick in die Antworten des monadischen Teils der Befragung, in welchem die Befragten jeweils einem der vier Konzepte zugeordnet wurden, zeigt Gemeinsamkeiten und Unterschiede gegenüber der vergleichenden Perspektive aus dem vorherigen Unterkapitel. Das Unterkapitel teilt sich gemäß der vier betrachteten und im vorherigen Kapitel gegenübergestellten Szenarien der *funktionalen Gestaltung*, der *maskierten Gestaltung*, der *Gestaltung mit Lokalbezug* sowie der *Nutzungserweiterung* auf.

Funktionale Gestaltung

Die funktionale Gestaltung wurde, wie oben dargelegt, lediglich von ca. 11 % der Befragten präferiert. Gefragt nach der Begründung der eigenen Auswahl, gaben die Befürwortenden der funktionalen Integration vielfältige Antworten. Häufig sehen die Befragten in der funktionalen Integration eine schnelle Möglichkeit, den 5G-Ausbau in einem vertretbaren Kostenrahmen zeitnah voranzubringen. Viele gaben darüber hinaus an, sich nicht an der Optik neuer Sendeanlagen zu stören oder sich schnell an diese gewöhnen zu können. In diesem Zusammenhang wurde mehrfach erwähnt, dass eine nicht sichtbare Integration abgelehnt wird. Teilweise wurde dies damit begründet, sichtbare Infrastrukturen aktiv meiden zu können. Versteckte Infrastrukturen

würden vielmehr ein Überwachungsgefühl befördern. Nach Ansicht der Befürwortenden der funktionalen Integration sollte die Aufwertung des Stadtraums nicht primär mit dem Roll-out von Kleinzellenanlagen zusammengedacht werden. Beide Aspekte ließen sich auch gut unabhängig voneinander realisieren. Die nachfolgende exemplarische Begründung eines Teilnehmenden für die Wahl des ersten Szenarios verdeutlicht dies noch einmal:

„Die 5G-Kommunikationsanlagen sollen eine technische Funktion erfüllen. Der Standort und die Ausführung sollen sich an den technischen Anforderungen orientieren. Die wünschenswerte gestalterische Aufwertung des Stadtbilds ist davon unabhängig.“

Die Befragten, die im monadischen Teil der Umfrage dem ersten Szenario zugelost wurden, bewerten dieses in erster Linie hinsichtlich einer (möglicherweise) schnellen Ausbringung neuer Sendeinfrastrukturen, die Nutzung bestehender Infrastrukturen sowie einer vermuteten günstigen Installation positiv. Auch werden die Eingriffe in den Stadtraum überwiegend als geringfügig und vertretbar angesehen. Vereinzelt werden die negativ wahrgenommenen Auswirkungen auf das Stadtbild kommuniziert. Als wichtiger Kritikpunkt bezüglich des ersten Szenarios wird die übergeordnete Thematik der Strahlenbelastung angeführt.

Die Möglichkeit Kommentare in das gezeigte Szenariobild sowie der textlichen Ergänzung einzubringen wurde im Rahmen des ersten Konzepts 369 mal genutzt. Die Befragten haben dafür virtuelle Vierecke im graphischen sowie im textlichen Teil gezogen, diese als positiv (grün) oder negativ (rot) gekennzeichnet und ihre Anmerkungen dazu hinterlassen. Wie der *Abbildung 41* zu entnehmen, kann ein recht ausgeglichenes Verhältnis von positiven und negativen Kommentaren ausgemacht werden. 53% der abgegebenen Kommentare wurde nutzerseitig als positiv eingeteilt. Es ist der *Abbildung* auch zu entnehmen, dass besonders in den Bereichen der neuen Infrastrukturen sich die positiven sowie negativen Kommentare häufen. Der abschließende textliche Teil, der *Reason Why*, welcher die Nutzung

bestehender Infrastrukturen benennt, wird seitens der Befragten als überwiegend positiv wahrgenommen. Inhaltlich orientieren sich die Kommentare eng an den bereits dargestellten Argumentationen und befassen sich z.B. mit der Zunahme an Infrastrukturen, dem (fehlenden) Bedarf schnellerer Digitalisierung in Deutschland, der Gestaltung der Sendeanlagen oder der Zunahme der Strahlenbelastung und Überwachungsmöglichkeiten.

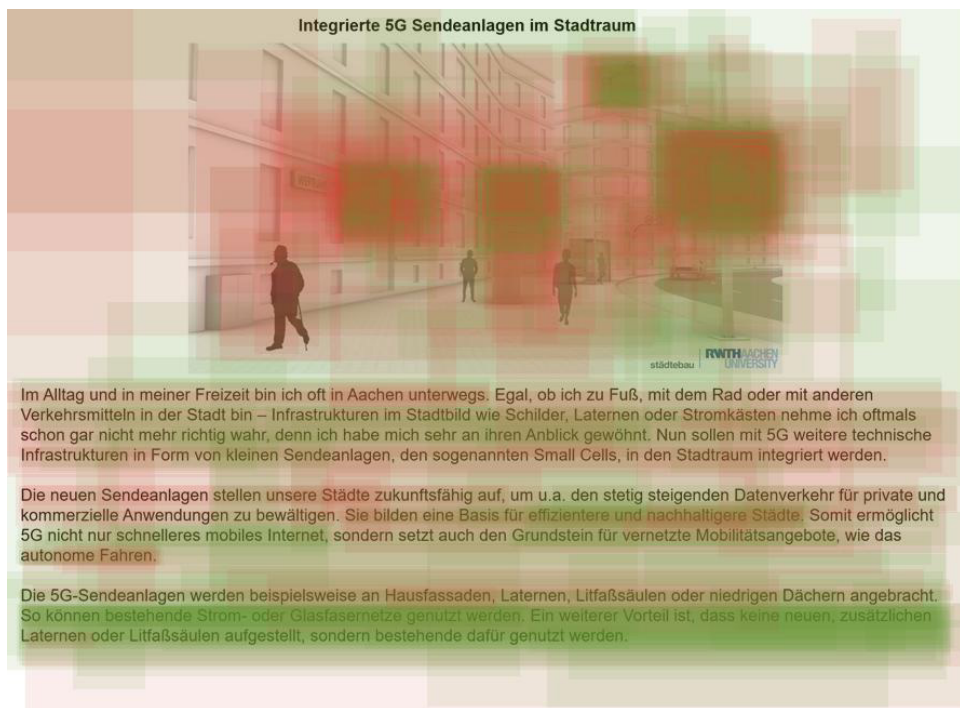


Abbildung 41 Bewertung der funktionalen Gestaltung
Screenshot aus dem OecherPanel

Maskierte Gestaltung

Auf die maskierte Gestaltung entfallen knapp 46 % und damit die meisten aller getätigten Präferenzwahlen. Begründet wird dies von der deutlichen Mehrheit durch die Bewahrung des Stadtbildes. Für viele Befragte ist der Stadtraum aktuell bereits zu stark mit Objekten bespielt. Die maskierte Integration bietet die Möglichkeit nicht noch mehr Inventar in die Städte zu bringen und trotzdem neue Funktionen durch 5G zu ermöglichen. Analog zum ersten Szenario wird auch von den Befürwortenden des zweiten Szenarios vermehrt erwähnt, dass eine Aufwertung des Stadtraums, wie im vierten Szenario mit der Ausbringung von Kleinzellen vorgeschlagen, durchaus erwünscht ist. Dies muss aber nicht zwangsläufig mit dem Kleinzellenausbau kombiniert werden. Die folgende Begründung für die

Präferenz des zweiten Szenarios zeigt exemplarisch Beweggründe der Teilnehmenden:

"Geringste Beeinträchtigung des Stadtbildes. Auch wenn ich sie oft nutze, möchte ich nicht immer an die massive Digitalisierung unserer Welt erinnert werden; das geschieht schon häufig genug."

Die von den Befürworter*innen genannten Vorteile des zweiten Szenarios werden auch von dem Part der Befragten geteilt, die dem Konzept zuvor im monadischen Teil zugeordnet wurden. Diese Befragten gaben ebenfalls zum überwiegenden Teil an, besonders den Erhalt des Stadtbilds an dem Konzept der maskierten Integration zu begrüßen. Auch die Nutzung bestehender Infrastrukturen und damit die Reduktion neuer Bauvorhaben wurde positiv aufgenommen. Vereinzelt wurde jedoch die versteckte Integration von den zugewiesenen Teilnehmenden kritisiert. Versteckte Infrastrukturen würden die Skepsis bei gewissen Bevölkerungsgruppen nur noch weiter erhöhen. Neben den allgemeinen Bedenken bezüglich der Gesundheit wurden zum Teil auch die Kleinteiligkeit der Infrastrukturen sowie mögliche Kosten kritisiert.

Die graphische Übersicht über die positiven und negativen Kommentare (*Abbildung 42*) zeigt, verglichen mit der Darstellung der Ergebnisse des ersten Szenarios, eine deutlich positivere Einstellung der Befragten zu dem Thema. Knapp 68% der insgesamt 354 abgegebenen Kommentare wurden als positiv kategorisiert. Negative Kommentare sind im graphischen Teil hauptsächlich im Bereich der Sendeanlagen zu finden. Inhaltlich orientieren sich die meisten Kommentare eng an den bereits genannten Argumentationslinien. Es fällt jedoch vermehrt auf, dass die Kommentare häufiger als die direkten Antwortmöglichkeiten dazu genutzt wurden, um allgemeine Kritik an der Digitalisierung oder der Stadtentwicklungspolitik zu äußern.

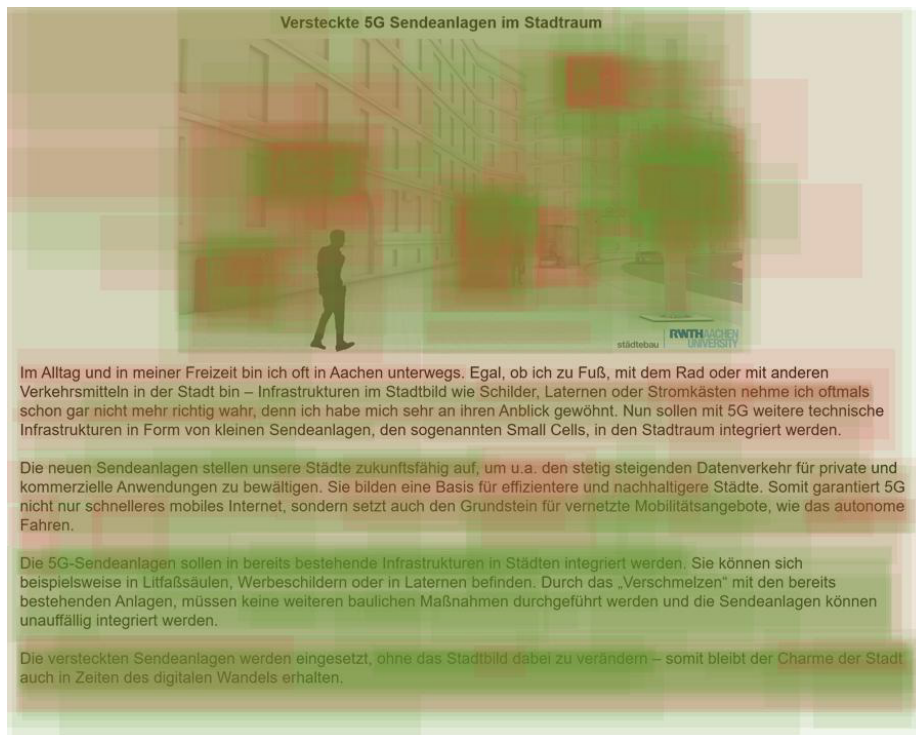


Abbildung 42 Bewertung der maskierten Gestaltung
Screenshot aus dem OecherPanel

Gestaltung mit Lokalbezug

Das Integrationsszenario *Gestaltung mit Lokalbezug* stellte im allgemeinen Vergleich mit lediglich 9 % die am seltensten ausgewählte Möglichkeit dar. Die Befürworter*innen sehen in der regionalbezogenen Integration überwiegend einen geeigneten Ansatz, um das Stadtbild aufzuwerten, die Individualität der Stadt zu stärken und gleichzeitig neue technische Funktionalitäten zu schaffen. Die neuen Infrastrukturen werden als wahrnehmbar und gleichzeitig nicht störend beschrieben. Die Sichtbarkeit der neuen Infrastrukturen wird allerdings teilweise positiv bewertet, um etwaige Orte aufgrund der Strahlenbelastung zu vermeiden. Vereinzelt wird die infrastrukturelle Verbindung von Historie und Innovation beziehungsweise Kultur und Funktion als spannender Ansatz für Aachen gewertet. Die nachfolgende Begründung einer Teilnehmenden verdeutlicht diese Position noch einmal:

„Weil dadurch der Kern der Stadt (Historie und Kultur) mit Innovation verknüpft wird.“

Die Rückmeldungen der Befragten des monadischen Testaufbaus honorieren den Ansatz, Infrastrukturausbau und Stadtbildaufwertung zusammenzudenken. Dabei ist ein großer Teil der Antworten bezüglich der regionalspezifischen Integration positiv formuliert, welche keine direkten Hinweise darauf geben, dass dieser Ansatz im Rahmen der Präferenzwahl am seltensten gewählt wurde. Vermehrt wurde angesprochen, dass es verschiedene Ansätze gebe, die Aufwertung des Stadtbilds und den Infrastrukturausbau zu kombinieren. Die Beschaffenheit einer Aufwertung des Stadtbilds sei dabei eine sehr individuelle Entscheidung, welche sich nur schwer verallgemeinern lasse. Kritische Auffassungen stellen vor allem die angenommenen höheren Kosten und Ressourcenaufwände, die gewählte Art der Aufwertung des Stadtbilds oder die Sichtbarkeit von Infrastrukturen in den Vordergrund. Auch im dritten Szenario wird allgemeine Kritik bezüglich Strahlenbelastung und voranschreitende Digitalisierung geübt.

Insgesamt wurden 383 Anmerkungen der erstellten Grafik und des Textes durch die Befragten aufgenommen. Knapp 55 % der Rückmeldungen wurde als positiv gekennzeichnet. Das ausgeglichene Verhältnis spiegelt sich graphisch in *Abbildung 43* wider. Bezüglich der vorgeschlagenen und regionalspezifisch angepassten Sendeanlagen kann ein sehr heterogenes Bild ausgemacht werden. Während Teile der Befragten die Integration für gelungen halten, verweisen die Befragten ebenfalls darauf, dass Stadtverträglichkeit subjektiv sei und/oder dass die schematisch angedeutete Integrationsart nicht ihren Vorstellungen entspreche. Ebenfalls kann ein heterogenes Bild bezüglich der Wahrnehmbarkeit innerhalb der Kommentare ausgemacht werden. So wird der im dritten Szenario vorgeschlagene Integrationsansatz sowohl als unauffällig, als auch als sehr wahrnehmbar aufgenommen. Auch unter den Kommentaren bezüglich der Integration mit regionalem Bezug finden sich, analog zu den anderen Szenarien, kritische Anmerkungen bezüglich der Strahlenbelastung oder der Schaffung neuer Überwachungsmöglichkeiten.

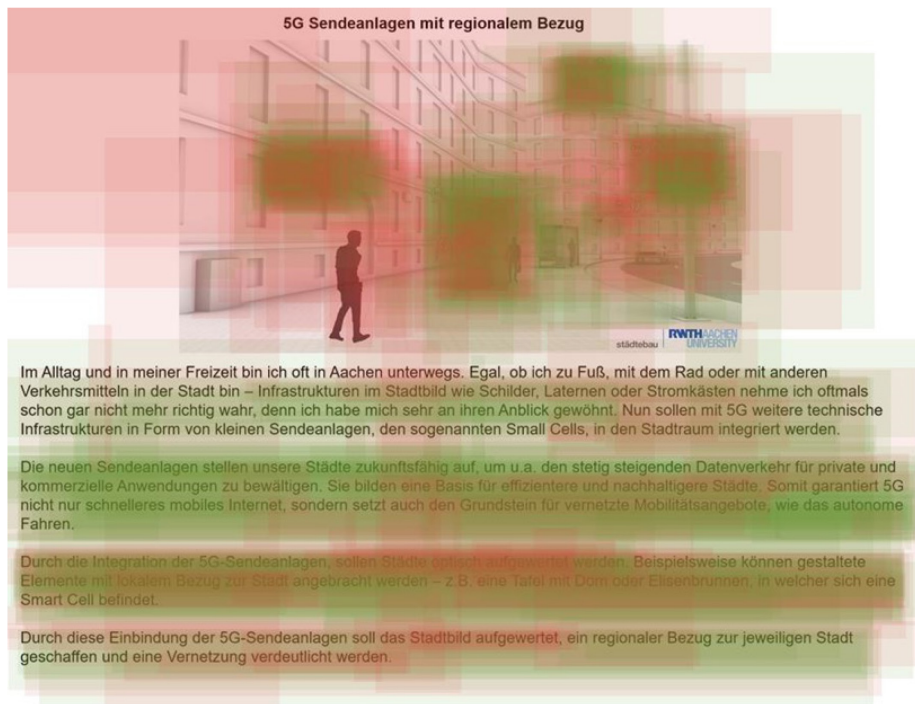


Abbildung 43 Bewertung der Gestaltung mit Lokalbezug
Screenshot aus dem OecherPanel

Nutzungserweiterung

Mit knapp 34 % entfallen auf das vierte Szenario der Nutzungserweiterung die zweitmeisten Präferenzwahlen. Als Begründung wird von vielen Befragten die Schaffung zusätzlicher Mehrwerte für den öffentlichen Raum angeführt. Vor allem aktuell fehlende Sitzgelegenheiten werden vermehrt kritisiert. Die Schaffung neuer Infrastrukturen mit dem Aufbau zusätzlicher Stadtmöblierung zu verbinden, scheint eine große Anzahl an Personen von dem vierten Szenario zu überzeugen. Der Stadtraum als Begegnungsort besitzt für Viele eine hohe Bedeutung, den es zu stärken gilt. Des Weiteren wird die Unauffälligkeit der Installationen, ähnlich wie bei Szenario 2, positiv hervorgehoben. Ebenfalls wird von Teilen der Befragten eine Steigerung der gesellschaftlichen Akzeptanz mit dieser mehrwertstiftenden Integration in Verbindung gebracht. Die nachfolgende Begründung eines Teilnehmers zeigt exemplarisch die Perspektive der Befürwortenden:

„Tolle Idee. Man nutzt den Raum für entspannte Orte zum Verweilen und integriert gleichzeitig den Empfang, da wir alle immerzu Mobilfunk benutzen, ist das eine mega Idee.“

Die Rückmeldungen derer, die dem Konzept im monadischen Teil zugeordnet wurden, teilen im Allgemeinen die Einschätzung derer, die das Konzept in einer späteren Frage präferierten. Allerdings wird vermehrt angemerkt, dass die unscheinbaren Anlagen in Kombination mit der Angst vor einer hohen Strahlenbelastung abgelehnt werden. Auch die erwarteten höheren Kosten werden vereinzelt bemängelt.

Die Auswertung der 370 Kommentare zur graphischen und textlichen Umsetzung des vierten Konzepts zeigen ein einigermaßen ausgeglichenes Bild, dargestellt in *Abbildung 44*. Knapp 57 % der abgegebenen Kommentare sind positiv geprägt. Wie bei Szenario 1 und 3 kann die größte Kontroverse bezüglich der einzelnen Infrastrukturen im bildlichen Teil festgemacht werden. Die individuelle textliche Begründung des Konzepts wurde positiv wahrgenommen. Wie auch bei den vorherigen Szenarien entsprechen viele Kommentare der bereits dargestellten Einstellung bezüglich des Konzepts. Wie aber auch bei den anderen Szenarien zu beobachten, nutzten die Kommentierenden diese Möglichkeit um allgemeine Anmerkung bezüglich der Stadtgestaltung in Aachen, der Zunahme der Strahlenbelastung oder andere und für das hier untersuchte Thema nicht relevante Informationen mitzuteilen.

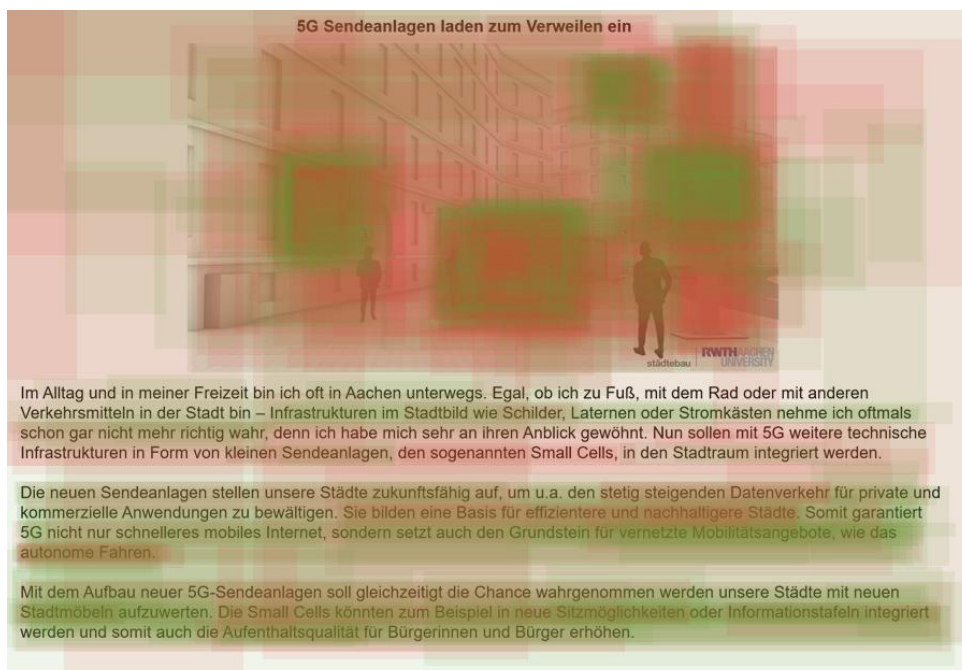


Abbildung 44 Bewertung der Nutzungserweiterung
Screenshot aus dem OecherPanel

Abschließend ist *Tabelle 10* der Überblick über die untersuchten Szenarien nach prozentualer Präferenz sowie der Anzahl und Kategorisierung der Kommentare zu entnehmen.

Tabelle 10 Zusammenfassung Szenariovergleich
Eigene Darstellung

Szenario	Präferenzen	Anzahl Kommentare	Positiv	Negativ
Funktionale Integration	11%	369	53%	47%
Maskierte Integration	46%	354	68%	32%
Gestaltung mit Lokalbezug	9%	383	55%	45%
Nutzungserweiterung	34%	370	57%	43%
<i>Gesamt</i>	<i>100%</i>	<i>1476</i>	<i>233%</i>	<i>167%</i>

5.2.2 Interviewergebnisse

Die Ergebnisse der Experteninterviews werden analog zu den vorherigen Interviewergebnissen zur besseren Transparenz und Nachvollziehbarkeit gemäß der im Rahmen der Methodenvorstellung präsentierten Aufteilung (vgl. Kapitel 4.4) separat für die drei Akteursgruppen dargelegt. Ein Schwerpunkt der Ergebnisse liegt dabei auf der Erörterung der Bedeutung der städtebaulichen Kleinzellenintegration im Kontext gesellschaftlicher Akzeptanz. Außerdem werden vermutete akzeptanzförderliche Gestaltungsansätze und bisher gemachte Erfahrungen seitens der Expert*innen aufgezeigt.

Akteursgruppe 1: Technisch-betriebswirtschaftliche Position

Die Akzeptanz von 5G wird als ein Schlüsselthema des Mobilfunkausbaus bewertet (G1:4). Die physisch-städtebauliche Integration wird in diesem Zusammenhang jedoch lediglich als ein Teil einer möglichen Lösung zur Steigerung der Akzeptanz gesehen, welcher eng mit anderen Ansätzen verzahnt werden muss (G1:1-5). „Die“ richtige städtebauliche Integration gibt es nicht, vielmehr muss sich der Gestaltungsansatz an der individuellen Strategie vor Ort orientieren. Als einer der wichtigsten Aspekte wird mehrheitlich betont, dass der individuelle Nutzen der neuen Infrastrukturen deutlich gemacht werden muss (G1:1,3,4). Bürgerinnen und Bürger müssen für sich erkennen, dass die neuen Infrastrukturen ihr Leben verbessern oder vereinfachen. Das kann sowohl durch digitale Anwendungen auf dem eigenen Telefon, Hinweise in der Stadt oder vielfältige andere Arten geschehen. Die physische Gestaltung und die städtebauliche Integration neuer Mehrwerte können einen dieser Ansätze darstellen beziehungsweise unterstützen. Neben der Darstellung der individuellen Mehrwerte wurde eine breitangelegte und transparente Informationskampagne als zentraler und gegebenenfalls mit der städtebaulichen Integration zu kombinierender Ansatz zur Steigerung der gesellschaftlichen Akzeptanz identifiziert (G1:1-2).

Aus technischer Perspektive sehen die interviewten Akteure keine Hindernisse darin, die Kleinzellenanlagen gemäß der unterschiedlichen und dargestellten gestalterischen Szenarien in den Stadtraum zu integrieren (G1:1-G4). Dabei sehen sich vor allem die Hersteller von Mobilfunktechnik im Rahmen der Experteninterviews nicht in der Rolle, den Integrations- und

Gestaltungsansatz von Sendeanlagen durch die hergestellten Modelle selbst zu beeinflussen. Vielmehr verstehen sie sich als neutrale Partner, welche sich nach der Nachfrage der Telekommunikationsunternehmen richten (G1:2). Die TKUs könnten zwar grundsätzlich die konkrete Umsetzung verschiedener Integrationsansätze übernehmen. Diese sehen jedoch die Kommunen als initialen Bedarfsträger, besonders bei der Bündelung verschiedener Smart City-Ansätze, und zentralen Akteur in Bezug auf die Wahl des Integrationsansatzes (G1:4).

Angesprochen auf die eigene Sicht der Expert*innen bezüglich stadtverträglicher Mobilfunkinfrastruktur der fünften Generation konnte identifiziert werden, dass eine funktionale Installation von Sendeanlagen, insbesondere für Kleinzellenanlagen von den Expert*innen abgelehnt wird (G1:1,2). Bezüglich der präferierten Integrationsoption herrscht jedoch keine Einigkeit. Eine unauffällige, maskierte Gestaltung wurde von Teilen der befragten Akteure als gesellschaftlich akzeptiertester Ansatz eingeschätzt. Eine Maskierung erzeugt keine unnötige Aufmerksamkeit für die neuen Infrastrukturen, schürt auf diese Weise keine Ängste und wird dementsprechend nicht zur Zielscheibe von Vandalismus (G1:1,2,5). Gleichzeitig bleibt das Stadtbild möglichst unverändert. Nach einigen Expert*innen dieser Gruppe wird ein funktionierendes Kommunikationsnetz als Selbstverständlichkeit wahrgenommen, deren Infrastrukturen aus Bürgerperspektive nicht relevant sind (G1:5). Auf der anderen Seite stehen Expert*innen der Möglichkeit offen gegenüber, Sendeanlagen präsenter und bewusster in das Stadtbild zu integrieren (G1:3,4). Besonders die Verbindung mit der Schaffung neuer Mehrwerte erscheint ein vielversprechender Gestaltungsansatz (G1:1). Die Frage der Art und Weise der Integration von zukünftigen Kommunikationsinfrastrukturen wird weiter an Relevanz gewinnen. Die Expert*innen bestätigen, dass die starke Zunahme an Sendeinfrastrukturen neue Wege in der urbanen Integration erfordert. Es wurde dargelegt, dass aufgrund der Masse an neuen Infrastrukturen eine komplett versteckte Integration nicht möglich sei (G1:4). Das Stadtbild werde sich daher in jedem Falle verändern.

Akteursgruppe 2: Kommunale Position

Bezüglich des zu wählenden Integrationsansatzes für eine höchstmögliche gesellschaftliche Akzeptanz konnte auch bei der zweiten Expert*innengruppe keine einheitliche Meinung identifiziert werden (G2:1-8). Die interviewten Kommunen berichten bereits über eine teilweise sehr aktive Gegnerschaft des Mobilfunk-, insbesondere des 5G-Ausbaus, im eigenen Stadtgebiet (z.B. G2:3). Mehrheitlich wird davon ausgegangen, dass die Wahl städtebaulicher Integrationsansätze nicht als Instrument verstanden werden sollte bestehende 5G-Skeptiker*innen zu überzeugen. Die Meinungen seien diesbezüglich zu sehr verinnerlicht und nicht durch die Gestaltung im öffentlichen Raum zu verändern (G2:5,8). Trotz ihrer oft geringen Größe darf die Gruppe der Skeptiker*innen nicht verharmlost und ihr Potenzial zur Behinderung des Infrastrukturausbaus nicht unterschätzt werden (G2:5). In diesem Zusammenhang wurde auch darauf hingewiesen, dass eine wahrnehmbare Gestaltung von Sendeanlagen im Stadtraum von unterschiedlichen Gruppen divergierend aufgenommen wird. Während einige Bevölkerungsgruppen mehr technische Infrastrukturen im Stadtbild unterstützen würden, so können andere Bevölkerungsteile zu Vandalismus angeregt werden (G2:6).

Bezüglich der Identifikation akzeptanzfördernder Integrationsansätze wird von einigen Expert*innen die Meinung vertreten, dass sichtbare Sendeanlagen innerhalb der Bevölkerung Unbehagen auslösen und sich so negativ auf die erwartete Akzeptanz auswirken (z.B. G2:2,3). Durch eigens durchgeführte Studien, welche die Unbedenklichkeit der Kleinzellenanlagen belegen und kommunizieren, sind einige Akteure der Meinung, dass sich die Bürgerschaft bei sichtbaren Sendeanlagen unnötigerweise negative Gedanken bezüglich der Strahlung macht. Sie schlagen daher die Verwendung maskierter Ansätze vor, um dieser Diskussion frühzeitig aus dem Weg zu gehen (G2:2). Gegensätzlich führen Expert*innen an, dass maskierte Anlagen das Misstrauen innerhalb der Bevölkerung erhöhen können (z.B. G2:5,7). Langfristig werde die neue Technikinfrastruktur seitens der lokalen Bevölkerung akzeptiert und als Selbstverständlichkeit verstanden werden (G2:6). Vor diesem Hintergrund sollte perspektivisch eine ästhetische und stadtverträgliche Integration der Aufklärung über die Gestaltung vorgezogen werden. Eine stadtverträgliche Gestaltung müsse dabei nicht zwangsläufig

maskiert umgesetzt werden. Auch eine wertige, sich fließend in das Stadtbild einfügende, nicht zu „laute“ Integration bildet einen denkbaren Ansatz (G2:1,5,8). Partiiell wurde auch der Ansatz befürwortet, die Anlagen möglichst funktional zu belassen und nur partiell in Farbe und Form an den umliegenden Stadtraum zu integrieren. Nach Meinung dieser Kommunalvertreter*innen sei der Stadtraum bereits so überladen, dass zusätzliche Elemente nicht auffallen (G2:7).

Um die gesellschaftliche Akzeptanz von 5G-Anlagen zu steigern, sehen die kommunalen Akteure, analog zu den Ergebnissen der ersten Akteursgruppe, das Erklären und Erlebbarmachen von Anwendungsbeispielen sowie die Begleitung durch eine ausführliche Informationskampagne als zentrale Hebel (G2:1-6,8). Sie werden hier jedoch konkreter als die vorherigen Expert*innengruppe und schlagen die Umsetzung und Sichtbarmachung von Leuchtturmprojekten vor, welche das Bewusstsein für neue Anwendungsfälle steigern und für neue Technologien sensibilisieren sollen (G2:4,5,6). Die Darstellung kommunaler Anwendungsfälle, insbesondere für 5G-Ansätze, stellt sich in der Praxis bisher jedoch als herausfordernd dar, da diese für Privatpersonen noch wenig greifbar sind (G2:6). Bezüglich der Umsetzung von Leuchtturmprojekten wird zu bedenken gegeben, dass die explizite Sichtbarmachung von Sendeinfrastrukturen deren Vulnerabilität erhöht, indem sie leichter als Ziel für Vandalismus identifiziert werden können. Mit anderen im Stadtraum wahrnehmbaren Infrastrukturen der Smart City wurden bereits Vandalismuserfahrungen gemacht. Sensoren wurden in der Vergangenheit mutwillig zerstört. Vergleichbare Sensoren, die nicht als solche zu erkennen waren, wurden nicht Ziel dieser Angriffe (G2:6). Neben einzelnen Leuchtturmprojekten sei auch die Definition von abgrenzbaren Gebieten als „Experimentierfelder“ denkbar, in welcher unterschiedliche Integrationsansätze erprobt und anschließend verglichen werden (G2:8). Nach Einschätzung eines kommunalen Vertreters seien die Bereitschaft und die finanziellen Mittel seitens der TKUs vorhanden, um sich an möglichen experimentellen Vorhaben signifikant zu beteiligen (G2:1).

Akteursgruppe 3: infrastrukturelle und vernetzende Position

Die befragten Expert*innen der dritten Gruppe sehen sowohl Vor- als auch Nachteile der unterschiedlichen Gestaltungsansätze von 5G-Kleinzellenanlagen (G3:1-4). Wahrnehmbare und als solche erkennbare Sendefunkturen können Bedenken und Symptome innerhalb der Bevölkerung hinsichtlich der 5G-Technik wecken, beziehungsweise bestehende Ablehnung verstärken (G3:2). Gleichzeitig sei es gerade in Zeiten wachsender Vorbehalte gegenüber Technologien ratsam, transparent zu handeln und nicht den Eindruck zu erwecken, neue Technik „heimlich“ in den Stadtraum zu bringen (G3:3). Überwiegend maskierte Ansätze sowie Ergänzungen durch andere Gestaltungsansätze werden auf gesamtstädtischer Ebene als zielführend identifiziert (G3:1,2). Das präferierte Vorgehen der Integration von 5G-Anlagen kann nach Expert*innenmeinung grundsätzlich auf andere Smart City-Infrastrukturen übertragen werden. Hierbei sei jedoch zu beachten, dass davon ausgegangen werden kann, dass anderen Smart City Technologien tendenziell eine höhere Akzeptanz entgegengebracht wird als 5G (G3:4).

Die Vor- beziehungsweise Nachteile wahrnehmbarer und maskierter Smart City-Anlagen leiten sie auch aus den gemachten praktischen Erfahrungen der Expert*innen mit den verschiedenen Integrationsansätzen ab. Sowohl wahrnehmbare als auch maskierte Integrationsansätze verschiedener Smart City-Anlagen wurden in der Vergangenheit Ziel von Vandalismus beziehungsweise Beschwerden seitens der Bürgerschaft (G3:1,4). Die Expert*innen der Gruppe 3 gehen mehrheitlich davon aus, dass die städtebauliche Integration von Sendeanlagen die gesellschaftliche Akzeptanz positiv sowie negativ beeinflussen kann. Wie die vorherigen Akteursgruppen, nehmen auch die hier befragten Expert*innen an, dass die städtebauliche Integration lediglich ein kleiner Baustein im Akzeptanzprozess ist (G3:1,3,4). Vielmehr seien die konkreten Anwendungsfälle sowie die Kommunikationsstrategie entscheidend für die gesellschaftliche Akzeptanz (G3:1-4). Die physische Infrastruktur stellt für die Gesellschaft lediglich eine Materialisierung ihrer Vorbehalte und Ängste gegenüber einer Technologie dar. Die städtebauliche Integration muss sich daher eng an der Gesamtstrategie der Kommune im Bereich der Digitalisierung sowie dem konkreten intendierten Anwendungsfall vor Ort orientieren. Akzeptanz darf

in diesem Zusammenhang nicht rein aus der wirtschaftlichen Perspektive gedacht, sondern muss mit dem gesellschaftlichen Nutzen vereint werden (G3:3). Zur Steigerung der Akzeptanz schlagen die Expert*innen, wie die vorherigen Gruppen, eine umfangreiche Kommunikation sowie die Implementierung sinnhafter Anwendungsfälle vor (G3:1-4). Kommunen sollten die Fragen der Akzeptanz und Gestaltung in ihren Ausschreibungen für neue Smart City-Infrastrukturen berücksichtigen (G3:4). Auch die transparente Bereitstellung der generierten Daten und Services sowie deren Verknüpfung mit den physischen Infrastrukturen könnte zu einer gesteigerten Akzeptanz führen (G3:4). In dieser Gruppe wurde ebenfalls darauf hingewiesen, dass sich ideologisierte Skeptiker*innen durch eine gelungene städtebauliche Integration vermutlich nicht von der Ungefährlichkeit der 5G-Infrastrukturen überzeugen lassen (G3:4).

5.2.3 Zusammenfassung städtebauliche Integrationsprinzipien

Die Ergebnisse der Akzeptanzanalyse und Expert*innenbefragungen zeigen, dass keines der untersuchten Integrations- und Gestaltungsszenarios als allgemeingültiger und flächendeckend übertragbarer Ansatz präferiert wird. Die Sichtbarkeit der „nackten“ technischen Infrastrukturen wird von der überwiegenden Mehrheit, sowohl der Expert*innen als auch der Bürgerschaft, weitestgehend abgelehnt. Sowohl die befragte Bürgerschaft als auch die Expert*innen sind sich darüber hinaus uneinig, inwiefern sich das Stadtbild, durch die neuen Sendefunkturen verändern sollte. Es kann festgehalten werden, dass die Akzeptanz von 5G für die allermeisten befragten Interviewpartner*innen einen zentralen Punkt im 5G-Roll out einnimmt. Die „richtige“ städtebauliche Integration kann hierzu ihrer Meinung nach einen begrenzten Teil zur Steigerung der Akzeptanz beitragen. Auch bei der Befragung der Bevölkerung konnte eine hohe Relevanz des 5G-Rollouts und der damit einhergehenden Auswirkungen auf das Stadtbild sowie das eigene Wohlergehen identifiziert werden. Als zentrale Aspekte der möglichen Akzeptanzsteigerung wurden Expert*innenseitig mehrheitlich Informationskampagnen und das Aufzeigen von Anwendungsfällen für die lokale Bevölkerung genannt. Die Realisierung von wahrnehmbaren, und gegebenenfalls städtebaulich integrierten, Pilotprojekten nimmt besonders in

der Einführungsphase neuer Technologien, in diesem Beispiel 5G, eine zentrale Rolle ein. Die Analyse der Akzeptanzbefragung zeigt, dass die genaue Verortung dieser neuen und eventuell raumwirksamen Pilotprojekte im urbanen Raum einen Bestandteil der Akzeptanzauswirkung einnehmen kann.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse der Akzeptanz- und Expert*innenbefragung die Aspekte des *Erhalts des Stadtbildes*, die Vermittlung von *Informationen* zur Technologie sowie die *Aufwertung des Stadtraums* aus städtebaulicher Perspektive als zentral hinsichtlich der gesellschaftlichen Akzeptanz identifizieren werden konnten. Der *Standort* neuer Kleinzellenanlagen im urbanen Gefüge kann sich stadtraumspezifisch ebenfalls auf die Akzeptanz auswirken. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die drei erstgenannten Aspekte als primäre Akzeptanzfaktoren betitelt. Der Standort wird als übergeordneter Akzeptanzfaktor bezeichnet.

5.3 Implementierungsansätze

Im Folgenden werden Ansätze, Chancen und Herausforderungen der Umsetzung städtebaulicher Integrationsmöglichkeiten von Kleinzellenanlagen aus einer vergleichenden Betrachtung konkreter Umsetzungsentwürfe zur Kleinzellenintegration (vgl. Kapitel 4.3) sowie den durchgeführten Expert*inneninterviews (vgl. Kapitel 4.4) abgeleitet. In Kapitel 5.3.1 werden dafür Entwürfe der Kleinzellenintegration hinsichtlich der im vorherigen Kapitel (vgl. 5.2.3) identifizierten Akzeptanzfaktoren bewertet und kategorisiert. Kapitel 5.3.2 zeigt vor allem die sich aus der Regulatorik und den stadtplanerischen Instrumenten ableitbaren Chancen und Herausforderungen der Umsetzung möglicher Integrationsszenarien.

5.3.1 Ergebnisse der vergleichenden Betrachtung

Bei der vergleichenden Betrachtung der Entwürfe und deren Einordnung nach den Akzeptanzfaktoren mit Hilfe von Bewertungsnetzdiagrammen können mehrere thematische Schwerpunkte hinsichtlich der Integrations- und Gestaltungsart ausgemacht werden. So kann festgehalten werden, dass der Großteil der angefertigten und untersuchten Entwürfe vor allem auf die Schaffung neuer Mehrwerte aus städtebaulicher Sicht abzielt, um den öffentlichen Raum funktional sowie gestalterisch aufzuwerten. Der weit überwiegende Teil der erstellten Entwürfe adressiert mehr als einen der drei identifizierten primären Akzeptanzfaktoren aus städtebaulicher Perspektive. Entwürfe, welche als „Reinformen“ den identifizierten Aspekten *Erhalts des Stadtbildes*, *Information zur Technologie* und *Aufwertung* zugeordnet werden können, werden lediglich vereinzelt ausgemacht.

Die identifizierten Schwerpunkte der Entwurfsausgestaltung lassen sich in die vier im Folgenden dargestellten Kategorien unterteilen, welche sich deutlich voneinander abgrenzen lassen und im weiteren Verlauf näher beschrieben werden. Der nachfolgenden *Abbildung 45* ist die grafische Darstellung der Bewertung sowie der abgeleiteten Kategorisierung im Überblick zu entnehmen. Jeweils eine der teiltransparenten und überlagerten farbigen Flächen stellt eine Bewertung dar.

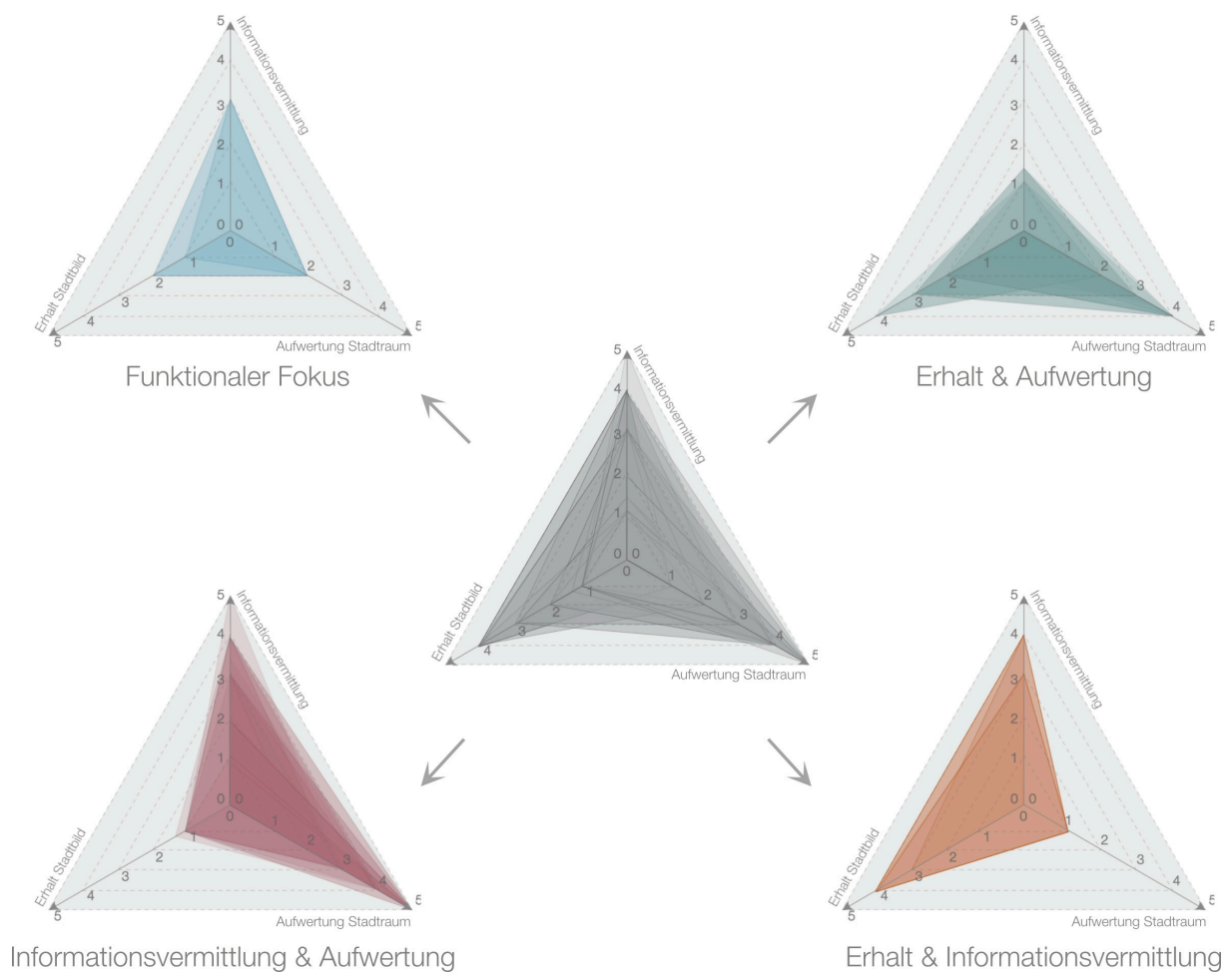


Abbildung 45 Übersicht Kategorisierung Entwürfe
Eigene Darstellung

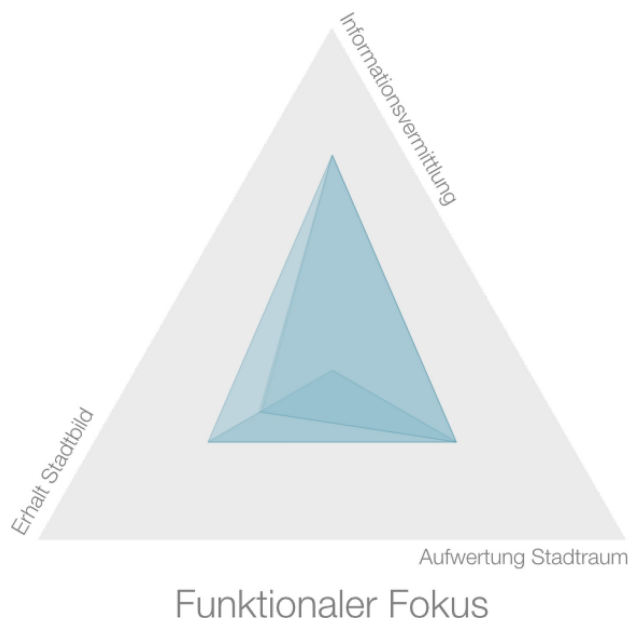


Abbildung 46 Einordnung Entwürfe funktionaler Fokus
Eigene Darstellung

Funktionaler Fokus

Der ersten ausgemachten Kategorie können fünf Entwürfe zugeordnet werden. Diese zeichnen sich primär durch einen funktionalen Fokus bezüglich ihrer Gestaltung aus. Neue Infrastrukturen werden ohne signifikanten Bezug zum umliegenden Stadtraum installiert. Die Gestaltung orientiert sich an den technischen Parametern der installierten Technik. *Abbildung 46* zeigt die Bewertung der zugeordneten Entwürfe auf dem Bewertungsdreieck.

Erhalt & Aufwertung

Als zweite Gruppe wurden die Entwürfe subsummiert, welche auf die Schaffung neuer Mehrwerte unter Berücksichtigung des bestehenden Stadtbildes abzielen. Insgesamt konnten 13 Entwürfe dieser Kategorie zugeordnet werden. Die Entwürfe fügen sich überwiegend bezüglich Form, Farbe oder Material in das bestehende Stadtbild ein. Außerdem werden zu dieser Gruppe Entwürfe gezählt, die sich in oder an bestehende Trägerinfrastrukturen integrieren lassen und den Stadtraum funktional aufwerten, ohne ihn maßgeblich neu zu prägen. *Abbildung 47* zeigt die Bewertung der zugeordneten Entwürfe auf dem Bewertungsdreieck.

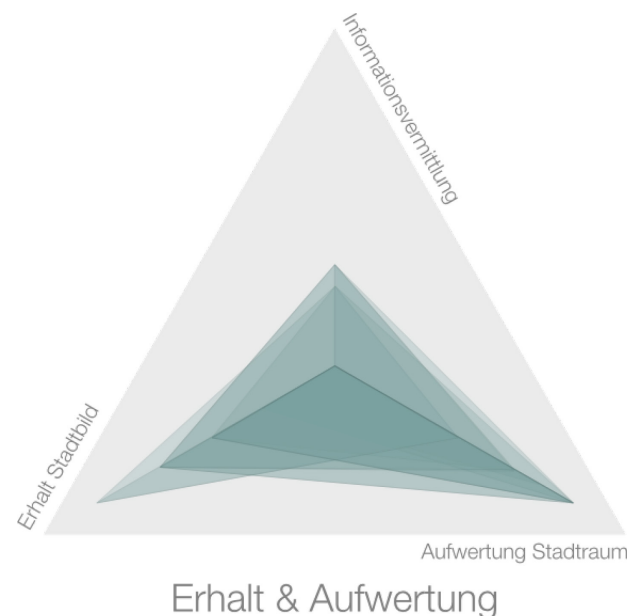


Abbildung 47 Einordnung Entwürfe Erhalt & Aufwertung
Eigene Darstellung

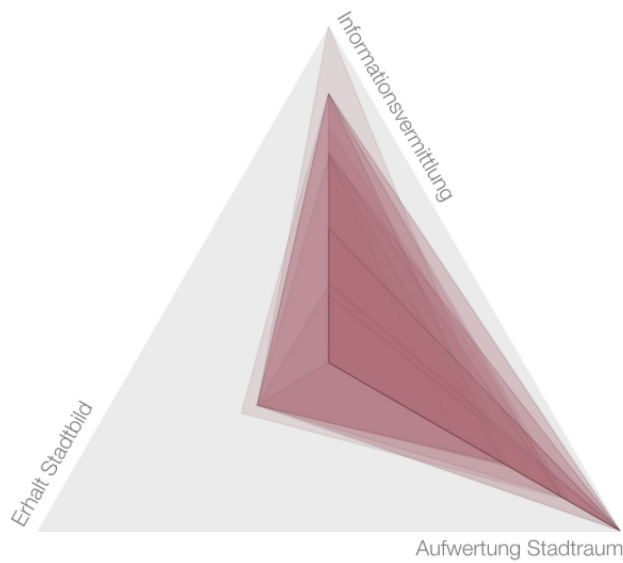
Informationsvermittlung & Aufwertung**Informationsvermittlung & Aufwertung**

Abbildung 48 Einordnung Entwürfe Informationsvermittlung
& Aufwertung
Eigene Darstellung

Der dritten Gruppe konnten mit insgesamt 24 Entwürfen die höchste Anzahl an Entwürfen zugeordnet werden. Die Entwürfe der dritten Kategorie zielen sowohl auf die Aufwertung des Stadtraums als auch auf die Aufklärung der lokalen Bevölkerung ab. Unter den Entwürfen lässt sich eine hohe Anzahl an Ansätzen finden, welche durch ein auffälliges Design neue Bezugspunkte im Stadtraum schafft und bewusst in den Vordergrund tritt. *Abbildung 48* zeigt die Bewertung der zugeordneten Entwürfe auf dem Bewertungsdreieck.

Erhalt & Informationsvermittlung

In der letzten Gruppe wurden insgesamt drei Entwürfe zusammengefasst, welche die Aspekte des Erhalts des Stadtbildes mit der Informationsvermittlung kombinieren. Die Entwürfe greifen dabei auf digitale Technologien zurück, um das Stadtbild virtuell zu erweitern, zum Beispiel mittels Augmented Reality. Die physische Gestalt des Stadtraums bleibt somit weitestgehend unverändert. *Abbildung 49* zeigt die Bewertung der zugeordneten Entwürfe auf dem Bewertungsdreieck.

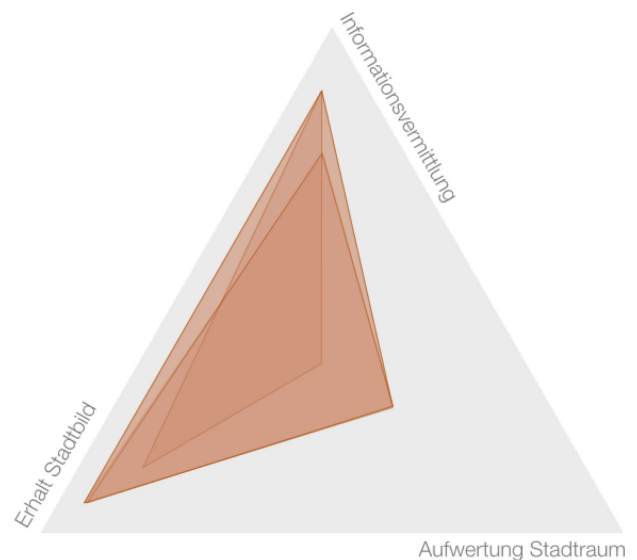
**Erhalt & Informationsvermittlung**

Abbildung 49 Einordnung Entwürfe Erhalt &
Informationsvermittlung
Eigene Darstellung

Zwei der untersuchten Entwürfe konnten keiner der hier vorgestellten vier Kategorien zugeordnet werden. Diese wurden als Archetypen des Akzeptanzfaktor zur Stadtraumaufwertung eingeordnet.

5.3.2 Interviewergebnisse

Die Ergebnisse der Expert*inneninterviews werden analog zu den vorherigen Interviewergebnissen zur besseren Transparenz und Nachvollziehbarkeit gemäß der oben vorgestellten Aufteilung (vgl. Kapitel 4.4) separat für die drei Akteursgruppen dargelegt. Im Zentrum der Ergebnisse steht die zentrale Rolle von Kommunen in der strategischen Begleitung von Umsetzungsvorhaben zum Kleinzellenausbau. Ferner zeichnet sich der gesteigerte Bedarf an kommunikativen und kooperativen Ansätzen für Kommunen ab, um perspektivisch integrierte Infrastrukturprojekte umzusetzen.

Akteursgruppe 1: Technisch-betriebswirtschaftliche Position

Um eine kommunalgesteuerte und stadtverträgliche Integration umsetzen zu können, werden seitens der Akteure der Gruppe 1 primär „weiche“ Instrumente vorgeschlagen. Eine barrierefreie Mitnutzung kommunaler Trägerinfrastrukturen (G1:4) würde beispielsweise organisatorische Aufwände reduzieren und so den Spielraum für eine stadtverträgliche Integration erhöhen. Die Reduktion bestehender Regularien wird zudem als großes Potenzial zur Beschleunigung des Kleinzellenrollout wahrgenommen (G1:3). Potenzielle Vorgaben zur Gestaltung beziehungsweise zum Integrationsansatz werden positiv gesehen, sofern die Vorgaben auf hoher politischer Ebene, z.B. der Bundesebene, getroffen werden und einen standardisierenden Charakter aufweisen (G1:1,2,4). Auf diese Weise ließen sich Skaleneffekte realisieren, welche wiederum die Kosten des Rollouts senken könnten (G1:4). Konkrete Vorgaben zur Gestaltung einzelner Anlagen wurden aus wirtschaftlicher sowie technischer Perspektive entschieden abgelehnt: Aufgrund der hohen Divergenz in den Standortanforderungen müsste eine Vielzahl an konkreten Aufbauvarianten vorgegeben werden, welche wiederum zu hohen Kosten durch fehlende Skaleneffekte führen. Ein starre Gestaltungsvorgabe berücksichtigt weder den stetigen technischen Fortschritt noch die resultierenden Auswirkungen

auf die physische Gestalt von Sendeinfrastrukturen (G1,3,5). Ein möglicher Ansatz, gewisse Gestaltungsvorgaben zu machen und gleichzeitig die Flexibilität zu erhalten, könnte ein Baukastensystem darstellen. Der Baukasten sollte primär Regeln und Grenzen formulieren, gleichzeitig jedoch Freiräume für die exakte Ausgestaltung ermöglichen. Der Rahmen muss hierbei von den Kommunen kommen, während TKUs und Hersteller die technischen Lösungen liefern und anpassen (G1:1). Neben den Kommunen, Herstellungs- und Telekommunikationsunternehmen, schreiben die Akteure aus Gruppe 1 noch anderen Akteuren, beispielsweise der Bundesnetzagentur, Energieversorgern sowie Bauunternehmen wichtige Rollen für die Umsetzung einer stadtbildverträglichen Integrationsstrategie zu (G1:1,2,4).

Akteursgruppe 2: Kommunale Position

Die kommunalen Akteure sehen eine zentrale Bedeutung der Kommunen bezüglich der Umsetzung städtebaulich integrierter technischer Infrastrukturen. Sie schreiben den Kommunen mehrheitlich eine vorwiegend kommunikative, koordinierende sowie eine präventive Rolle in der Verortung, Lenkung und Gestaltung des Ausbaus von Kleinzellenanlagen zu. Hinzu kommen regulative und organisatorische Aufgaben (G2:1,2,3,4,5,6,8). Bestehende rechtliche Instrumente außerhalb des Denkmalschutzes, wie eine Gestaltungssatzung nach §86 Abs. 1 Nr. 1 u. 2 BauO NRW, wurden seitens der Expert*innen als wenig zielführend bewertet (G2;1,2,4). Diese seien beispielsweise zu starr, um auf technische Entwicklungen reagieren zu können, decken nur Teilbereiche des Stadtgebiets ab und bedürfen einer aufwendigen städtebaulichen Begründung (G2;4,7). Bestehende Gestaltungskataloge, z.B. für Stadtmöbel, umfassen nach Expert*innenmeinung noch nicht die neuen Infrastrukturen der Smart City. In der Zukunft sei ein Gestaltungskatalog für Smart City Infrastrukturen jedoch denkbar (G2:8). Im Rahmen der Interviews wurde ersichtlich, dass auch perspektivisch nur sehr wenig Bedarf nach neuen rechtlichen Mitteln zur Einwirkung auf die materielle Gestalt der Anlagen besteht. Generell wurden beispielsweise zu weitreichende Rechte der Kommunen als zu große Eingriffe in die Marktfreiheit eingeschätzt (G2:5). Gleichzeitig wären Rechtsmittel zur Gestaltung von technischen Infrastrukturen auch

perspektivisch zu unflexibel, um auf die technischen Entwicklungen adäquat reagieren zu können (G2:2). Rechtliche Instrumente leben des Weiteren von deren aktiven Benutzung. Auch aufgrund knapper Personalressourcen in den Planungsämtern, wurde die Idee neuer formaler Instrumente abgelehnt (G2:4).

Als deutlich zielführendere Lösung, im Vergleich zu potenziellen rechtlichen Instrumenten, wurden Ansätze ausgemacht, die auf eine intensive Kommunikation und Kooperation der beteiligten Stakeholder abzielt. Insbesondere die mit den Mobilfunkunternehmen auszuhandelnden Rahmenverträge bieten bereits aktuell einen vielversprechenden Ansatz, um neben den üblichen Aspekten, wie Haftung und Nutzungsentgelte, auch die Gestaltung und städtebauliche Integration zu regeln (G2:4,5). Als Ergänzung wurden auch Mobilfunkkoordinationsstellen als probates Mittel genannt, um auf die Integration von Kleinzellenanlagen einzuwirken (G2:2). Das Land Nordrhein-Westfalen ermöglicht seit 2021 geförderte Personalstellen für Mobilfunkkoordinator*innen innerhalb der Kommunen. Die primären Aufgaben der Mobilfunkkoordinationsstellen liegt in der Koordination der Stakeholder des Mobilfunkausbaus, dem Genehmigungsmanagement, dem Monitoring des Mobilfunkausbaus sowie der Schlichtung von Konflikten auf lokaler Ebene (MWIKE) 21.12.2022). Die Expert*innen weisen jedoch darauf hin, dass eine solitäre Mobilfunkkoordinationsstelle hinsichtlich der Einwirkung auf die städtebauliche Integration wenig handlungsfähig sei. Vielmehr müssen entsprechende Anlaufstellen bei den involvierten kommunalen Fachämtern geschaffen und besetzt werden (G2:3).

Anstelle von neuen rechtlichen Instrumenten suchen die Kommunen nach Orientierung und Leitlinien im Bereich neuer technischer Infrastrukturen (G2:1,4,5). Vermehrt wurde die Bundes- beziehungsweise Landesebene in die Verantwortung genommen, um klarere Handlungsräume zu definieren und konkrete Handlungsoptionen für Kommunen zu schaffen. Aktuell drängen viele neue technische Infrastrukturen in die Städte. Zentralere politische Ebenen sollten allgemeine Integrationsansätze aufstellen und den Handlungsspielraum für Kommunen klar benennen (G2;3;4). Konkrete bundes- beziehungsweise landesweite Gestaltungsvorgaben, vergleichbar mit bestehenden Gestaltungshandbüchern für z.B. historische

Innenstadtbereiche (z.B. STADT AACHEN 2013), werden dabei mehrheitlich abgelehnt. Diese seien im Hinblick auf den schnellen technischen Wandel zu starr und berücksichtigen darüber hinaus kommunale Besonderheiten zu wenig (G2:2,5,6). Vielmehr sollen Rahmenlinien formuliert werden, die Seitens der Kommunen konkretisiert werden können. Besonders in kleinen und finanzschwachen Kommunen besteht die Gefahr, dass diese die proaktiven Themen der Infrastrukturintegration nicht angehen können. Insbesondere die Bundesländer sollten hier Möglichkeiten zur Partizipation benachteiligter Kommunen schaffen. Denkbar wäre die Einbindung von staatlichen Hochschulen als neutrale Beratungsstellen, z.B. im Themenbereich des Städtebaus (G2:6). Nicht nur von höheren staatlichen Stellen wird mehr Orientierungsleistung gewünscht, auch von den kommunalen Spitzenverbänden wird eine größere Unterstützung gefordert. Aktuell drängen die Mobilfunkunternehmen und deren Towercompanys sehr aggressiv in den Markt der Kleinzellenstandorte. Rahmenverträge existieren diesbezüglich zwar bereits zum Teil, benötigen jedoch individuelle Anpassungen durch die Kommunen. Hier fehlt in den kommunalen Rechtsämtern die Erfahrung (G2:5).

Trotz geringer Ressourcen und wahrgenommener fehlender Unterstützung höherer politischer Ebenen, sieht der Großteil der befragten Expert*innen die Kommunen in einer zentralen Position, um eine stadtverträgliche Integration von Kleinzellenanlagen voranzutreiben (G2:1,2,3,4,5,6,8). Abgeleitet aus dem Auftrag der Bürger*innen ist es an der Kommune in einem ersten Schritt zu definieren, wie neue technische Infrastrukturen „stadtverträglich“ in die Städte integriert werden sollten (G2:6). Nur Kommunen kennen die relevanten lokalen Besonderheiten und alle relevanten Akteure (G2:5). Durch die Vielzahl relevanter Trägerinfrastrukturen im eigenen Besitz und deren Management besitzen Kommunen eine gute Verhandlungsposition, um „Wildwuchs“ im Gemeindegebiet entgegenzuwirken (G2:6). Definierte Reallabore bieten darüber hinaus die Möglichkeit, Erfahrungen in dem Bereich zu sammeln und auf das Gemeindegebiet zu übertragen (G2:8). Eine aktive Rolle in der konkreten Errichtung und dem Betrieb von Smart City-Infrastrukturen wird mehrheitlich abgelehnt. Finanzielle und personelle Ressourcen sind

kommunalseitig nicht vorhanden, um in Eigenregie den Infrastrukturausbau der Smart City voranzutreiben (G2:3,4,6,8).

Mit dem Portfoliomanagement wurde ein konkreter Ansatz identifiziert, wie Kommunen perspektivisch auf Integrationsansätze für Kleinzellenanlagen einwirken können. Ein Portfoliomanagement für Mobilfunkstandorte beziehungsweise andere Smart City-Anwendungen, sammelt und kategorisiert die unterschiedlichen Standorte für technische Anlagen, die im Verfügungsbereich der Kommune existieren. Diese können so proaktiv und übersichtlich an interessierte Unternehmen kommuniziert und ggf. bereits technisch ertüchtigt werden. Durch den Wegfall der aufwendigen Standortsuche können unternehmensseitig Ressourcen eingespart werden. Dafür könnten Kriterien zur städtebaulichen Integration seitens der Kommune vorgegeben werden (G2:6).

Die Akteursgruppe 2 benennt eine Vielzahl relevanter Akteure, die es bei der Umsetzung einer städtebaulichen Integration neuer technischer Infrastruktur zu berücksichtigen gilt. Sie unterteilen die potenziellen Akteure in die privaten beziehungsweise wirtschaftlichen Akteure sowie die kommunalen Akteure. Zu Ersteren zählen sie neben den TKUs und den Betreibern der Infrastrukturen die allgemeine Bürgerschaft, Verkehrsbetriebe, Gewerbetreibende sowie deren Verbände, Hochschulen, die Immobilienwirtschaft, Ver- und Entsorgungsbetriebe sowie die Herstellungsunternehmen von Hardwarekomponenten und den Arbeitsschutz involvierter Betriebe. Innerhalb der Kommune nehmen Chief Digital Officer, sofern vorhanden, beziehungsweise Oberbürgermeister*in eine prägende Rolle ein. Diese müsse die Bedeutung und Wichtigkeit der Integration in der Kommune platzieren und die Richtung vorgeben. Daneben sind u.a. die untere Denkmalschutzbehörde, die untere Immissionsschutzbehörde, das Stadtplanungsamt, das Tiefbauamt, das Geodatenamt, das Immobilienmanagement sowie die Breitbandkoordination zu involvieren (G2:1,2,3,4,5,6,8). Die genaue Auswahl der Fachbereiche ließe sich nur individuell anhand der eigenen Strategie und Amtsaufteilung ableiten. Zu Beginn des Prozesses sollten jedoch prinzipiell erst einmal eine große Anzahl an Ämtern involviert werden. Diese Anzahl ließe sich mit der Zeit reduzieren (G2:8).

Akteursgruppe 3: infrastrukturelle und vernetzende Position

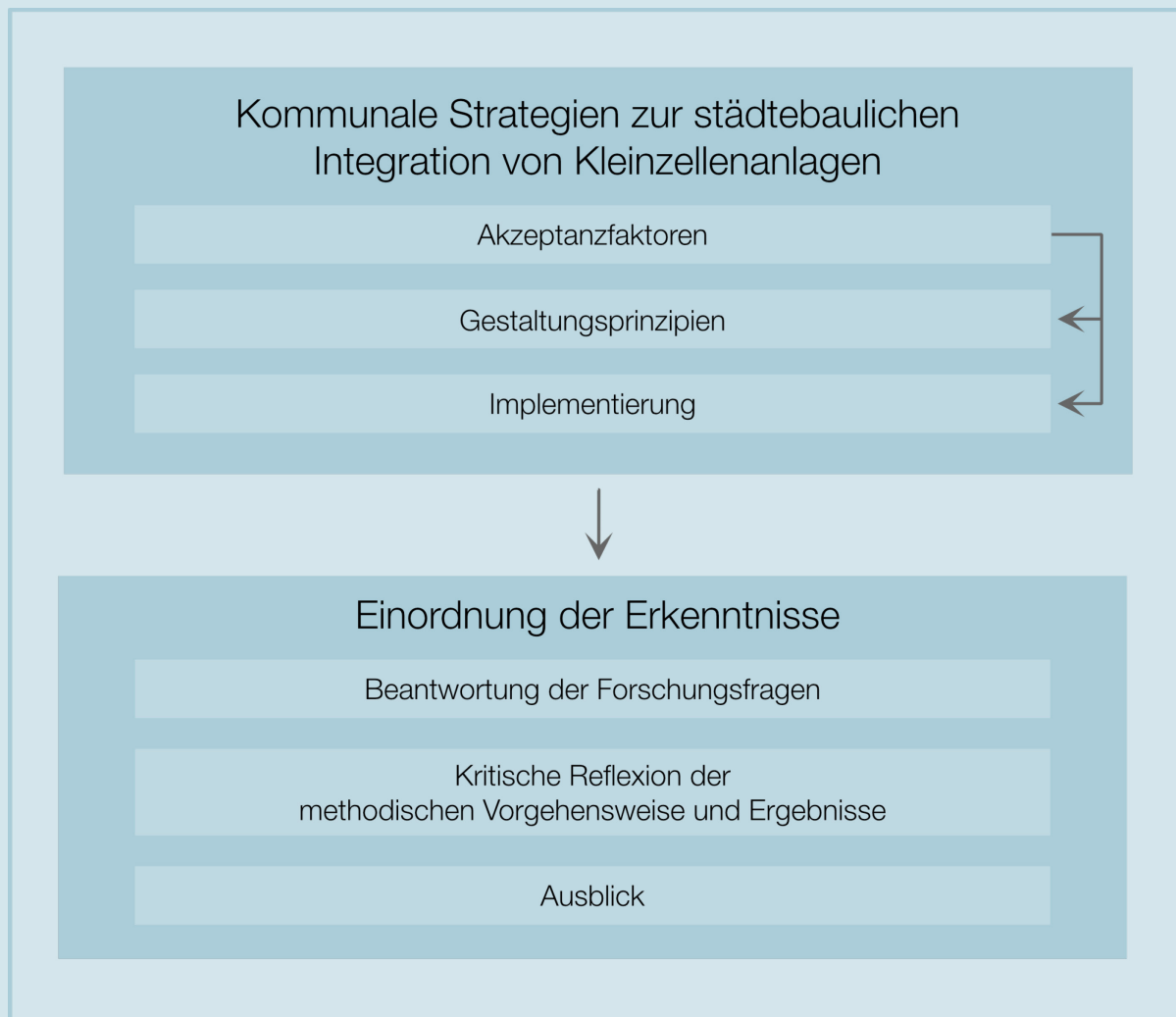
Bezüglich einer potenziellen Umsetzung stadtverträglicher Infrastrukturen zeigen sich vor allem die Unternehmen mit bestehender technischer Infrastruktur im Stadtraum der dritten Akteursgruppe noch sehr unentschlossen hinsichtlich der eigenen zukünftigen Positionierung (G3;2,4). Analog zu den kommunalen Akteuren sprechen sich auch die Unternehmen der dritten Expert*innengruppe für mehr Orientierung in Form von Integrationsleitfäden aus (G3;2,4). Gestaltungsansätze und Leitlinien zu entwickeln, sehen auch sie als Aufgaben der Kommunen (G3:2). Auf diese Weise lassen sich eigene Aufwände in der Erarbeitung von Designs reduzieren. Konkrete Vorgaben zur Gestaltung ließen sich nach ihrer Einschätzung aktuell relativ einfach umsetzen, da viele technische Infrastrukturen der Smart City bereits ähnliche Befestigungssysteme nutzen (G3:4). Die konkreten Gestaltungsvorgaben könnten in einigen Bereichen z.B. beim Aufbau von Sensorik im Rahmen der Ausschreibung kommunenseitig vorgegeben werden (G3:4). Neben potenziellen Gestaltungsvorgaben wurden auch Koordinierungsstellen, wie Mobilfunkkoordinator*innen, als denkbare Instrument zur Umsetzung stadtverträglicher Infrastrukturen, insbesondere 5G, gesehen (G3:3). Ihre eigene Rolle im stadtverträglichen Infrastruktur-Rollout sehen die befragten Unternehmen primär in aktiver Kooperation. Interne Prozesse sollen weiter optimiert werden, um Anfragen von z.B. den TKUs zielführend und mehrwertstiftend bearbeiten zu können (G3:2). Neben den TKUs, den Infrastrukturbetreiber*innen und Kommunen sehen die Expert*innen der Gruppe 3 auch die Bürgerschaft, Wirtschaft, Verbände, Bildungseinrichtungen, Netzbetreiber und Hardwarehersteller als relevante Akteure bei der Umsetzung stadtbildkompatibler Integrationsansätze von technischen Anlagen der vernetzten Stadt (G3:2,3,4).

5.3.3 Zusammenfassung Implementierungsansätze

Die empirischen Ergebnisse zu den Implementierungsansätzen zeigen, dass die konkrete Umsetzung der Kleinzellenintegration auf vielfältige Art und Weise geschehen kann. Die zuvor identifizierten Akzeptanzfaktoren können dabei mannigfaltig adressiert werden. Neben der Adressierung einzelner

Akzeptanzfaktoren als Reinformen, bieten die untersuchten Entwürfe vielfach die Möglichkeit mehrere Akzeptanzfaktoren simultan anzusprechen. Anhand der betrachteten Entwürfe konnten vier übergeordnete Kategorien von Implementierungsansätzen abgeleitet werden.

Geht es an die Umsetzung der identifizierten Ansätze städtebaulich integrierter Kleinzellenstandorte, kann den kommunalen Akteuren eine zentrale Rolle, in enger Kooperation mit einer Vielzahl weiterer Akteure, insbesondere TKUs, zugeschrieben werden. Dabei kommt der Kommune die Bedeutung zu, den strategischen Rahmen möglicher städtebaulicher Integrationsansätze zu entwickeln und durch die Schaffung von entsprechenden Rahmenbedingungen aktiv zu beschleunigen. Insbesondere durch das Potenzial der bestehenden kommunalen Infrastrukturen und deren niederschwellige Bereitstellung als Trägermedium können Kommunen auf den privatwirtschaftlich umzusetzenden 5G-Ausbau maßgeblich einwirken. Um die eigene Strategie hinsichtlich der Integration technischer Infrastrukturen der intelligenten Stadt umzusetzen, wird die Formulierung und Förderung von gestalterischen Rahmenbedingungen als am zielführendsten bewertet. Die Einwirkung auf die konkrete Ausgestaltung einzelner Standorte sowie die Verwendung rechtlich starrer Instrumente wird als wenig erfolgsversprechend angesehen.



Abschnitt D:

Erkenntnisse

6 Kommunale Strategien zur städtebaulichen Integration von Kleinzellenanlagen

Im Rahmen der vorherigen Kapitel konnte immer wieder die zentrale Rolle kommunaler Akteure im Kontext der städtebaulichen Integration von Kleinzellenanlagen ausgemacht werden. Insbesondere die Schaffung von strategischen Rahmenbedingungen zum Infrastrukturausbau, denen zukünftige Umsetzungen folgen, fällt in den Zuständigkeitsbereich von Kommunen. Für andere Technologien der Smart City lassen sich diese Erkenntnisse zum Teil übertragen.

In diesem Kapitel werden, als Synthese der theoretischen und der empirischen Betrachtungen, Hilfestellungen und ein Vorgehen für Kommunen zur Mitwirkung an der städtebaulichen Integration von Infrastrukturen abgeleitet. Die empirischen Ergebnisse zeigen, dass es aufgrund der Heterogenität der einzelnen Kommunen und deren Zielsetzungen nicht sinnvoll erscheint, und auch mehrheitlich nicht gewünscht wird, eine auf formalen Planungsinstrumenten aufgebaute übertragbare Strategie zu formulieren, welche von Kommunen umgesetzt werden. Starre Gestaltungsrichtlinien wurden mehrheitlich als wenig zielführend und aufgrund des raschen technologischen Wandels als schnell veraltet eingeschätzt. Die Kommune als ordnende Hand muss den Infrastrukturausbau intelligenter Städte vielmehr in die eigenen strategischen Überlegungen und Rahmenwerke aufnehmen und individuell ausgestalten. Dieses Kapitel möchte daher keine übertragbaren Integrationsstrategien präsentieren. Vielmehr sollen die im Folgenden vorgestellten Rahmenbedingungen als Hilfestellungen zur Ausgestaltung und Implementierung eigener städtebaulicher Integrationsstrategien verstanden werden. Auf diesen Rahmenbedingungen aufbauend, sollen Kommunen eigene Haltungen und Strategien entwickeln können, welche die eigenen Potenziale, Herausforderungen und Ziele berücksichtigen. Die hier aufgezeigten Hilfestellungen unterteilen sich in die Aspekte *Akzeptanzfaktoren*, *Gestaltungsprinzipien* sowie *Implementierungsansätze* und zielen auf eine möglichst gesellschaftlich akzeptierte Umsetzung der materiellen Dimensionen technischer Anlagen ab. Die *Akzeptanzfaktoren* erläutern die

identifizierten Hauptfaktoren, welche sich auf die antizipierte Akzeptanz der Bevölkerung auswirken. Die *Gestaltungsprinzipien* eröffnen Ansätze, die ausgemachten Akzeptanzfaktoren durch die Gestaltung der Anlagen zu adressieren. Die abschließenden *Implementierungsansätze* zeigen Wege für Kommunen auf, die ausgemachten Gestaltungsprinzipien in die Umsetzungsphase zu begleiten. Der *Abbildung 50* ist der chronologische Ablauf in der Berücksichtigung der dargestellten Aspekte zu entnehmen.

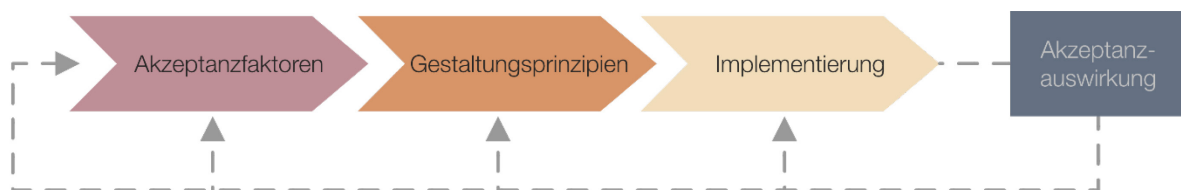


Abbildung 50 Rahmenbedingungen kommunaler Strategien zur städtebaulichen Integration von Kleinzellenanlagen
Eigene Darstellung

Die Formulierung strategischer Ansätze beziehungsweise die Entwicklung einer Haltung bezüglich der städtebaulichen Integration von Smart City Infrastrukturen ist nicht nur aufgrund des stetigen technologischen Wandels ein kontinuierlicher Prozess. Er sollte sich im Kontext der digitalen Stadt an den Prozesszyklen zur Entwicklung einer Smart City-Strategie (vgl. Kapitel 2.1.2) orientieren und ist lediglich als Baustein ebenjener zu verstehen, den es im Rahmen vielschichtiger Digitalisierungsprozesse im urbanen Raum zu berücksichtigen gilt. Die im Folgenden näher beschriebenen Ansätze zur Berücksichtigung einer städtebaulichen Perspektive im Kontext des stetigen Infrastrukturausbaus sollten nicht als eigenständiges Planwerk oder Bestandteil einer separaten Strategie verstanden werden. Vielmehr bereichern die identifizierten Ansätze die Strategieprozesse intelligenter Städte durch neue Perspektiven auf den Infrastrukturausbau.

6.1 Akzeptanzfaktoren

Die Auswertungen bestehender Ansätze in der Literatur sowie der dargestellten empirischen Ansätze lassen vermuten, dass die physisch-räumliche Integration technischer Infrastrukturen am Beispiel von 5G einen antizipierten Einfluss auf die gesellschaftliche Akzeptanz der Technologie

aufweist. Es wird jedoch ebenfalls deutlich, dass die städtebauliche Integration nur ein Bestandteil der gesellschaftlichen Einstellung zur betrachteten Technologie darstellt und zwingend mit anderen akzeptanzsteigernden Aspekten, insbesondere Informationskampagnen, zusammengedacht werden muss, um eine möglichst akzeptierte Integration realisieren zu können. Im Rahmen dieses Unterkapitels werden die erarbeiteten Erkenntnisse und Ergebnisse in Form von Akzeptanzfaktoren aus städtebaulicher Perspektive dargestellt. Die übersichtlichen Akzeptanzfaktoren sollten die Basis für die Ableitung kommunaler Strategieansätze darstellen.

Als die drei primären Akzeptanzfaktoren wurden im Rahmen von Empirie und Theorie der *Erhalt des Stadtbildes*, die *Informationsvermittlung über die Infrastruktur*, sowie die *Aufwertung des Stadtraumes* herausgearbeitet. Als übergeordneter Faktor konnte der *Standort* ausgemacht werden, welcher sich auf der Makroebene auf die gesellschaftliche Akzeptanz auswirkt. Die Akzeptanzfaktoren wirken dabei teilweise konträr zueinander und können hier nicht zur Vorhersage quantitativer Auswirkungen auf die gesellschaftliche Akzeptanz angewendet werden. Ferner muss beachtet werden, dass hier nur gesamtgesellschaftliche Tendenzen bezüglich potenzieller Akzeptanzauswirkungen aufgezeigt werden. Wie in Kapitel 5.2.1 dargestellt, können, beispielsweise bei der Betrachtung unterschiedlicher sozioökonomischer Merkmale, hinsichtlich der Integrationspräferenz signifikante Unterschiede ausgemacht werden.

Erhalt des Stadtbildes

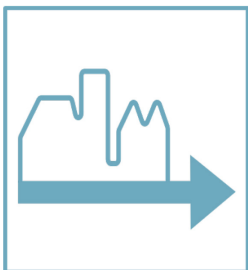


Abbildung 51 Icon
Erhalt des Stadtbildes
Eigene Darstellung auf
Grundlage Beisel 2023

Der Aspekt *Erhalt des Stadtbildes* beschreibt den sowohl in der Literatur und den Interviews als auch in der Akzeptanzanalyse identifizierten Wunsch signifikanter Bevölkerungsteile, keine technikinduzierten räumlichen Auswirkungen auf das Stadtbild wahrzunehmen. Technische Anlagen zu verstecken wurde nach Expert*innenmeinung präferiert, um Unbehagen in der Bevölkerung und Vandalismusanfälligkeit zu verringern. Die befragte Bevölkerung sah in der maskierten Integration überwiegend einen passenden Ansatz, den bereits überladenen Stadtraum nicht noch weiter infrastrukturell zu belasten. Dabei konnte ausgemacht werden, dass vor allem ältere und männliche Bevölkerungsteile sich für eine möglichst gering wahrnehmbare

Gestaltung aussprechen. Expertenseitig wird jedoch angenommen, dass aufgrund der hohen Anzahl neuer technischer Infrastrukturen im Stadtraum eine flächendeckend nicht wahrnehmbare Integration nicht realisierbar ist. Das Icon in *Abbildung 51* verdeutlicht im weiteren Verlauf der Arbeit den Aspekt *Erhalt des Stadtbildes*.

Informationsvermittlung über Infrastruktur



Abbildung 52 Icon
Informationsvermittlung
über Infrastruktur
Eigene Darstellung auf
Grundlage Beisel 2023

In der Literatur finden sich seit einiger Zeit wieder mehr Forderungen eines bewussteren und wahrnehmbaren Infrastrukturausbaus, um so zur Diskussion über eben jenen anzuregen. Der Aspekt *Informationsvermittlung über Infrastruktur* nimmt am Beispiel der 5G-Kleinzellen die primär von den Expert*innen herausgearbeitete Notwendigkeit neuer Praxisbeispiele und der Erläuterung neuer Technologien auf. Dieser Aspekt stellt gemäß den empirischen Ergebnissen insbesondere während des Aufkommens neuer Technologien einen wichtigen Aspekt dar. Ist seitens der Bürger*innen einmal ein neuer Service bekannt und wird als Selbstverständlichkeit wahrgenommen, so verliert dieser Aspekt sukzessive an Bedeutung. Die Akzeptanzanalyse zeigt eindrücklich, dass die Akzeptanz wahrnehmbarer Infrastrukturen beispielsweise für die Bereitstellung von Vor- und Versorgedienstleistungen deutlich höher angegeben wird. Die Aufklärung und die Schaffung der Verbindung von Infrastruktur und Funktion soll somit ein größeres Verständnis für den Infrastrukturausbau und dessen räumliche Auswirkungen schaffen. Das Icon in *Abbildung 52* verdeutlicht im weiteren Verlauf der Arbeit den Aspekt *Erhalt des Stadtbildes*.

Aufwertung des Stadtraums



Abbildung 53 Icon
Aufwertung des
Stadtraumes
Eigene Darstellung auf
Grundlage Beisel 2023

Der dritte identifizierte Akzeptanzfaktor stellt die bauliche Aufwertung des Stadtraums aus einer städtebaulichen Perspektive in den Vordergrund. Der Infrastrukturausbau neuer technischer Anlagen soll dafür genutzt werden, um die Aufenthaltsqualität zu steigern beziehungsweise neue Funktionen in den Raum zu integrieren. Darunter kann eine Vielzahl an Maßnahmen mit stark divergierenden Einflüssen auf das Stadtbild subsummiert werden. Die Infrastruktur kann dabei beispielsweise Teil neuer Stadtmöblierungselemente und Umbauprozesse werden oder den Stadtraum über die Bereitstellung neuer Funktionen aufwerten. Die Akzeptanzanalyse zeigt auf, dass vor allem jüngere Bevölkerungsschichten diesen Aufwertungsabsichten deutlich

positiver gegenüber stehen, als dies ältere Befragte tun. Das Icon in *Abbildung 53* verdeutlicht im weiteren Verlauf der Arbeit den Aspekt *Aufwertung des Stadtraumes*.

Standort



Abbildung 54 Icon
Standort
Eigene Darstellung

Neben den dargestellten primären Akzeptanzfaktoren konnte auch die Bedeutung der unterschiedlichen Stadtraumtypen und deren Programmierung hinsichtlich der Integrationsart nachgewiesen werden. Kommunen sollten daher in jedem Fall die unterschiedlichen Stadtraumtypen in der Formulierung von Rahmenbedingungen berücksichtigen. Insbesondere die Wahrnehmbarkeit von technischen Infrastrukturen wurde bevölkerungsseitig zwischen den einzelnen Stadtraumtypen sehr unterschiedlich bewertet. Wahrnehmbare beziehungsweise auch technisch integrierte Infrastrukturen werden vor allem in Gebieten akzeptiert, die mit Innovationen in Verbindung gebracht werden können (Hochschulcampus), Flächen, die durch Großveranstaltungen oder Gewerbestandorte sowie Strukturen für den Gemeinbedarf (Krankenhäuser, Schulen) geprägt sind: Abgelehnt werden wahrnehmbare Sendeinfrastrukturen in der historischen Altstadt beziehungsweise in Wohngebieten. Kommunen stehen damit vor der Herausforderung aber auch der Möglichkeit die bestehende Programmierung des öffentlichen Raumes adäquat zu berücksichtigen oder diese bewusst adressieren und im Zusammenspiel mit weiteren Maßnahmen neu ausgestalten zu können. Der in *Abbildung 54* angedeutete Stadtgrundriss wird in der weiteren Arbeit verwendet, um den Aspekt *Standort* graphisch zu berücksichtigen.

In der folgenden *Abbildung 55* ist das erarbeitete Akzeptanzdreieck der städtebaulichen Integration von Smart City-Infrastrukturen abgebildet. In Anlehnung an das in Kapitel 3.2 vorgestellte 5G-Dreieck sind hier die identifizierten Akzeptanzfaktoren dargestellt. Die Grafik ermöglicht kommunalen Akteur*innen einen schnellen Überblick der relevanten Faktoren. Gleichzeitig visualisiert die Grafik das zu Teilen gegenseitige Wirken der einzelnen Akzeptanzfaktoren und verdeutlicht die Herausforderung in der Adressierung multipler Faktoren.



Abbildung 55 Städtebauliche Akzeptanzdreieck für Smart City-Infrastrukturen
Eigene Darstellung

6.2 Gestaltungsprinzipien

Abgeleitet von den Akzeptanzfaktoren werden in diesem Kapitel anwendbare Gestaltungsprinzipien von potenziellen Kleinzellenanlagen für die Kommunen vorgeschlagen. Das unterstützt die Vorgabe eines Rahmens der städtebaulichen Integration von Smart City Infrastrukturen ohne zu konkrete Richtlinien vorgeben zu müssen. Starre Richtlinien zur Gestaltung wurden im Rahmen der empirischen Analyse mehrheitlich abgelehnt. Sie eignen sich nur eingeschränkt, um beispielsweise auf den schnellen technologischen Wandel reagieren und als konstruktive Leitlinie für die involvierten Akteure dienen zu können. Die hier entwickelten Gestaltungsprinzipien sollen einen Rahmen darstellen, in welchem die Akteure des Infrastrukturausbaus eigene Ansätze anwenden und kombinieren können. Gleichzeitig wird eine

standortspezifische Berücksichtigung der Akzeptanzfaktoren ermöglicht. Im Folgenden wird zunächst die aus der Literatur abgeleitete Unterteilung zwischen technischer und städtebaulicher Integration aufgezeigt und mit den empirischen Ergebnissen auf die 5G-Technologie übertragen. Anschließend werden die erarbeiteten Gestaltungsprinzipien dargestellt.

Abgrenzung der technischen Integration im Akzeptanzdreieck

Die im vorherigen Kapitel dargestellten empirischen Ergebnisse lassen die begründete Annahme zu, dass eine *städtebauliche Integration* seitens der Bevölkerung der *technischen Integration* von Kleinzellenanlagen vorgezogen wird. Die *technische Integration* ist, wie in Kapitel 2.3.4 ausführlich dargestellt, durch eine Unterbringung der technischen Infrastrukturen aus technofunktionaler Perspektive charakterisiert. Im Kontext der 5G-Kleinzellenintegration subsummiert die *technische Integration* Ansätze, in denen die Sendetechnik in der Regel klar erkennbar und wenig gestaltet in den urbanen Raum eingebracht wird. Die *technische Integration* adressiert prinzipiell keine der aufgezeigten Akzeptanzfaktoren. Im Rahmen des Akzeptanzdreiecks kann die technische Integration aufgrund ihrer weitestgehend fehlenden Adressierung der Akzeptanzfaktoren, wie in *Abbildung 56* aufgezeigt, im Zentrum des Dreiecks verortet werden. Die empirischen Ergebnisse zeigen eindrücklich, dass die technische Integration sowohl von den Befragten im Rahmen der Akzeptanzanalyse als auch den interviewten Expert*innen mit deutlicher Mehrheit abgelehnt, beziehungsweise weniger häufig präferiert wird. Eine *technische Integration* sollte, vor allem in den Bereichen historischer Altstädte sowie in Gebieten mit einer hohen Wohnnutzung, vermieden werden. Demgegenüber kann die *städtebauliche Integration* im 5G-Kleinzellenkontext als Oberbegriff für diverse, im Folgenden näher dargelegte, Gestaltungsansätze verstanden werden, um die Infrastruktur stadtverträglich und mehrwertstiftend in den urbanen Raum zu integrieren. Sofern kommunale Akteure den Infrastrukturausbau hinsichtlich der gesellschaftlichen Akzeptanz optimieren möchten, so sollte die *städtebauliche Integration* einen Baustein in ihren Bemühungen darstellen. Graphisch kann der *städtebaulichen Integration* der Bereich in den Ecken der Akzeptanzfaktoren sowie den sich dazwischen befindlichen Mischbereichen zugeordnet werden.

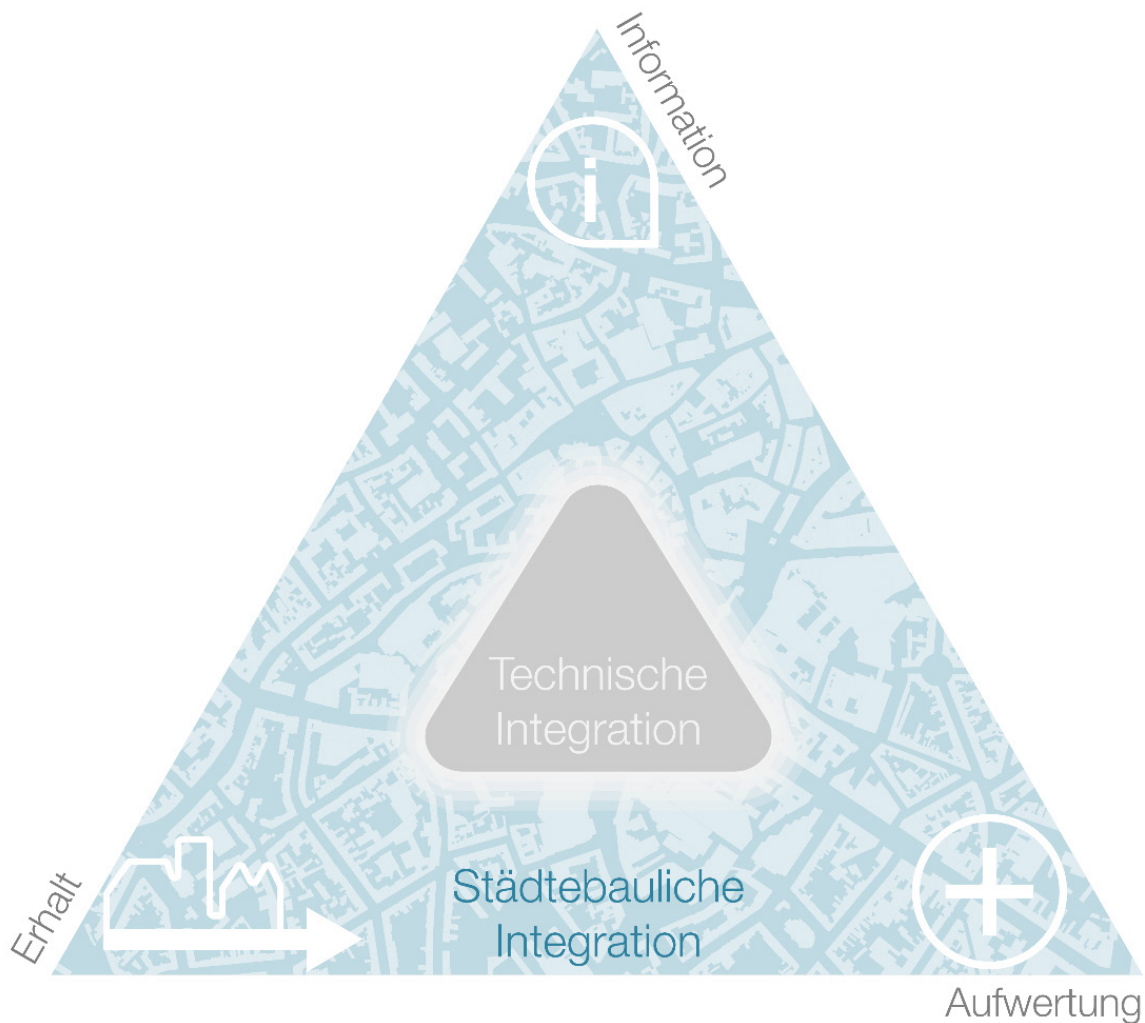


Abbildung 56 Technische und städtebauliche Integration im Kontext des Akzeptanzdreiecks
Eigene Darstellung

Unterscheidung Gestaltungsprinzipien

Die identifizierten Gestaltungsprinzipien der städtebaulichen Integration konnten in drei *Arche-* sowie drei *Mischtypen* unterteilt werden, welche im Folgenden näher erläutert werden. Die Gestaltungsprinzipien wurden aus den empirischen Ergebnissen und bestehenden theoretischen Ansätzen zusammengetragen. Übergänge zwischen den jeweiligen Prinzipien sind dabei fließend und nicht exakt abgrenzbar. Vielmehr sollen die aufgezeigten Prinzipien Orientierung schaffen, um eigene Ansätze zu formulieren.

6.2.1.1 Archetypen

Als *Archetypen* werden die „Reinformen“ der drei identifizierten primären Akzeptanzfaktoren aus städtebaulicher Perspektive verstanden. Auch wenn die in Kapitel 5.3.1 untersuchten Entwürfe nur in Ausnahmefällen den *Archetypen* zugeordnet werden können, so konnte insbesondere für die *maskierte Integration* eine hohe Praxisrelevanz ausgemacht werden.

Maskierte Gestaltung



Abbildung 57 Icon maskierte Gestaltung
Eigene Darstellung auf Grundlage Beisel 2023

Der bereits in der Literatur definierte Gestaltungsansatz der *Maskierung* kommt hinsichtlich einer potenziellen Akzeptanzsteigerung eine wichtige Rolle zu. So existieren in der Praxis bereits vielfältige Ansätze, die diesem Gestaltungsprinzip zugeordnet werden können. Die in Kapitel 3.3.2 näher beschriebene Installation von Mobilfunktechnik in bestehenden Litfaßsäulen können diesem Archetyp beispielsweise zugerechnet werden. Darüber hinaus können Kleinzellenanlagen beispielsweise in (neuen) Laternenmasten oder an Fassaden möglichst unauffällig integriert werden. Wie in den vorherigen Abschnitten dargestellt, hält ein signifikanter Anteil der interviewten Experten eine möglichst unsichtbare Installation für akzeptanzfördernd. Diesem Archetyp würde damit eine gewichtige Rolle im Rahmen eines gesellschaftlich akzeptierten 5G-Kleinzellenausbau zukommen und ein Großteil der neuen Infrastruktur sollte diesem Typ zugeordnet werden. Kommunen sollten sich dementsprechend vertieft damit auseinandersetzen, auf welche Art und Weise und an welchen Trägerinfrastrukturen zukünftig eine hohe Anzahl an neuen Infrastrukturen möglichst wenig wahrnehmbar installiert werden können. Eine hohe potenzielle Skalierbarkeit sollte aufgrund des Kostensenkungspotenzials Beachtung in den Überlegungen und der Infrastrukturauswahl finden. In Abhängigkeit vom Stadtraumtyp muss der maskierten Gestaltung mehr oder weniger Beachtung geschenkt werden.

Potenzielle Umsetzungen umfassen beispielsweise:

- Die Installation neuer Sendeinfrastrukturen in bestehende Elemente des Stadtraums (z.B. Laternen, Litfaßsäulen)
- Neugeschaffene Strukturen, die in ihrer äußeren Erscheinung bestehenden Objekten der Umgebung bewusst ähneln und eine Verwechslung intendieren

Aufwertende Gestaltung



Abbildung 58 Icon
Aufwertende Gestaltung
Eigene Darstellung auf
Grundlage Beisel 2023

Konträr hinsichtlich des Aspekts *Erhalt des Stadtbildes* zum vorherigen Archetyp, sieht die *aufwertende Gestaltung* in der Regel eine signifikante Veränderung und gegebenenfalls Neuprägung des Stadtraums vor. Der Ausbau der technischen Anlagen für die Smart City wird zum Anlass genommen, um den Stadtraum gestalterisch und/ oder funktional aufzuwerten. Das hier erläuterte Gestaltungsprinzip fokussiert die Einbringung neuer Mehrwerte in den Stadtraum. Die anderen Akzeptanzfaktoren werden dabei nicht adressiert. Es scheint dabei aus ökonomischen sowie organisatorischen Gründen unwahrscheinlich, dass der Infrastrukturausbau flächendeckend genutzt wird, um den Stadtraum aufzuwerten. Dieser Ansatz bietet sich primär für einzelne Leuchtturmprojekte an. In den strategischen Ansätzen der Kommunen sollte dieser Gestaltungsansatz dementsprechend nicht priorisiert werden. Real existierende Beispiele können diesem Archetyp nicht zugeordnet werden.

Potenzielle Umsetzungen umfassen beispielsweise:

- Neue solitäre Strukturen, die den Stadtraum gestalterisch oder funktional aufwerten
- Infrastrukturell induzierte Umbau- und Restrukturierungsprozesse städtischer Räume

Informative Gestaltung

Abbildung 59 Icon
Informative Gestaltung
Eigene Darstellung auf
Grundlage Beisel 2023

Im Rahmen des letzten Archetyps steht die Erläuterung des technischen Nutzen der Infrastruktur für die Bevölkerung im Fokus. Die Sendeinfrastruktur, beziehungsweise benötigte Komponenten, werden dazu genutzt, um über die Technologie zu informieren und ein Bewusstsein für deren Relevanz zu schaffen. Ziel des Ansatzes ist es, primär neue und mehrwertstiftende Anwendungsfälle mit der dafür benötigten technischen Infrastruktur in Verbindung zu bringen. Entsprechende technische Infrastrukturen könnten beispielsweise mit Informationsaufklebern zu verbauten Bestandteilen oder ermöglichten Funktionen versehen werden. Ein Beispiel für diesen Archetyp kann auf dem Campus Melaten, einem Hochschulstandort der RWTH Aachen, ausgemacht werden (vgl. *Abbildung 60*). Die technisch integrierte Forschungsinfrastruktur wird mit einem erklärenden Sticker kommuniziert. Potenzielle Bedenken werden proaktiv aufgenommen und beantwortet. Die empirischen Ergebnisse zeigen jedoch, dass eine offene Kommunikation der Infrastruktur die Vulnerabilität dieser durch Vandalismus erhöht. Nach Expert*innenmeinung unterscheidet sich das Vandalismpotenzial bezüglich unterschiedlicher Technologien. 5G besitzt dabei eine aktive Gegnerschaft, dessen Handlungsbereitschaft vergleichbar hoch ausgeprägt ist. Aus rein materieller Perspektive unterscheidet sich dieser Ansatz nicht von der funktionalen Integration. Erwartete negative Auswirkungen auf das Stadtbild werden nicht verhindert. Die reine Erklärung der Infrastruktur durch deren Gestaltung erscheint hinsichtlich der empirischen Ergebnisse als wenig zielführend. Kommunale Strategien sollten daher höchstens bei einzelnen Infrastrukturen eine simple Informationsausbringung vorantreiben.

Potenzielle Umsetzungen umfassen beispielsweise:

- Erklärende Aufkleber auf den technischen Anlagen
- Informationskampagne zur Erläuterung der technischen Anlagen und ihrer Funktionalität



Abbildung 60 Technische Infrastruktur auf dem Campus Melaten und deren Erläuterung
Eigene Aufnahmen

6.2.1.2 Mischtypen

Als ein zentrales Ergebnis aus aufgezeigter Theorie und Empirie werden in dieser Arbeit *Mischtypen* als Gestaltungsprinzipien definiert, die mehrere Akzeptanzfaktoren adressieren. Während eine Vielzahl der in Kapitel 5.3.1 untersuchten Entwürfe den Mischtypen zugeordnet werden können, sind real existierende Beispiele der Mischtypen bisher nur selten auszumachen. Möchten Kommunen die gesellschaftliche Akzeptanz über städtebauliche Faktoren beeinflussen, so können die Mischtypen in diesem Vorgehen zukünftig einen wichtigen Beitrag leisten.

Einfügende Gestaltung



Abbildung 61 Icon
Einfügende Gestaltung
Eigene Darstellung auf
Grundlage Beisel 2023

Die *einfügende Gestaltung* konnte bereits in Kapitel 2.3.4 für technische Infrastrukturen als anwendbares Gestaltungsprinzip ausgemacht werden. Im Kontext von 5G-Kleinzellenanlagen ist das Prinzip ebenfalls anwendbar und zielt auf die Schaffung von Infrastrukturen ab, die sich in ein bestehendes Stadtbild bestmöglich einfügen. Die neu geschaffenen Strukturen können in ihrer Ausprägung eher als zurückhaltend charakterisiert werden. Darunter werden hier primär Ansätze subsummiert, die sich einfügend in neue Stadtmöbel integrieren oder sich etwa in ihrer Form- und Farbsprache an dem bestehenden Stadtraum und dessen Atmosphäre anpassen. Im Gegensatz zu der maskierten Gestaltung verändert sich der Stadtraum technikinduziert. Dies geschieht jedoch sehr bewusst und zurückhaltend. Die neuen Objekte ordnen sich bestehenden Elementen und Stadtbildern unter. Erste Pilotansätze, die der einfügenden Gestaltung zugerechnet werden

können, sind im Rahmen des Förderprojekts „Open Testbed Berlin – 5G and beyond“ (OTB-5G+) ausgemacht worden (vgl. Kapitel 2.3.4).

Potenzielle Umsetzungen umfassen beispielsweise:

- Das Ausbringen neuer Stadtmöbel mit integrierter Sendetechnik, die sich in Form, Farbe und Materialität dem bestehenden Stadtbild anpassen
- Den Ausbau der Kleinzelleninfrastruktur mit der Schaffung sich in das Stadtbild einfügender und mehrwertstiftender neuer technischer Infrastrukturen zu verbinden. So können die Sendeinfrastrukturen beispielsweise in neue Miko-Mobilitätshubs oder Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität integriert werden
- Berücksichtigung und Stärkung der lokalen Identität bei der Nachrüstung von Trägerinfrastrukturen, z.B. durch City Branding
- Nachrüstung bestehender Trägerinfrastrukturen mit der gestalterischen Aufwertung des Stadtraums verbinden, beispielsweise durch Begrünungen

Stadtraumprägende Gestaltung



Abbildung 62 Icon
Stadtraumprägende
Gestaltung
Eigene Darstellung auf
Grundlage Beisel 2023

Der Übergang zwischen der *einfügenden* und der *stadtraumprägenden Gestaltung* ist oft fließend. Der stadtraumprägende Ansatz verfolgt die aktivere und sich in den Vordergrund stellende Gestaltung des Stadtraums. Dieser Ansatz arbeitet auch im Kontext der Kleinzellenintegration mit prägenden Gestaltungselementen. Dabei wird vermehrt der Aspekt der Informationsbereitstellung mit der funktionalen und gestalterischen Aufwertung des Stadtraums kombiniert. Im Gegensatz zur aufwertenden Gestaltung verfolgt die hier vorgeschlagene Definition zur stadtraumprägenden Gestaltung dementsprechend die zumindest partielle Informationsvermittlung über die neuen Sendeanlagen. Die diesem Mischtyp zuzuordnenden Ansätze reichen etwa von neuen markanten Sitzgelegenheiten über Skulpturen bis hin zu digitalen Anzeigeflächen, die die neuen Mehrwerte der Smart City präsent transportieren. Die neuen Objekte ordnen sich den bestehenden Elementen über. Insbesondere hinsichtlich der aufgezeigten Möglichkeit, bestehende Stadträume neu zu programmieren, stellt die stadtraumprägende Gestaltung einen interessanten Ansatz dar. Existierende Umsetzungen für den identifizierten Mischtyp konnten bisher nicht ausgemacht werden.

Potenzielle Umsetzungen umfassen beispielsweise:

- Das Ausbringen neuer Stadtmöbel mit integrierter Sendetechnik, die sich bewusst vom Bestand abheben und die Mehrwerte neuer technologischer Ansätze kommunizieren
- Die Verbindung der Kleinzelleninfrastruktur mit der Schaffung stadtraumprägender und mehrwertschaffender neuer Infrastrukturen. So können die neuen Sendefunkturen beispielsweise in neue wahrnehmbare Gestaltungselemente, wie z.B. Skulpturen, oder technische Infrastrukturen, z.B. Smart Screens, integriert und kommuniziert werden
- Die Nutzung der Nachrüstung bestehender Trägerinfrastruktur, um die Quartiersidentität zu kommunizieren beziehungsweise durch neue Objekte zu verändern

Virtuelle Gestaltung



Abbildung 63 Icon Virtuelle Gestaltung
Eigene Darstellung auf Grundlage Beisel 2023

Die Ansätze, die der *virtuellen Gestaltung* zugeordnet werden, sind auf die Spezifika der technischen Infrastrukturen der Smart City zurückzuführen. Der Integrationsansatz *virtuelle Gestaltung* ermöglicht insbesondere die Verschneidung der identifizierten Akzeptanzaspekte *Erhalt des Stadtbildes* sowie die *Informationsvermittlung*. Durch die digitalen Komponenten der 5G-Technologie ermöglicht der Ansatz die Nutzung des Digitalen als Erweiterung des physischen Raums. Die notwendige technische Infrastruktur kann dabei in der Regel wenig wahrnehmbar in den physischen Stadtraum integriert werden. Mittels digitaler Erweiterung der physischen Welt, z.B. über Augmented Reality (AR), können Informationen über die neue Technologie sowie deren Anwendungsfälle aufgezeigt und erklärt werden, ohne einschneidende reale Veränderungen des Stadtbildes zu bedingen. Somit lassen sich die zwei identifizierten Akzeptanzkriterien des *Erhalts des Stadtbildes* sowie die *Informationsvermittlung* auf innovative Art und Weise miteinander verbinden. Real existierende Ansätze, den Infrastrukturausbau mittels AR zu unterstützen, konnten bisher nicht ausgemacht werden.

Potenzielle Umsetzungen umfassen beispielsweise:

- Das Ausbringen neuer Trägerinfrastrukturen mit integrierter Sendetechnik, die sich in Form, Farbe und Materialbeschaffenheit dem bestehenden Stadtbild anpassen und die bestehende Realität digital erweitern. So könnten beispielsweise bisher temporär genutzte Plätze mittels AR um neue Nutzungen, z.B. digitale Ausstellungen, ergänzt werden.

- Die Möglichkeit, wenig wahrnehmbare Nachrüstungen bestehender Trägerinfrastruktur zu nutzen, um Informationen über ebenjene via mobilen Endgeräten auszuspielen beziehungsweise deren Funktionen zu erläutern.
- Neue, virtuelle Angebote, welche die neuen, beziehungsweise an bestehenden Trägerinfrastruktur ergänzten Sendeanlagen in innovative Funktionen integrieren. Auf diese Weise könnten etwa touristische Angebote wie Stadtrundgänge mittels AR umgesetzt werden und die ermöglichenden Infrastrukturen in die Erfahrung eingebaut werden.

Der nachfolgenden *Abbildung 64* kann die Einordnung der dargestellten Arche- und Mischtypen im Kontext des Akzeptanzdreiecks entnommen werden. Während die Archetypen die Akzeptanzfaktoren direkt und quasi ausschließlich adressieren, so bilden die Mischtypen die Schenkel des gleichseitigen Dreiecks. Es ist zu beachten, dass die Darstellung eine starke Vereinfachung der aufgezeigten Thematik darstellt.

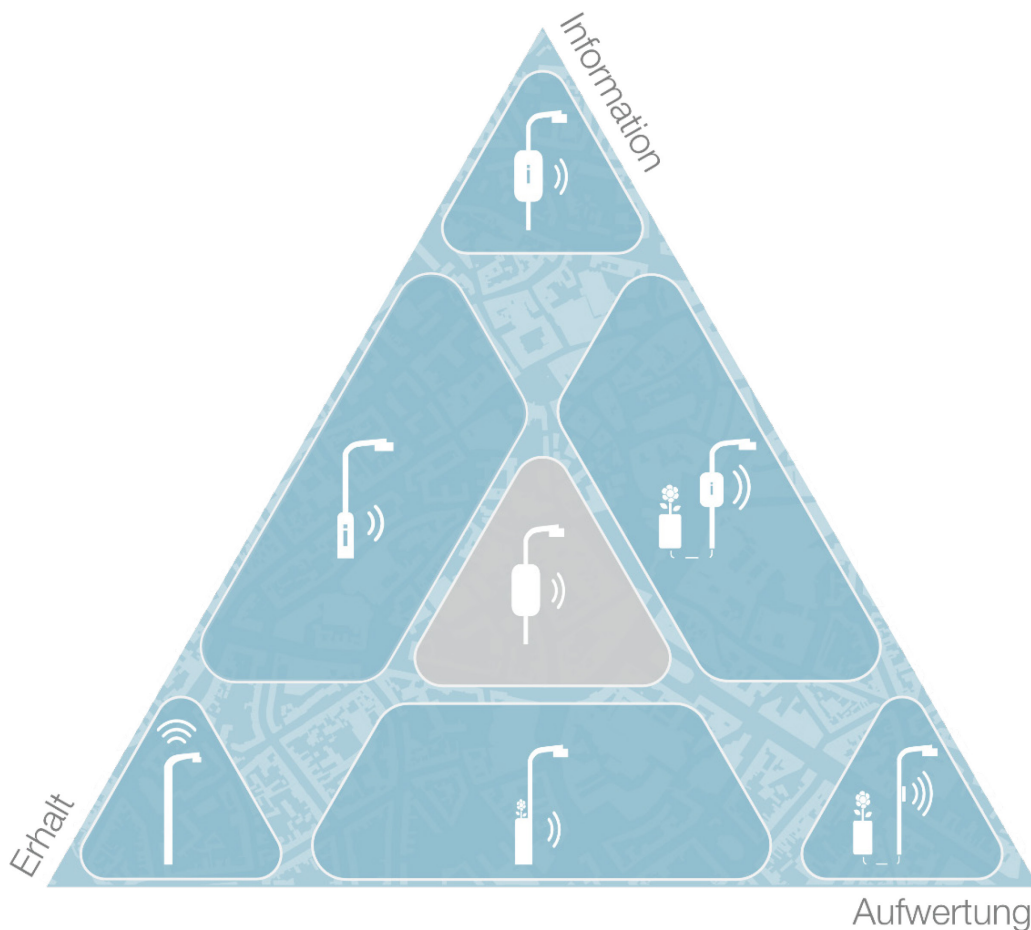


Abbildung 64 Verortung der Gestaltungsprinzipien im städtebaulichen Akzeptanzdreieck
Eigene Darstellung

6.3 Implementierung

Nachdem die vorherigen Kapitel einen Überblick über die Akzeptanzfaktoren und mögliche Gestaltungsprinzipien gegeben haben, soll nun aufgezeigt werden, welche Ansätze ausgemacht werden konnten, um den Infrastrukturausbau kommunenseitig aus städtebaulicher Perspektive zu begleiten. Die empirischen Ergebnisse weisen darauf hin, dass zur Erreichung einer hohen gesellschaftlichen Akzeptanz des Smart City-Infrastrukturausbaus aus städtebaulicher Perspektive eine Leuchtturmstrategie angestrebt werden sollte. Als Leuchtturmstrategie wird im Kontext des Kleinzellenausbaus ein Integrationsansatz verstanden, welcher darauf abzielt, den Großteil neuer Infrastrukturen nicht oder nur gering wahrnehmbar beziehungsweise maskiert oder einfügend in das bestehende Stadtbild zu integrieren. Einzelne Infrastrukturen sollten darüber hinaus die neue Technologie erfahrbar machen beziehungsweise sich Stadtraumaufwertungen mit dieser verbinden lassen. Auf diese Weise soll auch das Gefühl bei der Bevölkerung verringert werden, dass potenziell gesundheitsgefährdende Infrastrukturen heimlich in den Stadtraum gebracht werden. Die Schaffung neuer rechtlicher Rahmenbedingungen und daraus ableitbare formale Planungsinstrumente im Kontext gestalterischer Vorgaben für den Ausbau für Smart City-Infrastrukturen erscheinen in den meisten Fällen nicht begründbar, nicht zielführend oder aufgrund mangelnder Ressourcen nicht umsetzbar. Von dem Versuch die gestalterische Dimension des Infrastrukturausbaus durch hoheitliche Regeln vorzugeben, wird abgeraten. Vielmehr sollten „weiche“ Instrumente zum Einsatz kommen, die hauptsächlich durch akteursübergreifenden Austausch gestaltet werden und auf die Realisierung von Synergien abzielen.

Als ein grundlegendes Element der kommunalen Einflussnahme auf die Gestalt neuer technischer Infrastrukturen kann die Nutzung des örtlichen Standortpotenzials ausgemacht werden. Die Standortfindung, -auswahl und -abwicklung bilden die Basis des in der Regel privatwirtschaftlich durchgeführten Ausbaus technischer Infrastrukturen, auf welche kommunale Akteur*innen signifikanten Einfluss nehmen können. Das eigene Standortpotenzial sollte von den Kommunen erarbeitet und eine wichtige Rolle in der kommunalen Rahmensetzung einnehmen. Am Beispiel des in

Kapitel 5.1.1 vorgestellten Untersuchungsgebiets konnte dargelegt werden, dass sich, zumindest für den Anwendungsfall des 5G-Kleinzellenausbaus, bereits genügend nutzbare Trägerinfrastrukturen im öffentlichen Raum befinden. Für viele dieser Infrastrukturen können kommunale Akteure direkt oder indirekt, z.B. durch kommunale Betriebe oder Beteiligungen, auf eine etwaige Bereitstellung hinwirken. Neue Standorte beziehungsweise Trägerinfrastrukturen müssen nicht geschaffen werden. Die hohe Anzahl an potenziellen Standorten ermöglicht zudem eine gewisse Flexibilität seitens der Umsetzenden, auf die kommunenseitig bezüglich der Rahmensetzung eingegangen werden sollte. Eine zentrale Rolle in der Nutzung potenzieller Trägerinfrastrukturen sollten Beleuchtungsanlagen einnehmen. Die alleinige Nutzung eines Standorttyps wird jedoch nicht ausreichen, um skalierbare und übertragbare Lösungen flächendeckend anbieten zu können. Versorgungsinfrastrukturen, öffentliche Fassaden, Litfaßsäulen, Lichtsignalanlagen und ÖPNV-Stationen bieten mit jeweiligen Einschränkungen, ein hohes Standortpotenzial, um Sendeinfrastrukturen beheimaten zu können. Technisch gesehen stellt die Nachrüstung von Trägerinfrastrukturen in den meisten Fällen kein Problem dar oder kann durch die Nutzung benachbarter Trägerinfrastrukturen umgangen werden. In den meisten Fällen sind die potenziellen Standorte gut einseh- und wahrnehmbar. Das Standortpotenzial gilt es, akteursübergreifend niederschwellig zur Verfügung stellen und anpassen zu können.

Um die Erkenntnisse des Standortpotenzials bezüglich der eigenen Rahmenstrategie nutzen zu können, müssen insbesondere kommunalseitig Ansätze geschaffen werden, um auf die privatwirtschaftliche Standortfindung sowie deren Ausgestaltung frühzeitig einwirken zu können. Im Zentrum steht diesbezüglich an erster Stelle die Unterstützung der TKUs bei der skalierbaren Identifizierung geeigneter Standorte und gegebenenfalls deren Ertüchtigung. Durch einen verringerten Aufwand in der Standortfindung könnte die Bereitschaft zur Umsetzung städtebaulicher Integrationsansätze gesteigert werden. Ein Portfoliomanagement entsprechender Trägerinfrastruktursysteme kann Standortpotenziale konkret nutzbar und kommunal steuerbar machen. Durch eine systematische und zugängliche Kategorisierung und Darstellung potenzieller Standorte lassen sich proaktiv die ersten Schritte Infrastrukturausbaus unterstützen. Neben den genauen

Standorten können Datenbanken beispielsweise mit Informationen bezüglich vorhandener Anschlüsse, Ansprechpartner*innen, Preise und Besonderheiten aufgebaut werden. Denkbar wäre diesbezüglich die Nutzung digitaler Planwerke, beispielsweise geographische Informationssysteme. Eine Vielzahl von Geodaten zu potenziellen Standorten, wie beispielsweise Beleuchtungsanlagen, existieren vielerorts bereits. Diese Daten sind thematisch zu verschneiden, durch bestehende Daten externer Akteure anzureichern und durch eigene Erhebungen zu erweitern. Ziel sollte der Aufbau einer digitalen Datenbank zur Nutzbarkeit bestehender Trägerinfrastruktur sein, über welchen zudem eine Nutzungsvereinbarung geschlossen werden kann. In Abhängigkeit vom Stadtraumtyp und der kommunalen gestalterischen Haltung zur Integration der neuen technischen Infrastrukturen, sollte die Datenbank Gestaltungsprinzipien für die Nutzung der Standorte vorgeben, welche eigenständig vom zukünftigen Betreiber umgesetzt werden.

Rahmenverträge als Rahmenwerk individueller Nutzungsvereinbarungen zwischen Kommunen und TKUs wurden von den interviewten Expert*innen mehrheitlich als am besten geeignetes Instrument gesehen, um einen praktikablen Ausbau von Kleinzellenanlagen begleiten und lenken zu können. Neben beispielsweise den finanziellen oder standortspezifischen Rahmenbedingungen ermöglichen diese auch die Berücksichtigung städtebaulicher Gesichtspunkte. Aktuelle Rahmenverträge für Kleinzelleninfrastrukturen an kommunalen Trägern sehen an entsprechender Stelle die Berücksichtigung einer sogenannten „*Gestaltungskonzeption*“ vor (TELEKOM DEUTSCHLAND GMBH 2019c: 7). Diese beinhalten aktuell jedoch lediglich drei Aufbauvarianten (vgl. Kapitel 3.3.2). Die zur Option stehenden Aufbauvarianten zielen dabei jedoch nur teilweise auf die Berücksichtigung der hier identifizierten Akzeptanzfaktoren ab. Die zuvor definierten Mischtypen können beispielsweise nicht ausgemacht werden. Die kritisch gesehene funktionale Gestaltung wird hingegen als potenzielle Option angeboten. Eine kommunal ausgearbeitete und stadtraumtypvariable Gestaltungskonzeption könnte die Akzeptanzfaktoren spezifischer berücksichtigen und adressieren. Durch die Bereitstellung eines aufbereiteten Standortportfolios mit formulierten Gestaltungsansätzen ließen sich gewünschte Prinzipien bereits proaktiv in Rahmenverträge einbringen.

Des Weiteren muss die Bündelung einer perspektivisch stetig ansteigenden Anzahl neuer Smart City-Infrastrukturen bedacht werden. Gemäß der empirischen Ergebnisse sollte die Bündelung neuer technischer Anlagen bereits im Standortfindungsprozess berücksichtigt und gegebenenfalls mit dem Portfoliomanagement zusammengedacht werden. Eine etwaige Bündelung verspricht insbesondere ökonomische Mehrwerte für die unterschiedlichen Akteure. Allerdings kann die Bündelung auch zu wahrnehmbaren Stadtraumveränderungen führen. In den Rahmenverträgen sollten Kommunen daher die Bündelung solcher Standorte präferieren und übergreifende sowie gegebenenfalls angepasste Gestaltungskonzepte vorsehen. Die Bündelung von Smart City-Technologiestandorten kann ebenfalls über ein digitales Kartenwerk unterstützt werden. Schnittstellen digitaler Kartenwerke für Dritte ermöglichen beispielsweise weiteren Akteuren, bereits genutzte Standorte zu identifizieren, und gegebenenfalls ökonomische Vorteile zu realisieren. Denkbar wäre als erster Layer eine einfache Oberfläche, wie etwa die EMF-Karte der Bundesnetzagentur (vgl. Kapitel 3.3.2). Für die Anbahnung potenzieller Kooperationen müssen verifizierte Akteur*innen darüber hinaus ergänzende Daten und Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden können. Je nach Technologie könnte die Nutzung bestehender Standorte und Gestaltungsprinzipien in einem definierten Radius vorgegeben werden.

Neben der Verringerung der Aufwände der TKUs durch die Identifikation und Bereitstellung potenzieller Standorte, sind auch direkte finanzielle Unterstützungen beziehungsweise Entlastungen der privatwirtschaftlichen Akteure im Infrastrukturausbau denkbar, um die städtebauliche Integration technischer Infrastrukturen zu forcieren. Neben einer Beteiligung bei den Ausbaurkosten stadtverträglicher Aufbauvarianten, könnte dies auch über die kostenfreie Bereitstellung kommunalverfügbarer Infrastruktur beziehungsweise die Schaffung benötigter technischer Anschlüsse geschehen. Insbesondere der erste Ansatz dürfte aufgrund der angespannten Lage kommunaler Haushalte keine flächendeckend praktikable Lösung darstellen. Als ein möglicher Ausgangspunkt zum zweiten Ansatz kann die sogenannte Ertüchtigungsstrategie gezählt werden, die in der Praxis bereits vereinzelt umgesetzt wird. Unter einer Ertüchtigungsstrategie wird hier das planmäßige Vorgehen bei kommunalen Bauvorhaben verstanden, bei denen

etwaige Anschlüsse für Smart City-Infrastrukturen, wie z.B. ein Glasfaseranschluss, präventiv vorgesehen, vorbereitet oder installiert werden beziehungsweise eine einfache Nachrüstung ermöglicht wird. Werden beispielsweise Tiefbauarbeiten vorgenommen, so können benachbarte Beleuchtungsanlagen durch Lehrrohre für die Schaffung eines Datenanschlusses vorbereitet werden. Diese Vorkehrungen ermöglichen nicht nur eine schnelle Ertüchtigung kommunaler Trägerinfrastrukturen bei entsprechendem Bedarf. Sie senken ferner die Kosten für den Aufbau von Smart City-Infrastrukturen privater Akteure. Nach Expert*inneneinschätzung stellen die Tiefbauarbeiten den mit Abstand größten Kostenblock bei der Errichtung neuer Smart City-Infrastrukturen dar. Die proaktive Ertüchtigung kommunaler Infrastrukturen stellt für die Kommunen nur einen geringen Mehraufwand dar. Gleichzeitig senken sie die Installationskosten für die privatwirtschaftlichen Akteur*innen ungemein. Die Ertüchtigungsstrategie kann dabei als Teil des oben erläuterten Portfoliomanagements verstanden werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Hauptaufgabe der kommunalen Akteur*innen hinsichtlich der Standortpotenziale in der Sichtbarmachung, Schaffung einer einfachen Zugänglichkeit und der Ertüchtigung der vorhandenen kommunalen Trägerinfrastrukturen liegt. Kommunen sollten dabei die Rolle der „ordnenden Hand“ einnehmen und in einem ersten Schritt über die Standortpotenziale den eigenen Einfluss auf die Gestaltung sichern. Bereitstellung und Aufarbeitung der Standortpotenziale stellen somit eine wichtige Grundlage dar, um auf eine städtebauliche und gesellschaftlich akzeptierte Integration privater Infrastrukturen hinzuwirken. Grundlage der dargestellten Realisierungsansätze ist dabei stets die vorherige Ableitung einer Strategie mit entsprechenden Gestaltungsprinzipien. *Abbildung 65* kann der schematische Ablauf der Implementierungsansätze entnommen werden. Die Bereitstellung des Standortpotenzials, die Berücksichtigung gestalterischer Belange in Rahmenverträgen sowie die Aufstellung einer Ertüchtigungsstrategie können durch digitale Kartenwerke und entsprechende Schnittstellen gebündelt und unterstützt werden. Die einzelnen Aspekte gilt es so auszugestalten, dass diese auf eine gemeinsame Strategie beziehungsweise Haltung einzahlen. Im

Kontext einer hohen gesellschaftlichen Akzeptanz sollte eine Leuchtturmstrategie verfolgt werden.

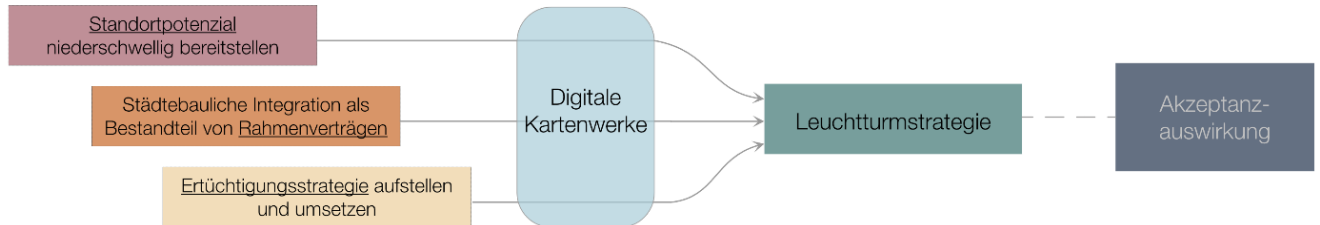


Abbildung 65 Schematische Darstellung Implementierungsansätze
Eigene Darstellung

Der *Abbildung 66* sind die zusammengefassten Bausteine zur Berücksichtigung der städtebaulichen Integration technischer Infrastrukturen schematisch zu entnehmen. Die Aspekte *Akzeptanzfaktoren*, *Gestaltungsprinzipien* sowie *Implementierung* gilt es, in bestehende kommunale Digitalisierungsstrategien kompakt zu integrieren und in eine lösungsorientierte und ressourcensparende Umsetzung zu überführen. Auf diese Weise sollen die Mehrwerte digitaler Städte und die Schaffung beziehungsweise der Erhalt attraktiver öffentlicher Räume enger zusammengedacht und gemeinschaftlicher umgesetzt werden.

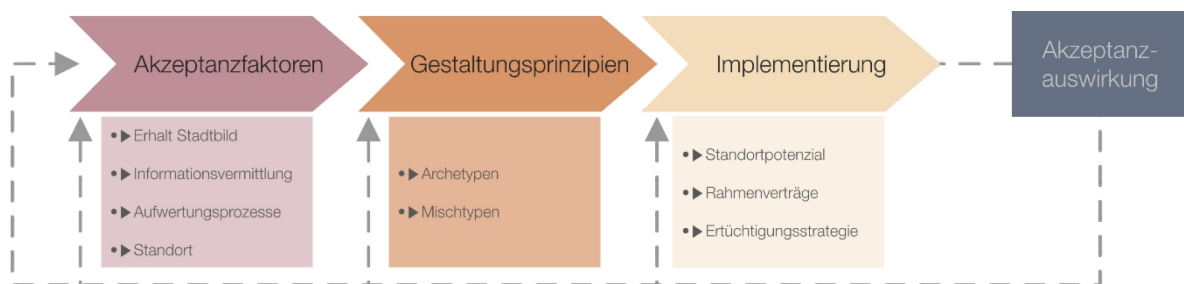


Abbildung 66 Übersicht Bausteine kommunaler Strategien zur städtebaulichen Integration technischer Infrastrukturen
Eigene Darstellung

7 Einordnung der Erkenntnisse

Im abschließenden Kapitel dieser Arbeit werden die eingangs formulierten Forschungsfragen beantwortet, die verwendeten methodischen Ansätze und gewonnenen Erkenntnisse kritisch reflektiert sowie ein Ausblick über sich anschließende Forschungsmöglichkeiten aufgezeigt.

7.1 Beantwortung Forschungsfragen

Im Folgenden werden die in Kapitel 1.2 aufgestellten Forschungsfragen kompakt beantwortet. Die Beantwortung folgt dabei der sowohl in der Einleitung als auch im empirischen Teil der Arbeit verwendeten Unterteilung in die drei Aspekte: *Standortpotenzial*, *städtebauliche Integrationsprinzipien* und *Implementierungsansätze*. Abschließend wird die übergeordnete Forschungsfrage auf Basis der drei betrachteten Aspekte beantwortet.

Standortpotenzial

Welche Standortpotenziale lassen sich aus städtebaulicher Perspektive für eine Integration von 5G-Kleinzellenanlagen im urbanen Bestand identifizieren?

Anhand des exemplarisch untersuchten Reallaborbereichs lässt sich ein hohes Standortpotenzial für 5G-Kleinzellenanlagen ausmachen und auf andere urbane Räume übertragen. Besonders für dicht besiedelte und intensiv genutzte Flächen, welche perspektivisch den Fokus des Kleinzellenausbaus darstellen, konnte eine hohe Anzahl an potenziellen Trägerinfrastrukturen ausgemacht werden. Neue Trägermedien müssen für eine flächendeckende Kleinzellenmobilfunkabdeckung in aller Regel nicht geschaffen werden. Die bisher bereits angenommene besondere Eignung von Beleuchtungsanlagen konnte auch im Rahmen der quantitativen Analyse nachgewiesen werden. Allerdings gehen die befragten Expert*innen mehrheitlich davon aus, dass eine Beschränkung auf einen alleinigen Standorttyp, etwa Beleuchtungsanlagen, beziehungsweise eine Aufbauvariante aus technischen oder organisatorischen Gründen nicht ausreichen wird. Umsetzende

Akteur*innen müssen daher flexible Lösungen für unterschiedliche Standorttypen entwickeln beziehungsweise vorhalten. Potenzielle Standorte sind dabei in der Regel gut einseh- beziehungsweise wahrnehmbar und bergen in diesem Kontext ein hohes Potenzial, das Stadtbild positiv wie negativ zu beeinflussen. Das für Kleinzellen abgeleitete Standortpotenzial kann, durch teilweise vergleichbare Standortanforderungen, partiell auf andere Smart City-Infrastrukturen übertragen werden.

Welche Planungsflexibilitäten lassen sich aus dem vorhandenen Standortpotenzial für die städtebauliche Integration ableiten?

Das in Kapitel 5.1 näher aufgezeigte Standortpotenzial ermöglicht Planenden sowie Umsetzenden eine gewisse Flexibilität in der Verortung und Installation von Kleinzellenanlagen. In den hoch frequentierten urbanen Gebieten konnte eine breite Auswahl sowohl an Standorttypen als auch an Trägerinfrastrukturen ausgemacht werden. Die befragten Expert*innen nehmen für die überwiegende Anzahl an potenziellen Trägerinfrastrukturen eine technische Umrüstbarkeit an. Im Zuge strategischer Überlegungen seitens der Kommunen sollten diese Flexibilitäten berücksichtigt werden. Insbesondere bei einer internen Ertüchtigungsstrategie sowie der Formulierung von Rahmenverträgen sollte auf das breite Angebot potenzieller Standorte zurückgegriffen werden. Der Wechsel von technisch präferierten auf alternative Standorte kann, in Abhängigkeit gewählter Trägerinfrastrukturen und Gestaltungsprinzipien, eine höhere antizipierte Akzeptanz bedingen. Die identifizierten Flexibilitäten für 5G-Kleinzellenstandorte lassen sich, mit technologiebedingten Anpassungen an die individuellen Standortanforderungen, in Teilen auf andere Smart City-Infrastrukturen mit vergleichbaren Standortanforderungen übertragen. Während die hier genannten Flexibilitäten übergeordnet ausgemacht werden konnten, ist hinsichtlich des individuellen und lokalen Flexibilisierungspotenzials eine spezifische Detailbetrachtung unerlässlich.

*Städtebauliche Integrationsprinzipien***Welche gesellschaftlichen Präferenzen können bezüglich der Integration von Kleinzelleninfrastrukturen in den urbanen Raum ausgemacht werden?**

Es konnte keine eindeutige gesellschaftliche Präferenz für einen der untersuchten Gestaltungsansätze ausgemacht werden. Die funktionale Gestaltung und damit eine Integration der „nackten“ Technik in den urbanen Raum wird jedoch weitestgehend abgelehnt. Die Verbindung von urbanen Aufwertungsprozessen und dem Ausbringen neuer technischer Infrastrukturen stellt hingegen für viele Befragte, insbesondere für junge und weibliche Teilnehmer*innen, einen spannenden und zukunftsfähigen Integrationsansatz dar. Die höchste Zustimmung wurde für die maskierte Gestaltung und damit für einen weitestgehenden Erhalt des Stadtbildes identifiziert. Praxisansätze der maskierten Gestaltung bestehen bereits. In Abhängigkeit vom betrachteten Stadtraum sinkt die ausgemachte Zustimmung der Bevölkerung für wahrnehmbare technische Sendefunkturen. Insbesondere in historischen Altstädten und Gebieten, die durch eine Wohnnutzung geprägt sind, sollten präsent wahrnehmbare Infrastrukturen vermieden werden. Die empirischen Ergebnisse lassen die begründete Annahme zu, dass eine in Kapitel 6.3 vorgestellte Leuchtturmstrategie hinsichtlich einer gesteigerten gesellschaftlichen Akzeptanz dem alleinigen Verstecken von Anlagen vorzuziehen ist. Die Leuchtturmstrategie sieht vor, dass ein Großteil der benötigten technischen Infrastrukturen maskiert in die Städte integriert wird und einzelne bewusst wahrnehmbare Infrastrukturen deren Nutzen für die Gesellschaft darlegen und erklären.

Welche Gestaltungsansätze lassen sich für die städtebauliche Integration von 5G-Kleinzellen hinsichtlich der Steigerung der gesellschaftlichen Akzeptanz identifizieren?

Im Rahmen der empirischen Ergebnisse konnten drei primäre Akzeptanzfaktoren ausgemacht werden: der *Erhalt des Stadtbildes*, die *Informationsvermittlung über die Infrastruktur* sowie die *Aufwertung des Stadtraumes*.

Der jeweilige *Standort* stellt einen weiteren, übergeordneten *Akzeptanzfaktor* dar. Die einzelnen Akzeptanzfaktoren lassen sich durch unterschiedliche Gestaltungsansätze adressieren. Während die in Kapitel 6.2 vorgestellten Archetypen die Akzeptanzfaktoren einzeln und ausschließlich adressieren, sprechen die Mischtypen je zwei Faktoren an. Die Archetypen subsumieren die Prinzipien der *maskierten*, *aufwertenden* und *informativen Gestaltung*. Zu den Mischtypen werden die bereits im Kontext der städtebaulichen Integration anderer technischer Infrastrukturen ausgemachten Prinzipien der *einfügenden* und der *stadtraumprägenden Gestaltung* gezählt. Als innovatives Mischprinzip im Kontext der Smart City konnte die *virtuelle Gestaltung* ausgemacht werden.

Implementierungsansätze

Wie lässt sich die städtebauliche Integration der Sendeanlagen durch Kommunen in den Infrastrukturausbauprozess integrieren?

Der Ausbau und die materielle Ausgestaltung der betrachteten Sendeanlagen sind in der Regel privatwirtschaftlich organisiert. Im Rahmen der empirischen Ergebnisse konnte insbesondere ausgemacht werden, dass Kommunen ihr vorhandenes Infrastrukturpotenzial nutzen sollten, um bedarfsabhängig auf die Gestaltung der Anlagen einzuwirken. Die überwiegende Mehrheit der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Infrastrukturen können dem Einflussbereich von Kommunen und deren Unternehmen zugerechnet werden. Um einen Anreiz für die umsetzenden Akteure des Kleinzellenausbaus zur Gestaltung ihrer Anlagen zu schaffen, sollten insbesondere die einfache Identifizierbarkeit, die niederschwellige Bereitstellung sowie gegebenenfalls die vorbereitete Nachrüstbarkeit potenzieller Trägerinfrastrukturen kommunenseitig gewährleistet werden. Der verringerte Aufwand seitens der installierenden Unternehmen schafft nach Expert*inneneinschätzung das Potenzial und die Bereitschaft, eine städtebauliche Integration von technischen Infrastrukturen umzusetzen.

Auf welche Planungsinstrumente sollte kommunalseitig zurückgegriffen werden, um eine gesellschaftlich akzeptierte Kleinzelleninfrastruktur zu fördern?

Insbesondere die befragten kommunalen Expert*innen sprachen sich gegen starre und formelle Planungsinstrumente aus. Unter anderem ein schneller technologischer Wandel sowie begrenzte personelle Ressourcen bei den Kommunen lassen formale und in der Regel präventiv zu formulierende Instrumente wenig praktikabel erscheinen. Vielmehr wurden sogenannte „weiche“, auf Kommunikation ausgelegte Instrumente als vielversprechend gesehen. Im Zentrum dieser Instrumente sollte das Standortpotenzial stehen (vgl. Kapitel 5.1 & 6.3). Insbesondere in Rahmenverträgen zwischen Kommunen und TKUs sind das Standortpotenzial bereitzustellen und gestalterische Belange der Integration von Kleinzellensendeanlagen festzuhalten.

Abschließend wird nun die übergeordnete Forschungsfrage dieser Arbeit beantwortet:

Inwieweit stellt die städtebauliche Integration von Kleinzellensendeinfrastrukturen ein geeignetes Mittel zur Beeinflussung der gesellschaftlichen Akzeptanz der 5G-Technologie dar?

Die durchaus unterschiedlichen gestalterischen Ansätze einer städtebaulichen Integration von Kleinzellenanlagen stoßen bei der lokalen Bevölkerung auf deutlich höhere Zustimmungsraten als eine technische Integration. Die in der Arbeit vorgestellten empirischen Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine städtebauliche Integration die gesellschaftliche Akzeptanz verändern beziehungsweise erhöhen kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass, wie im theoretischen Teil der Arbeit aufgezeigt, die Messung und Einordnung gesellschaftlicher Akzeptanz von einer hohen Ambivalenz geprägt ist und verallgemeinernde Aussagen nur schwer getroffen werden können. Die Ergebnisse der Arbeit zeigen auch, dass die städtebauliche Integration lediglich einen Teil einer akzeptierten Infrastrukturausstattung darstellt. Einen zentralen Beitrag zur gesellschaftlichen Akzeptanz von 5G schafft perspektivisch eine breitangelegte Wissensvermittlung über die 5G-

Technologie und das Erlebbarmachen neuer technologieinduzierter Mehrwerte. Die städtebauliche Integration kann als ergänzender Baustein einen Beitrag dazu leisten, die neuen Infrastrukturen mehrwertstiftend in unsere Städte zu bringen. Der städtebaulichen Integration kommt insbesondere während des Aufkommens neuer Technologien und deren Infrastrukturen eine hervorzuhebende Stellung bei. Sobald die neuen Technologien implementiert, etabliert und akzeptiert sind, nimmt die Bedeutung der materiellen Gestalt ab. Die vorgelegte Arbeit zeigt auf, dass die städtebauliche Integration keinen Ansatz darstellt, um bereits bestehende Bedenken zu den potenziellen, insbesondere gesundheitlichen, Auswirkungen der 5G-Technologie zu verringern. Die Meinung der in der Regel kleinen, aber teilweise sehr aktiven, 5G-Gegnerschaft lässt sich nach Expert*inneneinschätzung nicht durch die Ausgestaltung der materiellen Komponenten verändern. Die städtebauliche Integration von 5G-Kleinzellenanlagen sollte damit nicht als Instrument zur bewussten Akzeptanzsteuerung verstanden, sondern vielmehr als Bestandteil zur Erhaltung und zur Gestaltung attraktiver urbaner Räume aufgefasst werden.

7.2 Kritische Reflexion der methodischen Vorgehensweise und Ergebnisse

Die vorgelegte Arbeit erweitert durch ihren explorativen Ansatz und den breitangelegten Methodenmix den Stand Forschung zu potenziellen Akzeptanzauswirkungen städtebaulicher Integration von technischen Infrastrukturen. Bestehende Ansätze zur städtebaulichen Integration von Infrastrukturen der Smart City konnten bisher nur vereinzelt ausgemacht werden. Die Arbeit versteht sich damit auch als Ausgangspunkt weiterer sich anschließender Forschungsaktivitäten. Bevor die verwendeten Methoden und Erkenntnisse kritisch reflektiert werden, soll angemerkt werden, dass die Erhöhung von Akzeptanz technischer Infrastrukturen nicht als Selbstzweck verstanden werden sollte und eng an die jeweiligen Technologien gebunden ist. Sofern keine für die Gesellschaft mehrwertstiftenden Ansätze erwartbar sind, sollte keine Akzeptanzsteigerung forciert werden.

Die angewandten Methoden zielten auf die Beantwortung der Frage, inwiefern die städtebauliche Integration ein geeignetes Instrument zur Beeinflussung der gesellschaftlichen Akzeptanz darstellen kann. Während aus den Ergebnissen begründet abgeleitet werden kann, dass sich die materielle Erscheinung der technischen Infrastrukturen auf die gesellschaftliche Akzeptanz auswirken kann, so ist die Arbeit nicht in der Lage diese Auswirkungen zu quantifizieren. Anders als die in Kapitel 2.3.3 vorgestellten Modelle zur Technikakzeptanz liefert die Arbeit keinen Ansatz, um konkrete Aussagen über die Wirksamkeit verschiedener Ansätze abzuschätzen. Unterschiede in der Akzeptanzauswirkung zwischen den vorgeschlagenen Gestaltungsprinzipien können nicht aufgezeigt oder begründet werden. Die vorgelegte Arbeit betrachtet somit nur einen Ausschnitt der bisher wenig erforschten Wechselwirkungen zwischen der Integration von technischen Infrastrukturen und der gesellschaftlichen Akzeptanz.

Ebenfalls nur thematische Ausschnitte liefern die Methoden und Ergebnisse der drei Aspekte *Standortpotenziale*, *städtebauliche Integrationsprinzipien* und *Implementierungsansätze*. Während das auf eine quantitative Basis gestützte *Standortpotenzial* für das untersuchte Reallabor relativ fundiert ausgemacht werden konnte, stehen für eine Übertragung auf die betrachtete Gesamtstadt sowie andere deutsche Großstädte sukzessiv weniger freizugängliche Datenpunkte zur Verfügung. Eine datengestützte vergleichende Betrachtung deutscher Städte würde jedoch die Formulierung genauer und individuell angepasster Handlungsempfehlungen für Kommunen ermöglichen. Bei der Betrachtung der *städtebaulichen Integrationsprinzipien* konnte gemäß des monadischen Testaufbaus nur eine begrenzte Anzahl an Szenarien untersucht werden. Die subjektiv getroffene Vorauswahl der vier Szenarien führt zwangsläufig zu einer Beeinflussung der Ergebnisse. Zwar wurde bei der Erstellung der graphischen und textlichen Darstellung der untersuchten Szenarien auf eine möglichst objektive Darstellungsform hingearbeitet. Die Grafiken und Texte sind dabei jedoch stets durch subjektive Auffassungen und Präferenzen geprägt. Außerdem stellt die durchgeführte Umfrage die normalerweise eher im Hintergrund stehenden Infrastrukturen bewusst in das Zentrum der Fragen. Die gegebenen Antworten stimmen somit eventuell nicht mit den Einstellungen zu der Technik überein, die in einem realen Kontext entstanden wären. Bei den erarbeiteten *Implementierungsansätzen* ist

anzumerken, dass die vergleichende Betrachtung der Entwürfe auf einer subjektiven Basis beruht. Die Einordnung der Entwürfe nach den aufgestellten Kategorien unterliegt damit einer subjektiven Voreingenommenheit.

Als Synthese theoretischer und empirischer Erkenntnisse formuliert die Arbeit Empfehlungen für Kommunen. Aufbauend auf der oben genannten Kritik, dass keine quantitativen Akzeptanzauswirkungen durch die neue Infrastruktur benannt werden können, ist es dementsprechend nicht möglich konkrete Auswirkungen der vorgeschlagenen Gestaltungsprinzipien darzulegen. Da sich vor allem die Kommunen gegen starre Gestaltungsvorgaben ausgesprochen und dies mit den kommunalspezifischen Besonderheiten begründet haben, stellen die vorgeschlagenen Gestaltungsprinzipien nur vage Leitlinien dar. Insbesondere kleinere Kommunen besitzen eventuell nicht die Kapazitäten, um eigene Gestaltungsvorgaben zu entwickeln, einzusetzen oder zu überprüfen. Auch sind Kommunen bei der Etablierung der Gestaltungsprinzipien in einem Interessenskonflikt. Zu viele Vorgaben bezüglich der städtebaulichen Integration der Anlagen könnten zu höheren Kosten sowie verringerten Ausbauaktivitäten bei den TKUs und damit zur Senkung der Standortattraktivität führen.

Als abschließende kritische Betrachtung ist auch die Übertragung der Erkenntnisse vom 5G-Kleinzellenausbau auf andere Infrastrukturen der Smart City anzuführen. Zwar gehen befragte Expert*innen davon aus, dass die Charakteristika und Standortanforderungen von anderen Smart City-Infrastrukturen, z.B. Sensoren, mit denen von 5G-Kleinzellenanlagen vergleichbar sind. Die Betrachtung von Smart City-Infrastrukturen in Kapitel 2.2.3 zeigt allerdings auch, dass es zum einen keine allgemeingültige Definition dieser Infrastrukturen gibt und zum anderen, dass diese in Größe und Standortanforderungen signifikant variieren können. Zudem gaben die Expert*innen zu bedenken, dass die gesellschaftliche Akzeptanz für andere Smart City-Technologien, deren gesellschaftlicher Nutzen eventuell greifbarer ist, höher als bei 5G sei. Eine Akzeptanzsteigerung durch die städtebauliche Integration wäre daher eventuell nicht nötig. Die kompakte kritische Reflexion zeigt bereits, dass eine allgemeine Übertragung der am

Beispiel der Kleinzellen gewonnen Erkenntnisse auf die heterogene Gruppe der Smart City-Infrastrukturen nicht möglich ist.

Trotz der dargestellten Einschränkungen in der Übertragbarkeit der aufgezeigten Erkenntnisse stellt die Arbeit einen ersten Grundstein für die weitere Betrachtung der städtebaulichen Integration von Smart City-Infrastrukturen dar. Besonders durch die stetig voranschreitende Digitalisierung ist anzunehmen, dass zukünftig eine immer höhere Anzahl neuer technischer Infrastrukturen in den Stadtraum drängt.

7.3 Ausblick

Wie bereits im vorherigen Kapitel angemerkt, dürfte die Anzahl an technischen Infrastrukturen im Stadtraum weiter zunehmen und damit die Thematik der gesellschaftlichen Akzeptanz ebenjener an Relevanz gewinnen. Aufbauend auf den Erkenntnissen dieser Arbeit schließt sich eine Reihe an weiteren Forschungsbedarfen an. Zum einen gilt es die gewonnen Erkenntnisse zu quantifizieren und in ein praktikables Akzeptanzmodell zu überführen. Dieses ermöglicht im Optimalfall eine präzisere Orientierung und Validierung strategischer Ansätze von Kommunen und den umsetzenden Akteur*innen. Ferner gilt es, die Methoden und Erkenntnisse auf andere Technologien der intelligenten und vernetzten Stadt zu übertragen. Perspektivisch benötigt auch der sich bereits in Entwicklung befindliche 6. Mobilfunkstandard (6G) neue Infrastrukturen, die es in den urbanen Raum zu integrieren gilt. Dabei wird 6G voraussichtlich erneut höhere Frequenzen nutzen. 6G-Sendeinfrastrukturen werden auch aus diesen Gründen andere Standortanforderungen formulieren, die es zu berücksichtigen und mit anderen Belangen des öffentlichen Raumes in Einklang zu bringen gilt. Aufbauend auf den Erfahrungen von 5G sowie vorherigen Mobilfunkstandards ist auch bei der Einführung von 6G mit einem gesellschaftlichen Akzeptanzdefizit zu rechnen.

Neben der Mobilfunktechnologie wird auch die städtebauliche Integration von dezentralen Energieerzeugungsanlagen weiter an Bedeutung gewinnen.

Im Zuge des sukzessiven Ausstiegs aus fossilen Energien wird auch die regenerative Energieerzeugung im urbanen Raum weiter zunehmen müssen. Wie in Kapitel 3.3.3 dargestellt, bestehen einige Parallelen in den gesellschaftlichen Widerständen gegen Mobilfunkausbau und Ausbau neuer Erzeugungsanlagen für erneuerbare Energien. Während visuelle Beeinträchtigungen des Siedlungs- und Landschaftsbildes als einer der zentralen Gründe für die verminderte gesellschaftliche Akzeptanz, vor allem für Windkraftanlagen, seit langem bekannt ist (z.B. BERTSCH et al. 2016; ELLIS & FERRARO 2016; JOHANSSON & LAIKE 2007), so scheinen die Auswirkungen unterschiedlicher städtebaulicher Integrationsansätze von Energieerzeugungsanlagen auf die Akzeptanz bisher noch unerforscht.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass das Forschungsfeld der Wechselwirkungen zwischen der städtebaulichen Integration technischer Infrastrukturen und der gesellschaftlichen Akzeptanz durch eine hohe Aktualität und Relevanz geprägt ist. Zukünftig gilt es umso mehr, technikinduzierte Stadtraumveränderungen gesellschaftlich akzeptiert(er) zu gestalten, um die zeitkritischen Transitionen in eine nachhaltigere Zukunft nicht zusätzlich durch gesellschaftliche Protestbewegungen zu verlangsamen.

Literaturverzeichnis

- 3GPP (HG.) (2019): Technical Specification Group Services and System Aspects: Release 15 Description. Summary of Rel-15 Work Items. 3rd Generation Partnership Project. Valbonne
- AAZAM, M.; ST-HILAIRE, M.; LUNG, C.-H.; LAMBADARIS, I. (2016): Cloud-based smart waste management for smart cities. In: *2016 IEEE 21st International Workshop on Computer Aided Modelling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*: IEEE, S. 188–193
- ACATECH - DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (2011): Smart Cities. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg
- ACATECH & KÖRBER-STIFTUNG (HG.) (2020): TechnikRadar 2020: Was die Deutschen über Technik denken. München, Hamburg
- ADAMS, T. (1935): Outline of town and city planning. New York: Russell Sage Foundation
- ADASME, P.; CORDERO, S.; SOTO, I.; FIROOZABADI, A. (2022): New Formulations for Optimal User Coverage using 5G Millimeter-Wave-based Networks. In: *2022 13th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP)*: IEEE, S. 732–737
- AJZEN, I.; FISHBEIN, M. (1980): Understanding attitudes and predicting social behavior. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall
- AKADEMIE FÜR RAUMENTWICKLUNG IN DER LEIBNIZ-GEMEINSCHAFT (ARL) (HG.) (2022): Raumwirksamkeit der Digitalisierung. Hannover (Positionspapier aus der ARL, 136)
- ALBERS, G. (1992): Stadtplanung. 2. Auflage. Darmstadt: Wiss. Buchges. Abt. Verl.
- ALBERS, G.; WÉKEL, J. (2021): Stadtplanung. 4. Auflage. Darmstadt: wbg Academic
- ALIELDIN, A.; HUANG, Y.; STANLEY, M.; XU, Q. (2020): 5G camouflage antenna for pico-cell base stations. In: *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, Bd. 14, Heft 14, S. 1696–1699. DOI: [10.1049/iet-map.2019.0663](https://doi.org/10.1049/iet-map.2019.0663)
- ALLWINKLE, S.; CRUICKSHANK, P. (2011): Creating Smart-er Cities: An Overview. In: *Journal of Urban Technology*, Bd. 18, Heft 2, S. 1–16. DOI: [10.1080/10630732.2011.601103](https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601103)
- ALPHAND, A. (1867-1873): Les promenades de Paris. Paris: Rothschild
- ALTHAUS, M. (2012): Schnelle Energiewende – bedroht durch Wutbürger und Umweltverbände? Protest, Beteiligung und politisches Risikopotenzial für Großprojekte im Kraftwerk- und Netzausbau. In: *Wissenschaftliche Beiträge / Technische Hochschule Wildau*, S. 103–114. DOI: [10.15771/0949-8214_2012_1_13](https://doi.org/10.15771/0949-8214_2012_1_13)
- AMTMANN, J.; ANGSTMANN, M.; FLÖGEL, F.; GÜLEŞ, O.; HARTENSTEIN, F.; HERRMANN, K. et al. (2022): Die digitale Stadt gestalten: Eine Handreichung für Kommunen. Hg. v. Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2022/handreichtung-digitale-stadt-gestalten-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- ANGERER, F.; HADLER, G. (2005): Folgen und Wirkungen des Verkehrs - Städtebauliche Folgen. In: STEIERWALD, G., KÜNNEN, H. DIETER, VOGT, W. (HG.): *Stadtverkehrsplanung*. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 152–159

- ANKE, J.; SCHOLLE, J. (2016): Nutzenpotenziale von Smart Parking. In: RÄTZ, D., BREIDUNG, M., LÜCK-SCHNEIDER, D., KAISER, S., SCHWEIGHOFER, E. (HG.): *Digitale Transformation: Methoden, Kompetenzen und Technologien für die Verwaltung* (GI-Edition Proceedings). Bonn: Gesellschaft für Informatik, S. 175–187
- ATTARAN, M. (2021): The impact of 5G on the evolution of intelligent automation and industry digitization. In: *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, S. 1–17. DOI: [10.1007/s12652-020-02521-x](https://doi.org/10.1007/s12652-020-02521-x)
- BAGOZZI, R. (2007): The Legacy of the Technology Acceptance Model and a Proposal for a Paradigm Shift. In: *Journal of the Association for Information Systems*, Bd. 8, Heft 4, S. 244–254. DOI: [10.17705/1jais.00122](https://doi.org/10.17705/1jais.00122)
- BAHRDT, H. P. (1974): *Umwelterfahrung*. München: Nymphenburger Verlagshandlung
- BEARINGPOINT GMBH (HG.) (2021): *5G-Meinungsbild Deutschland: Die Relation von Angst und Unwissen*. Frankfurt am Main
- BECKER, U.; GERIKE, R.; VÖLLINGS, A. (1999): *Gesellschaftliche Ziele von und für Verkehr* (Schriftenreihe des Instituts für Verkehr und Umwelt e.V., 1). Dresden
- BECKMANN, K. J. (2018): Digitalisierung und Mobilität - Chancen und Risiken für eine Verkehrswende. In: *Nachrichten der ARL*, 48. Jahrgang, Heft 2/2018, S. 12–16
- BENSON, V. S.; PIRIE, K.; SCHÜZ, J.; REEVES, G. K.; BERAL, V.; GREEN, J. (2013): Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. In: *International journal of epidemiology*, Heft 42, S. 792–802
- BERKE, J. (2019): Die schönsten Verstecke für Mobilfunkantennen: Funklöcher stopfen. <https://www.wiwo.de/unternehmen/it/funkloecher-stopfen-die-schoensten-verstecke-fuer-mobilfunkantennen/25233344.html> [19.05.2023]
- BERNHARDT, M. (1994): Das Telefonhäuschen... In: *Archiv für deutsche Postgeschichte*, Heft 2/94, S. 57–61
- BERTSCH, V.; HALL, M.; WEINHARDT, C.; FICHTNER, W. (2016): Public acceptance and preferences related to renewable energy and grid expansion policy: Empirical insights for Germany. In: *Energy*, Bd. 114, S. 465–477. DOI: [10.1016/j.energy.2016.08.022](https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.022)
- BESIER, S. (2016): Städtebauliche Integration und Gestaltung der Infrastrukturanlagen von Stadt- und Straßenbahn. In: *Informationen zur Raumentwicklung*, Heft 4, S. 407–420
- BITKOM E.V. (HG.) (2020): Bitkom präsentiert Studie zur Akzeptanz von Mobilfunkmasten. <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Studie-zur-Akzeptanz-von-Mobilfunkmasten> [19.05.2023]
- BÖHMERT, C.; POPHOF, B. (2019): Negative Effekte ohne Wirkstoff: Der Nocebo-Effekt. In: *UMID - Umwelt + Mensch Informationsdienst*, Heft 2/2019, S. 51–58
- BOWERS, K.; BUSCHER, V.; DENTTEN, R.; EDWARDS, M.; ENGLAND, J.; ENZER, M. et al. (2017): Smart Infrastructure: Getting more from strategic assets. <https://www-smartinfrastucture.eng.cam.ac.uk/system/files/documents/the-smart-infrastructure-paper.pdf> [19.05.2023]
- BRANDL, A. (2013): *Die sinnliche Wahrnehmung von Stadtraum: Städtebautheoretische Überlegungen*. ETH Zurich
- BRUCK, E. M.; SOTEROPOULOS, A. (2021): Automatisiertes und vernetztes Fahren: Berücksichtigung des lokalen, räumlichen Kontextes und räumliche Differenzierung. In:

- MITTEREGGER, M., BRUCK, E. M., SOTEROPOULOS, A., STICKLER, A., BERGER, M., DANGSCHAT, J. S., SCHEUVENS, R., BANERJEE, I. (Hg.): *AVENUE21. Politische und planerische Aspekte der automatisierten Mobilität*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 7–16
- BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ (HG.) (2014): Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder. Landshut
- BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (HG.) (2021a): Elektromagnetische Felder. https://www.bfs.de/DE/themen/emf/einfuehrung/einfuehrung_node.html;jsessionid=0EA1B9A00487983880FBCBCE6D63E60D.1_cid349 [19.05.2023]
- BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (HG.) (2021b): Elektromagnetische Felder: 5G. <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/mobilfunk/basiswissen/5g/5g.html> [19.05.2023]
- BUNDESANSTALT FÜR DEN DIGITALFUNK DER BEHÖRDEN UND ORGANISATIONEN MIT SICHERHEITSAUFGABEN (BDBOS) (HG.) (2021): Funkübertragungen. https://www.bdbos.bund.de/DE/Digitalfunk_BOS/Umwelt_und_Gesundheit/Funkuebertragung/funkuebertragung_node.html [19.05.2023]
- BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG (BBSR) (HG.) (2016): Anpassung an den Klimawandel in Stadt und Region: Forschungserkenntnisse und Werkzeuge zur Unterstützung von Kommunen und Regionen. Bonn
- BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG (BBSR) (HG.) (2017): Smart City Charta. Bonn
- BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG (BBSR) (HG.) (2021): Neue Leipzig-Charta: Die transformative Kraft der Städte für das Gemeinwohl. Bonn
- BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG (BBSR) (HG.) (2022): Wirkungsanalysen von Smart-City-Projekten. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn
- BUNDESMINISTERIUM DES INNEREN, FÜR BAU UND HEIMAT (BMI) (HG.) (o. J.): Digitale Transformation. https://www.nationale-stadtentwicklungspolitik.de/NSPWeb/DE/Themen/Themenuebersicht/Digitale-Transformation/digitale-transformation_node.html [19.05.2023]
- BUNDESMINISTERIUM DES INNEREN, FÜR BAU UND HEIMAT (BMI) (HG.) (2019): Unser Plan für Deutschland: Gleichwertige Lebensverhältnisse überall. Berlin
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) (HG.) (2019): Natürlich. Digital. Nachhaltig.: Ein Aktionsplan des BMBF. Bonn
- BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR (BMDV) (HG.) (o.J.): Beeinflusst Strahlung unser Wohlbefinden? <https://www.deutschland-spricht-ueber-5g.de/informieren/warum-5g-nicht-gefaehrlich-fuer-uns-ist/beeinflusst-strahlung-unser-wohlbefinden/> [19.05.2023]
- BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR (BMDV) (HG.) (2023): Öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/foerderrichtlinie-ladeinfrastruktur-elektrofahrzeuge.html> [19.05.2023]
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (HG.) (2021): Digitalisierung in der Landwirtschaft: Chancen nutzen – Risiken minimieren. Bonn

- BUNDESMINISTERIUM FÜR FAMILIE, SENIOREN, FRAUEN UND JUGEND (BMFSFJ) (HG.) (2020): Ältere Menschen und Digitalisierung: Erkenntnisse und Empfehlungen des Achten Altersberichts. Berlin
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMUV) (HG.) (2022): Umweltbewusstsein in Deutschland 2020: Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (HG.) (2017a): 5G-Strategie für Deutschland: Eine Offensive für die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für 5G-Netze und Anwendungen. Berlin
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (HG.) (2017b): 5G-Strategie für Deutschland: Eine Offensive für die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für 5G-Netze und -Anwendungen. Berlin
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (HG.) (2019a): Mitnutzungspotenziale kommunaler Trägerinfrastrukturen für den Ausbau der nächsten Mobilfunkgeneration 5G: Eine Handreichung der AG Digitale Netze des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (HG.) (2019b): Mobilfunkstrategie der Bundesregierung. Berlin
- BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN (BNetzA) (HG.) (2021a): Frequenzauktion 2019: Az: BK1-17/001.
<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Breitband/MobilesBreitband/Frequenzauktion/2019/Auktion2019-node.html> [19.05.2023]
- BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN (BNetzA) (HG.) (2021b): Jahresbericht: Unsere Zukunft sicher vorbereiten. Bonn
- BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN (BNetzA) (HG.) (2021c): Jahresbericht 2020: Märkte im digitalen Wandel. Bonn
- BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN (BNetzA) (HG.) (2021d): Teilnehmerentwicklung im Mobilfunk.
<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Marktdaten/Mobilfunkteilnehmer/artikel.html?nn=268232> [19.05.2023]
- BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN (BNetzA) (HG.) (2022a): Aktuelle Lage der Gasversorgung in Deutschland: Lagebericht 29.06.2022.
https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/aktuelle_gasversorgung/start.html [19.05.2023]
- BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN (BNetzA) (HG.) (2022b): Elektro-magnetische Felder (EMF).
<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Vportal/TK/Funktechnik/EMF/start.html> [19.05.2023]
- CHOURABI, H.; NAM, T.; WALKER, S.; GIL-GARCIA, R.; MELLOULI, S.; NAHON, K. et al. (2012): Understanding Smart Cities: An Integrative Framework. In: *2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences*: IEEE, S. 2289–2297
- CISCO SYSTEMS (HG.) (2014): Smart City Readiness: Understand the Issues to Accelerate the Journey. San Jose

- CITY AND COUNTY OF DENVER (HG.) (2019): Small Cell Infrastructure Design Guidelines. Denver
- CITY OF HELSINKI (HG.) (2018): The Helsinki 5G base station design contest. <https://www.openecosystem.org/challenges/helsinki-5g-base-station-design?tab=overview> [19.05.2023]
- CITY OF PITTSBURGH (HG.) (2020): Small Cell Aesthetic Standards. Pittsburgh.
https://apps.pittsburghpa.gov/redtail/images/17211_14034_Small_Cell_Aesthetic_Guidelines_2020_amendment.pdf [19.05.2023]
- COHEN, B. (2015): The 3 Generations Of Smart Cities.
<https://www.fastcompany.com/3047795/the-3-generations-of-smart-cities> [19.05.2023]
- COMMSCOPE (HG.) (2020): 4G/5G Outdoor Small Cell Solutions
- COVELL, B.; LIEBHART, R. (2019): Drivers and Motivation for 5G. In: CHANDRAMOULI, D., LIEBHART, R., PIRSKANEN, J. (HG.): *5G for the Connected World*. Hoboken: Wiley, S. 1–34
- COX, C. (2021): An introduction to 5G. Hoboken: Wiley
- CUCUZZELLA, C.; GOUBRAN, S. (2019): Infrastructure as a Deeply Integrated Sustainable Urban Project. In: *Journal of Sustainability Research*. DOI: [10.20900/jsr20190005](https://doi.org/10.20900/jsr20190005)
- CUGURULLO, F. (2018): The origin of the Smart City imaginary: from the dawn of modernity to the eclipse of reason. In: LINDNER, C., MEISSNER, M. (HG.): *The Routledge Companion to Urban Imaginaries*. Milton: Routledge, S. 113–125
- CURDES, G. (1997): Stadtstruktur und Stadtgestaltung. 2. Auflage. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer
- DAVIS, F. D. (1986): A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems : theory and results. Dissertation. Massachusetts Institut of Technology, Cambridge. Sloan School of Management
- DAVIS, F. D. (1989): Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. In: *MIS Quarterly*, Bd. 13, Heft 3, S. 319–340. DOI: [10.2307/249008](https://doi.org/10.2307/249008)
- DAVIS, F. D.; BAGOZZI, R. P.; WARSHAW, P. R. (1989): User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. In: *Management Science*, Bd. 35, Heft 8, S. 982–1003. DOI: [10.1287/mnsc.35.8.982](https://doi.org/10.1287/mnsc.35.8.982)
- DELHAES, D.; NEUERER, D. (2021): Funklöcher und fehlende Glasfaser: Warum die Digitalstrategie der Regierung hakt.
<https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/bundestagswahl-2021/digitale-infrastruktur-funkloecher-und-fehlende-glasfaser-warum-die-digitalstrategie-der-regierung-hakt/27644900.html?ticket=ST-11887175-7jlseTOmbtRsKlJeyLF-cas01.example.org> [19.05.2023]
- DEUTSCHE TELEKOM AG (HG.) (2018): SmallCells: Kleine Kästchen für großes Datenaufkommen.
<https://www.youtube.com/watch?v=sBTsMFkTTew> [19.05.2023]
- DEUTSCHE TELEKOM AG (HG.) (2022): 5G Small Cells: Neues Leben für alte Telefonsäulen.
<https://www.telekom.com/de/blog/netz/artikel/5g-small-cells-neues-leben-fuer-alte-telefonsaeulen-1023428> [19.05.2023]
- DEUTSCHE TELEKOM TECHNIK GMBH, TELEFÓNICA GERMANY GMBH & Co. OHG, VODAFONE GMBH, DRILLISCH NETZ AG (HG.) (2020): Fortschreibung der Selbstverpflichtung gegenüber der Bundesregierung aus dem Jahr 2001 mit dem Schwerpunkt Kleinzellen

- DEUTSCHER STÄDTETAG (HG.) (2019): Anpassung an den Klimawandel in den Städten: Forderungen, Hinweise und Anregungen. Berlin, Köln
- DIALEGO AG (HG.) (2022): Das OecherPanel. <https://oecherpanel.dialego.de/ueber-das-oecherpanel/> [19.05.2023]
- DRECHSLER, D. (2019): Smart Cities. In: BREYER-MAYLÄNDER, T., ZERRES, C. (HG.): *Stadtmarketing*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 403–428
- EBERT, J.; KEßLER, S.; VOLK, S. Charlotte (2015): Akzeptanz durch Transparenz? In: BENTELE, G., BOHSE, R., HITSCHFELD, U., KREBBER, F. (HG.): *Akzeptanz in der Medien- und Protestgesellschaft*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 41–56
- ELLIS, G.; FERRARO, G. (2016): The social acceptance of wind energy (EUR, Scientific and technical research series, 28182). Luxembourg: Publications Office of the European Union
- ERICSSON (HG.) (2022): Lightpole Site Slim: An innovative small cell solution. <https://www.ericsson.com/en/small-cells/outdoor-coverage/lightpole-site-slim> [19.05.2023]
- ESRI (HG.) (2021a): Buffer (Analysis). <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/analysis/buffer.htm> [19.05.2023]
- ESRI (HG.) (2021b): How Kernel Density works. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm> [19.05.2023]
- EUROPEAN COMMISSION (HG.) (2015): Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF): Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Luxembourg. https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf [19.05.2023]
- EUROPEAN COMMISSION (HG.) (2020a): Commission Implementing Regulation (EU) 2020/1070 of 20 July 2020 (Official Journal of the European Union)
- EUROPEAN COMMISSION (HG.) (2020b): Commission Staff Working Document on a light deployment regime for small-area wireless access points: Accompanying the COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION 1 COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT On a light deployment regime for small-area wireless access points accompanying the Commission implementing regulation specifying the characteristics of small-area wireless access points pursuant to Article 57 paragraph 2 of Directive (EU) 2018/1972 of the European Parliament and the Council of 11 December 2018 establishing the European Electronic Communications Code. Brüssel (SWD, 139)
- EUROPEAN UNION (HG.) (2016): Urban Agenda for the EU: Pact of Amsterdam
- FACHKOMMISSION STÄDTEBAU UND FACHKOMMISSION BAUAUFSICHT DER BAUMINISTERKONFERENZ (HG.) (2020): Hinweise zur baurechtlichen Beurteilung von Mobilfunkanlagen: beschlossen durch die Bauministerkonferenz am 25. September 2020. Weimar
- FAKHIMI, A. Hoshang; KHANI, A. Hossein; SARDROUD, J. Majrouhi (2021): Smart-city infrastructure components. In: VACCA, J. R. (HG.): *Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies*. Amsterdam: Elsevier, S. 17–54
- FASEL, D. (2017): Big Data für Smart Cities. In: *Informatik Spektrum*, Bd. 40, Heft 1, S. 14–24. DOI: [10.1007/s00287-016-1001-6](https://doi.org/10.1007/s00287-016-1001-6)

- FISHBEIN, M.; AJZEN, I. (1975): *Belief, attitude, intention and behavior*. Reading: Addison-Wesley
- FOLKERS, A. (2012): Kritische Infrastruktur. In: MARQUARDT, N., SCHREIBER, V. (Hg.): *Ortsregister*. Bielefeld, Germany: transcript Verlag, S. 154–159
- FORGE, S.; HORVITZ, R.; BLACKMAN, C.; BOHLIN, E. (2019): *Light Deployment Regime for Small-Area Wireless Access Points (SAWAPs)*. Luxembourg: Publications Office of the European Union
- FREI, P.; POULSEN, A. H.; JOHANSEN, C.; OLSEN, J. H.; STEDING-JESSEN, M.; SCHÜZ, J. (2011): Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. In: *BMJ (Clinical research ed.)*
- FRIEDRICH, B.; HOFFMANN, S.; KUTZNER, R.; POHLMANN, T.; BARTELS, S. (2008): *Leitfaden Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen*. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen
- GAFFNEY, C.; ROBERTSON, C. (2016): Smarter than Smart: Rio de Janeiro's Flawed Emergence as a Smart City. In: *Journal of Urban Technology*, Bd. 25, Heft 3, S. 47–64. DOI: [10.1080/10630732.2015.1102423](https://doi.org/10.1080/10630732.2015.1102423)
- GAILING, L.; RÖHRING, A. (2015): Was ist dezentral an der Energiewende? Infrastrukturen erneuerbarer Energien als Herausforderungen und Chancen für ländliche Räume. In: *Raumforschung und Raumordnung*, Bd. 73, Heft 1, S. 31–43. DOI: [10.1007/s13147-014-0322-7](https://doi.org/10.1007/s13147-014-0322-7)
- GHONEIM, M.; HAMED, S. M. (2019): Towards a Smart Sustainable City: Air Pollution Detection and Control using Internet of Things. In: *2019 5th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)*: IEEE, S. 1–6
- GIDDENS, A. (1976): *New rules of sociological method*. London: Hutchinson
- GOHAR, A.; NENCIONI, G. (2021): The Role of 5G Technologies in a Smart City: The Case for Intelligent Transportation System. In: *Sustainability*, Bd. 13, S. 1–24. DOI: [10.3390/su13095188](https://doi.org/10.3390/su13095188)
- GORYNSKI, B.; MIKOLAJCZK, P. (2019): *Smart City / Smart Region: Handlungsleitfaden für Praktiker*innen*. Hg. v. bee smart city GmbH. Mülheim an der Ruhr
- GORYNSKI, B.; MÜLLER, T.; GELSIN, A. (2021): Beschleunigt die Corona-Pandemie den Weg zu intelligenteren Städten? In: JUST, T., PLÖBL, F. (Hg.): *Die Europäische Stadt nach Corona*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 165–183
- GOSSEN, M.; ROHDE, F.; SANTARIUS, T. (2021): A Marriage Story of Digitalisation and Sustainability? In: *Ökologisches Wirtschaften*, Bd. 36, Heft 01, S. 4–8
- GRAFE, R. (2018): *Umweltwissenschaften für Umweltinformatiker, Umweltingenieure und Stadtplaner*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg
- GRAHAM, S.; MARVIN, S. (2008): Splintering Urbanism. In: MOSS, T. (Hg.): *Infrastrukturnetze und Raumentwicklung* (Ergebnisse sozial-ökologischer Forschung, 10). München: Oekom-Verl., S. 37–62
- GRASSL, G. C.; GROß, P. (2018): Die Smart City. In: BOTT, H., GRASSL, G. C., ANDERS, S. (Hg.): *Nachhaltige Stadtplanung*. 2. Auflage. München: Detail Business Information GmbH, S. 25–31
- GRAY-O'CONNOR, J. (2009): Solutions in Search of Problems: The construction of urban inequality in “smart growth” discourse. In: *Berkeley Journal of Sociology*, Heft 53, S. 89–123

- GREEN CITY SOLUTIONS GMBH (HG.) (2021): Executive Booklet: CityTree. Bestensee.
https://greencitysolutions.de/wp-content/uploads/2021/10/ExecutiveBooklet_Das-ist-der-CityTree.pdf [19.05.2023]
- GROTEPASS, J.; EICHINGER, J.; VOIGTLÄNDER, F. (2019): Mit 5G zu neuen Potentialen in Produktion und Logistik. In: HOMPEL, M. TEN, VOGEL-HEUSER, B., BAUERNHANS, T. (HG.): *Handbuch Industrie 4.0* (Springer Reference Technik). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–35
- GRÜTTER, J. K. (2019): Grundlagen der Architektur-Wahrnehmung. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg
- HALCOMB, E. J.; DAVIDSON, P. M. (2006): Is verbatim transcription of interview data always necessary? In: *Applied nursing research : ANR, Bd. 19*, Heft 1, S. 38–42. DOI: [10.1016/j.apnr.2005.06.001](https://doi.org/10.1016/j.apnr.2005.06.001)
- HANSESTADT LÜBECK (HG.) (2020): Digitale Strategie: Rahmenkonzept der Hansestadt Lübeck. Lübeck
- HARNISCHFEGGER, M.; KOLO, C.; ZOCH, P. (1999): Elemente eines Akzeptanzmodells. In: SZYPERSKI, N. (HG.): *Perspektiven der Medienwirtschaft*. Lohmar: Josef Eul Verlag
- HAUCK, T.; KLEINEKORT, V. (2011): Infrastructural urbanism. In: Hauck, Thomas; Keller, Regine; Kleinekort, Volker (eds.): *Infrastructural urbanism*. Berlin: DOM publishers, S. 9–17
- HELD, T.; WALTERSBACHER, M. (2015): Wohnungsmarktprognose 2030. In: *BBSR-Analysen Kompakt, Bd. 2015*, Heft 07
- HEMPEL, L.; TÖPFER, E. (2004): CCTV in Europe: Final report. Berlin (Working Paper, 15)
- HENNEN, L. (1997): Monitoring "Technikakzeptanz und Kontroversen über Technik": Ambivalenz und Widersprüche: Die Einstellung der deutschen Bevölkerung zur Technik. Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage des TAB. Hg. v. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Bonn
- HENNERMANN, K.; WOLTERING, M. (2014): Kartographie und GIS. 2. Auflage. Darmstadt: WBG
- HENSELER-UNGER, I. (2018): Ausbau im Spannungsfeld von privatwirtschaftlicher Initiative und politischen Zielen. In: *ifo Schnelldienst, Bd. 2018*, Heft 7, S. 15–18
- HERWEIJER, C.; COMBES, B.; RAMCHANDANI, P.; SIDHU, J. (2018): Harnessing Artificial Intelligence for the Earth: Fourth Industrial Revolution for the Earth Series. Hg. v. World Economic Forum. Cologny/Geneva
- HIRST, P. Q. (2005): Space and power. Cambridge: Polity
- HOLLANDS, R. G. (2008): Will the real smart city please stand up? In: *City, Bd. 12*, Heft 3, S. 303–320. DOI: [10.1080/13604810802479126](https://doi.org/10.1080/13604810802479126)
- HORBOSTEL, L.; NERGER, M.; TILLACK, D.; WITTPAHL, V.; HANDSCHUH, A.; SALDEN, J. (2019): Zukunftsradar Digitale Kommune: Ergebnisbericht zur Umfrage 2019. Berlin
- HÜSING, B.; BIERHALS, R.; BÜHRLIN, B.; FRIEDEWALD, M.; KIMPELER, S.; MENRAD, K. et al. (2002): Technikakzeptanz und Nachfragemuster als Standortvorteil: Abschlussbericht. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung. Karlsruhe
- HWANG, J. Seon; LEE, H. Joo (2016): A review of diffusion for the smart devices based on technology acceptance model. In: *ICIC International, Bd. 7*, Heft 11, S. 1–9

- IDC GOVERNMENT INSIGHTS (HG.) (2016): Building the Future: New ICT Enables Smart City. Alexandria
- IDTECHEx (HG.) (2021): 5G Small Cells 2021-2031: Technologies, Markets, Forecast. <https://www.idtechex.com/en/research-report/5g-small-cells-2021-2031-technologies-markets-forecast/825> [19.05.2023]
- INSTITUT DER DEUTSCHEN WIRTSCHAFT KÖLN (HG.) (2021): Digitalisierung als Enabler für Ressourceneffizienz in Unternehmen: IW-Gutachten. Köln
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU) (HG.) (2017): Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s): Report ITU-R M.2410-0. Genf
- ISHIDA, T.; ISBISTER, K. (HG.) (2000): Digital cities. Berlin: Springer
- ITTELSON, W. H.; PROSHANSKY, H. M.; RIVLIN, L. G.; WINKEL, G. H.; DEMPSEY, D. (1977): Einführung in die Umweltpsychologie. 1. Auflage. Stuttgart: Klett-Cotta
- JACOB, R.; HEINZ, A.; DÉCIEUX, J. P. (2019): Umfrage. 4. Auflage. Berlin: De Gruyter
- JAKOBS, E.-M. (2019): Technikakzeptanz und -kommunikation – ein vielschichtiges Konstrukt. In: FRAUNE, C., KNODT, M., GÖLZ, S., LANGER, K. (HG.): *Akzeptanz und politische Partizipation in der Energietransformation* (Energietransformation). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 301–321
- JETZKE, T.; RICHTER, S.; FERDINAND, J.-P.; SCHAAT, S. (2019): Künstliche Intelligenz im Umweltbereich: Anwendungsbeispiele und Zukunftsperspektiven im Sinne der Nachhaltigkeit. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau
- JOHANSSON, M.; LAIKE, T. (2007): Intention to respond to local wind turbines: the role of attitudes and visual perception. In: *Wind Energy*, Bd. 10, Heft 5, S. 435–451. DOI: [10.1002/we.232](https://doi.org/10.1002/we.232)
- JUST, T.; PLÖBL, F. (2021): Herausforderungen für europäische Städte nach der Corona-Pandemie. In: JUST, T., PLÖBL, F. (HG.): *Die Europäische Stadt nach Corona*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 3–24
- KAIKA, M.; SWYNGEDOUW, E. (2000): Fetishizing the modern city: the phantasmagoria of urban technological networks. In: *International Journal of Urban and Regional Research*, Bd. 24, Heft 1, S. 120–138. DOI: [10.1111/1468-2427.00239](https://doi.org/10.1111/1468-2427.00239)
- KAISER, P. (2021): ArcGIS Pro. 2. Auflage. Berlin: Wichmann
- KAMLEITHNER, C. (2013): Neue Mischungsverhältnisse. In: BREDELLA, N. (HG.): *Infrastrukturen des Urbanen* (Urbane Welten Texte zur kulturwissenschaftlichen Stadtforschung, 4). Bielefeld: transcript, S. 253–273
- KAPOR, S. (2019): LPWAN – Geeignete Connectivity für IoT? https://m2m.telefonica.de/wp-content/uploads/2019/12/Telefonica_IoT-LPWAN-Whitepaper_Srdan_Kapor.pdf [19.05.2023]
- KINDSMÜLLER, A. (2021): Die Pandemie verschiebt die Dringlichkeiten in der Infrastrukturpolitik. In: *CIW Discussion Paper*, Bd. 2021, Heft 2
- KNORR CETINA, K. (1981): The Manufacture of Knowledge. Oxford: Pergamon Press
- KOCH, F. (2021): Akteure und ihre Beiträge zur großen Transformation in ausgewählten Handlungsfeldern. Kommunale Smart-City-Ansätze als Treiber nachhaltiger urbaner Transformationen? In: HOFMEISTER, S., WARNER, B., OTT, Z. (HG.): *Nachhaltige Raumentwicklung für die große Transformation* (Forschungsberichte der ARL, 15).

- Hannover: ARL - Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft, S. 153–162
- KOFFKA, K. (1935): *Principles of Gestalt Psychology*. New York: Harcourt, Brace
- KOLLMANN, T. (1998): *Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme*. Wiesbaden: Gabler Verlag
- KOMNINOS, N. (2006): The architecture of intelligent cities: integrating human, collective and artificial intelligence to enhance knowledge and innovation. In: *2nd IET International Conference on Intelligent Environments (IE 06)*: IEE, 13-20
- KÖRBER STIFTUNG (HG.) (2021): *Smart Ageing: Technologien für die altersfreundliche Stadt*. Hamburg (Spotlight Demografie, 6)
- KRCMAR, H. (2018): Charakteristika digitaler Transformation. In: OSWALD, G., KRCMAR, H. (HG.): *Digitale Transformation (Research)*. Wiesbaden, Germany: Springer Gabler, S. 5–10
- KREMPEL, E. Ludwig (2017): *Steigerung der Akzeptanz von intelligenter Videoüberwachung in öffentlichen Räumen*. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
- KRÖDEL, M. (2021): *Elektroautos: Ladestationen richtig planen: Wie man für Elektroautos Ladestationen plant, welche Stecker es gibt, welche Leistung wo sinnvoll ist und was bald Gesetz wird*. Hg. v. Deutsches Architektenblatt. <https://www.dabonline.de/2020/03/19/elektroautos-ladestationen-richtig-planen-ratgeber-leitfaden-planung-erobertaet/> [12.01.2022]
- KROMREY, H. (1995): *Empirische Sozialforschung (UTB für Wissenschaft Uni-Taschenbücher Sozialwissenschaften, 1040)*. 7. Auflage. Opladen: Leske + Budrich
- KRUSE, J. (2015): *Qualitative Interviewforschung*. 2. Auflage. Weinheim, Basel, München: Beltz Juventa; Ciando
- KUCKARTZ, U. (2018): *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. 4. Auflage. Weinheim: Beltz
- KÜFFMANN, K. (2020): *Smart Cities: Städte nachhaltig, ökologisch und wirtschaftlich attraktiv gestalten: Vorgehen und wesentliche Strukturelemente zur Entwicklung einer intelligenten und lernenden Stadt*. Gelsenkirchen
- LANDESHAUPTSTADT DRESDEN (HG.) (2013): *Dresdner Standard: Gestaltungshandbuch öffentlicher Raum*. Dresden
- Landeshauptstadt Düsseldorf (07.10.2021): *Deutschlands erste 5G-Litfaßsäule steht in Düsseldorf*. <https://www.duesseldorf.de/medienportal/pressedienst-einzelansicht/pld/deutschlands-erste-5g-litfasssaule-steht-in-duesseldorf.html> [19.05.2023]
- LATOUR, B.; WOOLGAR, S. (1986): *Laboratory Life*. Princeton: Princeton University Press
- LAUFF, H.; WACHENFELD, A. (2014): *Differenzierte Betrachtung der Nutzung und der Wahrnehmung des Mobilfunks: Vorhaben FM8854*. Hg. v. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Salzgitter (Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz, 88/14)
- LAUZI, M. (2019): *Smart City*. München: Hanser
- LEE, S. Ho; HAN, J. Hoon; LEEM, Y. Taik; YIGITCANLAR, T. (2008): Towards ubiquitous city. In: YIGITCANLAR, T., VELIBEYOGLU, K., BAUM, S. (HG.): *Knowledge-Based Urban Development*. Hershey: IGI Global, S. 148–170

- LEE, Y.; KOZAR, K. A.; LARSEN, K. R.T. (2003): The Technology Acceptance Model: Past, Present, and Future. In: *Communications of the Association for Information Systems*, Bd. 12, S. 752–780. DOI: [10.17705/1CAIS.01250](https://doi.org/10.17705/1CAIS.01250)
- LEIBNIZ-INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG (ifo Institut) (2022): Noch nie fehlte so viel Material auf dem Bau: Pressemitteilung - 10. Juni 2022. München. <https://www.ifo.de/node/69812>
- LEIDINGER, C.; SEELMANN, V.; MAASEM, C. (2019): 5G -Evolution oder Revolution. Hg. v. Volker STICH UND Christian MAASEM. Center Connected Industry. Aachen
- LIBBE, J. (2014): Smart City: Herausforderung für die Stadtentwicklung. In: *Difu-Berichte*, Heft 2, S. 2–3
- LIBBE, J. (2018): Smart City. In: RINK, D., HAASE, A. (Hg.): *Handbuch Stadtkonzepte*. Opladen, Toronto: Verlag Barbara Budrich, S. 429–450
- LIU, C.; LI, M.; HANLY, S. V.; WHITING, P.; COLLINGS, I. B. (2018): Millimeter-Wave Small Cells: Base Station Discovery, Beam Alignment, and System Design Challenges. In: *IEEE Wireless Communications*, Bd. 25, Heft 4, S. 40–46. DOI: [10.1109/MWC.2018.1700392](https://doi.org/10.1109/MWC.2018.1700392)
- LUCKE, D. (1995): Akzeptanz. Opladen: Leske + Budrich
- LYNCH, K. (2013): Das Bild der Stadt (Bauwelt Fundamente, 16). 7. Auflage. Gütersloh, Berlin, Basel: Bauverlag; Birkhäuser
- MACRORIE, R.; MARVIN, S. (2019): Bifurcated urban integration: The selective dis- and re-assembly of infrastructures. In: *Urban Studies*, Bd. 56, Heft 11, S. 2207–2224. DOI: [10.1177/0042098018812728](https://doi.org/10.1177/0042098018812728)
- MAGNAGO LAMPUGNANI, V. (2020a): Bedeutsame Belanglosigkeiten. In: DOMHARDT, K. SYLVA, HANISCH, R., KAHLFELDT, P., SCHÜTZEICHEL, R., SONNE, W. (Hg.): *StadtRaumDetail* (Bücher zur Stadtbaukunst). Berlin: DOM publishers, S. 15–25
- MAGNAGO LAMPUGNANI, V. (2020b): Bedeutsame Belanglosigkeiten. 2. Auflage. Berlin: Verlag Klaus Wagenbach
- MANDERSCHIED, K. (2021): Selbstfahrende Wende oder automobile Kontinuität? Überlegungen zu Technologie, Innovation und sozialem Wandel. In: MITTEREGGER, M., BRUCK, E. M., SOTEROPOULOS, A., STICKLER, A., BERGER, M., DANGSCHAT, J. S., SCHEUVENS, R., BANERJEE, I. (Hg.): *AVENUE21. Politische und planerische Aspekte der automatisierten Mobilität*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 27–40
- MARETZKE, S.; HOYMAN, J.; SCHLÖMER, C.; STELZER, A. (2021): Raumordnungsprognose 2040. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Bonn (BBSR-Analysen KOMPAKT, 03/2021)
- MATERN, A. (2017): Reproduktionen städtischer Räume durch (technische) Infrastrukturen. In: FLITNER, M., LOSSAU, J., MÜLLER, A.-L. (Hg.): *Infrastrukturen der Stadt*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 23–43
- MATT, D. Tobias; SPATH, D.; BRAUN, S.; SCHLUND, S.; KRAUSE, D. (2014): Morgenstadt – Urban Production in the City of the Future. In: ZAEH, M. F. (Hg.): *Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability*. Cham: Springer International Publishing, S. 13–16

- MAYER, H. O. (2013): Interview und schriftliche Befragung. 6. Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag
- MAYRING, P. (2015): Qualitative Inhaltsanalyse. 12. Auflage. Weinheim: Beltz
- MEINE, N.; GROTE, F. (2020): How design based on Makrolon® will help to integrate 5G in Urban Areas. Bosch Connected World. Berlin, 20.02.2020
- MERKEL, A. (2021): Rede von Bundeskanzlerin Merkel zum 50. Jubiläum von Greenpeace International am 30. August 2021. Stralsund, 30.08.2021
- MEUSER, M.; NAGEL, U. (1991): ExpertInneninterviews - vielfach erprobt, wenig bedacht. In: GARZ, D., KRAIMER, K. (HG.): *Qualitativ-empirische Sozialforschung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 441–471
- MIEG, H. A.; NÄF, M. (2005): Experteninterviews. Zürich: ETH Zurich
- MILLER, B. (2020): New Screen Hides 5G Cells Without Blocking Signal.
<https://www.govtech.com/biz/company-new-screen-hides-5g-cells-without-blocking-signal.html> [19.05.2023]
- Ministeriums für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie (MWIKE) (21.12.2022): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen an Kreise und kreisfreie Städte zur Förderung von Mobilfunkkoordinatorinnen und Mobilfunkkoordinatoren für den flächendeckenden Ausbau von Mobilfunknetzen. In: Ministerialblatt NRW (42), S. 985–1018.
https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_vbl_detail_text?anw_nr=7&vd_id=20768&ver=8&val=20768&sg=0&menu=0&vd_back=N [19.05.2023]
- MISOCH, S. (2019): Qualitative Interviews. 2. Auflage. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg
- MITTEREGGER, Mathias; BRUCK, Emilia M.; SOTEROPOULOS, Aggelos; STICKLER, Andrea; BERGER, Martin; DANGSCHAT, Jens S.; SCHEUVENS, Rudolf; BANERJEE, Ian (HG.) (2021): AVENUE21. Politische und planerische Aspekte der automatisierten Mobilität. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg
- MOLES, A. A. (1958): Informationstheorie und ästhetische Wahrnehmung. Köln: DuMont Schauberg
- MOLES, A. A. (1971): Informationstheorie und ästhetische Wahrnehmung. Köln: DuMont Schauberg
- MONSTADT, J. (2009): Conceptualizing the Political Ecology of Urban Infrastructures: Insights from Technology and Urban Studies. In: *Environment and Planning A: Economy and Space*, Bd. 41, Heft 8, S. 1924–1942. DOI: [10.1068/a4145](https://doi.org/10.1068/a4145)
- MOORE, W. L. (1982): Concept testing. In: *Journal of Business Research*, Bd. 10, Heft 3, S. 279–294. DOI: [10.1016/0148-2963\(82\)90034-0](https://doi.org/10.1016/0148-2963(82)90034-0)
- MOSANNENZADEH, F.; BISELLO, A.; VACCARO, R.; D'ALONZO, V.; HUNTER, G. Wayne; VETTORATO, D. (2017): Smart energy city development: A story told by urban planners. In: *Cities*, Bd. 64, S. 54–65. DOI: [10.1016/j.cities.2017.02.001](https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.02.001)
- MÜHL, C.; BUSCH, H.-C.; FROMHOLD-EISEBITH, m.; FUCHS, M. (2019): Urbane Produktion: Dynamisierung stadtreionaler Arbeitsmärkte durch Digitalisierung und Industrie 4.0? Hg. v. Forschungsinstitut für gesellschaftliche Weiterentwicklung e.V. Düsseldorf (FGW-Studie Digitalisierung von Arbeit, 14)

- MÜLLER, A.-L. (2017): Infrastrukturen als Akteure. Die Materialität urbaner Infrastrukturen und ihre Bedeutung für das Soziale. In: FLITNER, M., LOSSAU, J., MÜLLER, A.-L. (HG.): *Infrastrukturen der Stadt*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 125–141
- MÜLLER, A.-L.; LOSSAU, J.; FLITNER, M. (2017): Infrastruktur, Stadt und Gesellschaft. Eine Einleitung. In: FLITNER, M., LOSSAU, J., MÜLLER, A.-L. (HG.): *Infrastrukturen der Stadt*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 1–19
- MÜLLER-BÖLING, D.; MÜLLER, M. (1986): Akzeptanzfaktoren der Bürokommunikation (Fachberichte und Referate, 17). München: Oldenbourg
- NELSON, H. G.; STOLTERMAN, E. (2003): *The design way*. Englewood Cliffs, New Jersey: Educational Technology Publications
- OBERMANN, R.; WEIß, M. (2016): Digitale Infrastruktur als Basis für einen optimalen Informationsfluss. In: BÄR, C., FISCHER, A. T., GULDEN, H. (HG.): *Informationstechnologien als Wegbereiter für den steuerberatenden Berufsstand*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 163–177
- PAHL-WEBER, E.; SCHWARTZE, F. (2018): Stadtplanung. In: *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, S. 2509–2520
- PALMER, M.; GIBBONS, R. (2021): Smart lighting for smart cities. In: VACCA, J. R. (HG.): *Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies*. Amsterdam: Elsevier, S. 485–499
- PARKS, L. (2007): Around the Antenna Tree: The Politics of Infrastructural Visibility. In: Sorensen, Vibeke; Yamaguchi, Lina (eds.): *ACM SIGGRAPH 2007 art gallery*. New York, NY: ACM, S. 345–347
- PETERSEN, T.; RAUSCH, T. (2021): Klimawandel abbremmen. Gütersloh (Megatrend-Report, 3)
- PFAFFENBACH, C. (2011): Methoden qualitativer Feldforschung in der Geographie. In: GEBHARDT, H., GLASER, R., Radtke, Ulrich; Reuber, Paul (Hg.): *Geographie*. 2. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl., S. 157–175
- QUIRING, O. (2006): Methodische Aspekte der Akzeptanzforschung bei interaktiven Medientechnologien. München (Münchner Beiträge zur Kommunikationswissenschaft, 6)
- QUOSS, F.; RUDOLPH, L.; GOMM, S.; WÄGER, P.; BRUKER, J.; WALDER, C. et al. (2021): Schweizer Umweltpanel. Fünfte Erhebungswelle: 5G: Befragungszeitraum: Mai – Juli 2020. Zürich
- RAO, S. K.; PRASAD, R. (2018): Impact of 5G Technologies on Smart City Implementation. In: *Wireless Personal Communications, Bd. 100, Heft 1*, S. 161–176. DOI: [10.1007/s11277-018-5618-4](https://doi.org/10.1007/s11277-018-5618-4)
- RAYCAP (HG.) (2022): Small Cell Concealment: Product Guide North America. https://www.raycap.com/wp-content/uploads/2021/01/Small-Cell-Concealments-Product-Guide-G09-00-123-v7_sp_web.pdf [19.05.2023]
- REICHER, C. (2017): Städtebauliches Entwerfen. 5. Auflage. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg
- RENN, O. (2005): Technikakzeptanz. In: *Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis, Bd. 14, Heft 3*, S. 29–38

- RENN, O. (2007): Wie aufgeschlossen sind die Deutschen gegenüber der Technik?: Ergebnisse der Akzeptanz- und Modernisierungsforschung. In: Universität Stuttgart (Hg.): *Themenheft Forschung. Kultur und Technik*. Stuttgart (04/2007), S. 24–32
- RENN, O.; ZWICK, M. M. (1997): Risiko- und Technikakzeptanz. Berlin: Springer
- REUBER, P.; GEBHARDT, H. (2011): Wissenschaftliches Arbeiten in der Geographie. In: GEBHARDT, H., GLASER, R., Radtke, Ulrich: Reuber, Paul (Hg.): *Geographie*. 2. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl., S. 89–101
- REUBER, P.; PFAFFENBACH, C. (2005): Methoden der empirischen Humangeographie. 1. Auflage. Braunschweig: Westermann
- ROCHET, C. (2018): Smart cities. Hoboken, NJ, London, UK: John Wiley & Sons Inc
- RÖCKER, C. (2010): Why Traditional Technology Acceptance Models Won't Work With Future Information Technologies: *Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems (ICIS'10)*: Zenodo, S. 490–496
- ROHWEDDER, W. (2020): Ist 5G gefährlich?: Neue Mobilfunktechnik.
<https://www.tagesschau.de/inland/5g-gefahren-115.html> [18.07.2021]
- RUDEZ, Z. (1988): Stadtraum. Köln: Deutscher Gemeindeverlag und Verlag W. Kohlhammer
- RYDIN, Y. (2021): Theory in planning research (Planning, Environment, Cities Series). Singapore: Springer Singapore Pte. Limited
- SAAMAN, W. (2017): Leistungskultur im Fokus der digitalen Transformation (Essentials). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden
- SAGHEZCHI, F.; RODRIGUEZ, J.; MUMTAZ, S.; RADWAN, A.; LEE, W.; AI, B. et al. (2015): Drivers for 5G. In: Rodriguez, Jonathan (ed.): *Fundamentals of 5G mobile networks*. West Sussex: Wiley, S. 1–28
- SALT LAKE CITY (HG.) (2018): Small Cell Infrastructure Design Standards. Salt Lake City
- SCHEBEK, L.; KANNENGIEßER, J.; CAMPITELLI, A.; FISCHER, J.; ABELE, E.; BAUERDICK, C. et al. (2017): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0: Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. Berlin
- SCHMIDT, J. A.; HELLALI-MILANI, S. (2016): Herausforderung für die Stadtplanung: Mobilität findet Stadt – Neue intermodale urbane Mobilität mit neuen Nutzer- und Nutzungsansprüchen. In: PROFF, H., BRAND, M., MEHNERT, K., SCHMIDT, J. ALEXANDER, SCHRAMM, D. (HG.): *Elektrofahrzeuge für die Städte von morgen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 19–25
- SCHMIDT, M.; MONSTADT, J. (2018): Infrastruktur. In: *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*. Hannover, S. 975–988
- SCHUMANN, S. (2018): Repräsentative Umfrage. Berlin: De Gruyter Oldenbourg
- SCHUSTER, M.; BEISL, H. (1978): Kunstpsychologie. Köln: DuMont
- SCHWEIZER-RIES, P.; RAU, I.; HILDEBRAND, J. (2012): Akzeptanz- und Partizipationsforschung zu Energienachhaltigkeit. In: *FVEE-Themen. Transformationsforschung für ein nachhaltiges Energiesystem.*, S. 138–144
- SCHWEIZER-RIES, P.; RAU, I.; KEPPLER, D. (2010): „Aktivität und Teilhabe – Akzeptanz Erneuerbarer Energien durch Beteiligung steigern“: Projektabschlussbericht. Magdeburg

- SENATSVRWALTUNG FÜR WIRTSCHAFT, ENERGIE UND BETRIEBE (2021a): staBAK: stadtbildkompatible Berliner Aufbauvariante Kleinzelle. Video. <https://www.youtube.com/watch?v=PQ8QFF2BAWQ> [19.05.2023]
- SENATSVRWALTUNG FÜR WIRTSCHAFT, ENERGIE UND BETRIEBE (HG.) (2021b): Wirtschafts- und Innovationsbericht: Berlin 2020/2021. Berlin
- SHAIK, N.; MALIK, P. Kumar (2021): A comprehensive survey 5G wireless communication systems: open issues, research challenges, channel estimation, multi carrier modulation and 5G applications. In: *Multimedia Tools and Applications*, Bd. 80, Heft 19, S. 28789–28827. DOI: [10.1007/s11042-021-11128-z](https://doi.org/10.1007/s11042-021-11128-z)
- SIEMENS AG (HG.) (2016): SmartStart: Finanzierungsmodell für privat finanzierte SmartStart-Initiative der Städte. München
- SILVERMAN, R. M.; PATTERSON, K. L. (2021): Qualitative Research Methods for Community Development. New York: Routledge
- SIMON, B. (2001): Wissensmedien im Bildungssektor. Dissertation. Wirtschaftsuniversität Wien, Wien
- SMALL CELL FORUM (HG.) (2017): Small cells market status report - December 2017: Document 050.10.01
- SMALL CELL FORUM (HG.) (2018): Small cell siting challenges and recommendations: 195.10.01. <https://assets.bouldercounty.gov/wp-content/uploads/2019/10/dc-19-0001-joint-study-session-telecommunications-20191015-small-cell-siting-challenges-recommendations.pdf> [19.05.2023]
- SMALL CELL FORUM (HG.) (2020): 5G small cell architecture and product definitions: Configurations and Specifications for companies deploying small cells 2020-2025. Document 238.10.01
- SMALL CELL FORUM (HG.) (2021): SCF market forecast July: Document 050.10.5
- SOIKE, R. (2019): Rahmenbedingungen beim Mobilfunkinfrastrukturausbau: Beteiligungsprozesse, Bestimmungen und aktuelle Entwicklungen. Difu-Sonderveröffentlichung. Berlin
- SOIKE, R.; LIBBE, J. (2018): Smart Cities in Deutschland – eine Bestandsaufnahme. Hg. v. Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin
- SOIKE, R.; LIBBE, J.; KONIECZEK-WOGER, M.; PLATE, E. (2019): Räumliche Dimensionen der Digitalisierung. Handlungsbedarfe für die Stadtentwicklungsplanung: Ein Thesenpapier. Hg. v. Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin.
- STADLER, M.; SEEGER, F.; RAEITHEL, A. (1975): Psychologie der Wahrnehmung. München: Juventa-Verl.
- STADT AACHEN (HG.) (2013): Gestaltungshandbuch Innenstadt Aachen: Innenstadt Aachen und öffentlicher Raum. Fachbereich Stadtentwicklung und Verkehrsanlagen. Aachen
- STADT AACHEN (HG.) (2020): Statistisches Jahrbuch 2017: Bevölkerungszahlen, Arbeitsmarktdaten u.v.m. Aachen
- STADT KÖLN (HG.) (2018): Gestaltungshandbuch: Gesamtstrategie für den öffentlichen Raum der Stadt Köln. Köln
- STADT PFORZHEIM (HG.) (2022): Smart-City-Strategie Stadt Pforzheim: Pforzheim. Gemeinsam. Smart. Pforzheim

- STADT RAVENSBURG (HG.) (2019): Strategie digital@RV. Ravensburg
- STADT WOLFSBURG (HG.) (2021): Smart City Strategie: Leitlinien | Handlungsfelder | Strategische Ziele | Projekte für die Umsetzung. Wolfsburg
- STAR, S. L. (1999): The Ethnography of Infrastructure. In: *American Behavioral Scientist*, Bd. 43, Heft 3, S. 377–391. DOI: [10.1177/00027649921955326](https://doi.org/10.1177/00027649921955326)
- STEINMEIER, F.-W. (2019): Rede von Bundespräsident Dr. Frank-Walter Steinmeier: beim Gartenfest „Land in Sicht“ – Begegnung mit Vertretern der beruflichen Bildung und aus ländlichen Räumen. Berlin, 18.06.2019
- STIFTUNG WISSENSCHAFT UND POLITIK (SWP) (HG.) (o. J.): Herausforderung Klimawandel. <https://www.swp-berlin.org/themen/dossiers/klimapolitik> [19.05.2023]
- STIMMANN, H. (2020): Stadt(Straßen)RaumDetail. In: DOMHARDT, K. SYLVA, HANISCH, R., KAHLFELDT, P., SCHÜTZEICHEL, R., SONNE, W. (HG.): *StadtRaumDetail* (Bücher zur Stadtbaukunst). Berlin: DOM publishers, S. 126–131
- STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (HG.) (2011): Biologische Auswirkungen des Mobilfunks: Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Gesamtschau. http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2011/2011_10.pdf%3F__blob%3DpublicationFile [19.05.2023]
- STÜBBEN, J. (1890): Der Städtebau (Handbuch der Architektur, vierter Teil). 1. Auflage. Braunschweig: Vieweg & Sohn
- STÜBBEN, J. (1907): Der Städtebau (Handbuch der Architektur, vierter Teil). 2. Auflage. Stuttgart: Alfred Kröner Verlag
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN (HG.) (2019): 5G Smart City. <https://www.architektur.uni-kl.de/dtc/2019/02/06/5g-smart-city/> [19.05.2023]
- TELEKOM DEUTSCHLAND GMBH (HG.) (2019a): Anlage zum Rahmenvertrag. Ausführungsvarianten für Small Cells in der Stadt XYZ. Bonn
- TELEKOM DEUTSCHLAND GMBH (HG.) (2019b): Rahmenvertrag zur Errichtung und zum Betrieb von Funkanlagen auf bzw. an Kommunalen Trägerinfrastruktur. Bonn
- TELEKOM DEUTSCHLAND GMBH (HG.) (2019c): Rahmenvertrag zur Errichtung und zum Betrieb von Funkanlagen auf bzw. an Kommunalen Trägerinfrastruktur. Bonn
- THIERBACH, C. (2021): Zum Einsatz von Leitfadeninterviews in der Raumforschung. In: HEINRICH, A. JULIANE, MARGUIN, S., MILLION, A., STOLLMANN, J. (HG.): *Handbuch qualitative und visuelle Methoden der Raumforschung*. Bielefeld: transcript Verlag, S. 183–194
- TRIEB, M. (1974): Stadtgestaltung (Bauwelt Fundamente, 43). Düsseldorf: Bertelsmann Fachverlag
- TUBBESING, M. (2018): Der Wettbewerb Gross-Berlin 1910. Tübingen: Ernst Wasmuth Verlag GmbH & Co
- TUBBESING, M. (2020): Städtebau und Detail. In: DOMHARDT, K. SYLVA, HANISCH, R., KAHLFELDT, P., SCHÜTZEICHEL, R., SONNE, W. (HG.): *StadtRaumDetail* (Bücher zur Stadtbaukunst). Berlin: DOM publishers, S. 134–143
- UMWELTBUNDESAMT (HG.) (2022a): Emissionen des Verkehrs. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#pkw-fahren-heute-klima-und-umweltvertraglicher> [19.05.2023]

- UMWELTBUNDESAMT (HG.) (2022b): Siedlungs- und Verkehrsfläche.
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche#anhaltender-flachenverbrauch-fur-siedlungs-und-verkehrszwecke-> [19.05.2023]
- UNITED NATIONS (HG.) (2017): New urban agenda
- UNITED NATIONS (HG.) (2019): World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. Department of Economic and Social Affairs. New York
- VAN LAAK, D. (2005): Der Staudamm. In: GEISTHÖVEL, A. (HG.): *Orte der Moderne*. Frankfurt/Main: Campus-Verl., S. 193–203
- VAN LAAK, D. (2017): Vom Lebensraum zum Leitungsweg. Die Stadtstraße als soziale Arena. In: FLITNER, M., LOSSAU, J., MÜLLER, A.-L. (HG.): *Infrastrukturen der Stadt*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 145–162
- VAN STADEN, R. (2014): Klimawandel: Was er für Städte bedeutet: Kernergebnisse aus dem Fünften Sachstandsbericht des IPCC
- VENKATESH, V.; MORRIS, M. G.; DAVIS, G. B. (2003): User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. In: *MIS Quarterly*, Bd. 27, Heft 3, S. 425–478. DOI: [10.2307/30036540](https://doi.org/10.2307/30036540)
- VOIT, R. (2014): New trees. Göttingen: Steidl
- WEISS, R. S. (1968): Issues in Holistic Research. In: BECKER, H. S., GEER, B., RIESMAN, D., WEISS, R. S. (HG.): *Institutions and the Person*. New York: Routledge, S. 342–350
- WITTS, H.; BERG, H. (2017): Digitale Kreislaufwirtschaft: Die Digitale Transformation als Wegbereiter ressourcenschonender Stoffkreisläufe. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Wuppertal (in brief, 04/2017)
- WORTMANN, F.; FLÜCHTER, K. (2015): Internet of Things. In: *Business & Information Systems Engineering*, Bd. 57, Heft 3, S. 221–224. DOI: [10.1007/s12599-015-0383-3](https://doi.org/10.1007/s12599-015-0383-3)
- WÜSTNER, K.; STENGEL, M. (1998): Wissen, Wollen und Handeln. In: GÜNTHER, A., HAUBL, R., MEYER, P., STENGEL, M., WÜSTNER, K. (HG.): *Sozialwissenschaftliche Ökologie* (Springer-Lehrbuch). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 219–280
- ZIMMER-HEGMANN, R. (2011): Demografischer Wandel als Herausforderung für die Stadt- und Quartiersentwicklung. In: DAHME, H.-J., WOHLFAHRT, N. (HG.): *Handbuch Kommunale Sozialpolitik*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 128–140

Anhang

Anhangsverzeichnis

ANHANG I: AUFBAU AKZEPTANZBEFRAGUNG	i	ANHANG VII: LEITFADEN EXPERT*INNENINTERVIEW AKTEURSGRUPPE 1	xv
ANHANG II: AKZEPTANZBEFRAGUNG SZENARIO 1: FUNKTIONALE INTEGRATION	x	ANHANG VIII: LEITFADEN EXPERT*INNENINTERVIEW AKTEURSGRUPPE 2	xvi
ANHANG III: AKZEPTANZBEFRAGUNG SZENARIO 2: MASKIERTE INTEGRATION	xi	ANHANG IX: LEITFADEN EXPERT*INNENINTERVIEW AKTEURSGRUPPE 3	xvii
ANHANG IV: AKZEPTANZBEFRAGUNG SZENARIO 3: GESTALTUNG MIT LOKALBEZUG	xii	ANHANG X: AKZEPTANZ WAHRNEHMBARER STADTRAUMVERÄNDERUNGEN NACH STADTRAUMTYPEN DETAILANSICHT	xviii
ANHANG V: AKZEPTANZBEFRAGUNG SZENARIO 4: NUTZUNGSERWEITERUNG	xiii	ANHANG XI: RECHTFERTIGUNG FÜR DEN AUSBAU SENDEANLAGEN DETAILANSICHT	xix
ANHANG VI: ÜBERSICHT ENTWURFSBEWERTUNG VERGLEICHENDE BETRACHTUNG	xiv		

Anhang I:

Aufbau Akzeptanzbefragung

(Im Rahmen des OecherPanels)

Zunächst würden wir Sie gerne um ein paar allgemeine Angaben zu Ihrer Person bitten.

Frage: S01 Geschlecht

Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an:

Männlich	sex_kat = 1
Weiblich	sex_kat = 2
Divers	sex_kat = 3

Definition: sex_kat

Frage: S02 Alter

Bitte geben Sie Ihr Alter an:

(Text box, numeric, Range 16-99)

Definition: age_kat

age_kat=1 IF S02 IS "16" TO "29"

age_kat=2 IF S02 IS "30" TO "49"

age_kat=3 IF S02 IS "50" TO "99"

Frage: S03 PLZ

Bitte geben Sie Ihre Postleitzahl an:

Frage: S04 Haushaltsnettoeinkommen

Wie hoch ist Ihr monatliches Haushalts-Netto-Einkommen, d.h. das Einkommen Ihres gesamten Haushaltes nach Abzug aller Steuern und Abgaben?

Wir möchten Sie an dieser Stelle darauf hinweisen, dass Ihre Daten selbstverständlich streng vertraulich behandelt werden!

(Single choice)

Bis unter 1.000 Euro	
1.000 bis unter 1.500 Euro	
1.500 bis unter 2.500 Euro	
2.500 bis unter 3.500 Euro	
3.500 bis unter 4.500 Euro	
4.500 Euro und mehr	
Keine Angabe	

Definition hh_kat

hh_kat IS "1" IF S08 IS "Bis unter 1.000 Euro" TO "1.000 bis unter 1.500 Euro"

hh_kat IS "2" IF S08 IS "1.500 bis unter 2.500 Euro" TO "2.500 bis unter 3.500 Euro"

hh_kat IS "3" IF S08 IS "3.500 bis unter 4.500 Euro" TO "4.500 Euro und mehr"

hh_kat IS "4" IF S08 IS "Keine Angabe"

Usage & Attitude mobile Daten**Frage: Intro**

Im folgenden Teil der Befragung möchten wir mit Ihnen über Ihr Nutzungsverhalten von mobilen Daten sprechen.

[Die Fragen zur Mobilfunknutzung wurden im Rahmen der Arbeit nicht verwendet und werden dementsprechend hier nicht aufgeführt]

Frage: U04 Bekanntheit 5G

Haben Sie schon einmal etwas von 5G gehört?

(single choice)

Ja	
Nein	
Ich bin mir nicht sicher	

Frage: U04a 5G in eigenen Worten

Filter: SHOW IF U04 IS „Ja“

Bitte beschreiben Sie einmal kurz mit Ihren eigenen Worten, was Sie unter 5G verstehen.

Frage: U05a Erklärung 5G

Unsere Welt vernetzt und digitalisiert sich immer mehr. Zur Adressierung globaler Herausforderungen, wie z.B. dem Klimawandel, spielen innovative und vernetzte Technologien eine wichtige Rolle.

Der fünfte Mobilfunkstandard 5G ermöglicht zukünftig eine deutlich schnellere, sicherere und zuverlässigere drahtlose Vernetzung von Geräten und Menschen und stellt somit einen elementaren Baustein zur Nutzung neuer Technologien dar. Mit 5G kann also z.B. eine größere Datenmenge in kürzerer Zeit übertragen werden.

Das 5G-Funksignal wird von Antennenanlagen übermittelt. Mobilfunkantennen befinden sich klassischerweise auf Dächern oder an Masten. 5G wird zukünftig vermehrt auch kleinere Sendeanlagen im Stadtraum, sogenannte Small Cells, benötigen, um alle Mehrwerte ausspielen zu können. Dabei ähneln diese kleinen Antennenanlagen in Aussehen, Verortung und Funktion eher größeren W-LAN-Routern als klassischen Mobilfunkantennen.

Frage: U05b Spontanassoziationen zu 5G

Welche spontanen Gedanken gehen Ihnen nach dieser Beschreibung durch den Kopf? Welche Fragen stellen Sie sich vielleicht dazu? Was beschäftigt Sie?

(text area)

ConceptFit**Frage: Intro ConceptFit**

Das Institut für Städtebau der RWTH Aachen möchte im Rahmen des Forschungsprojekts „5GAIN“ erforschen, wie die neuen technischen Infrastrukturen, insbesondere 5G-Anlagen, in unsere Städte eingebaut werden müssen, um eine möglichst hohe gesellschaftliche Akzeptanz zu erreichen.

Im Folgenden soll Ihnen nun ein mögliches Konzept dazu vorgestellt werden.

Bitte schauen Sie sich alles in Ruhe an und nehmen Sie sich so viel Zeit wie nötig.

Klicken Sie anschließend bitte auf „Weiter“.

(HTML)

Frage: Konzept allgemein

Concept Board: Bildschirmfüllend

Frage: K01 Gesamtgefallen

Wie gut gefällt Ihnen diese Idee insgesamt?

(Single choice)

Gefällt mir überhaupt nicht (0%)	(20%)	(40%)	(60%)	(80%)	Gefällt mir sehr gut (100%)
----------------------------------	-------	-------	-------	-------	-----------------------------

Frage: K01a Begründung guter Gesamtgefallen

Filter: SHOW IF K01 IS “(60%)” TO “Gefällt mir sehr gut (100%)”

Sie haben angegeben, dass Ihnen das Konzept (sehr) gut gefällt. Was genau gefällt Ihnen daran (sehr) gut?

(text area)

Frage: K01b Begründung schlechter Gesamtgefallen

Small board and clickable

Filter: SHOW IF K01 IS “Gefällt mir überhaupt nicht (0%)” TO “(40%)”

Sie haben angegeben, dass Ihnen das Konzept (überhaupt) nicht gefällt. Was genau gefällt Ihnen daran (überhaupt) nicht?

(text area)

Frage: Intro VCM

Nachfolgend sehen Sie das Konzept noch einmal. Diesmal haben Sie die Möglichkeit, mit der Maus Bereiche einzurahmen und Kommentare abzugeben.

Frage: K02 VCM

Markieren Sie bitte mit der Maus beliebig viele Elemente, die Sie positiv oder negativ kommentieren möchten.

Frage: K03 Einzigartigkeit**Wie neu und andersartig ist diese Idee Ihrer Meinung nach?**

(Single choice)

Überhaupt nicht neu und andersartig (0%)	(20%)	(40%)	(60%)	(80%)	Sehr neu und andersartig (100%)
--	-------	-------	-------	-------	--

Frage: K04 Persönliche Relevanz**Wie relevant ist diese Idee für Sie persönlich?**

(Single choice)

Überhaupt nicht relevant (0%)	(20%)	(40%)	(60%)	(80%)	Sehr relevant (100%)
--	-------	-------	-------	-------	----------------------------

Frage: K05 Glaubwürdigkeit**Als wie glaubwürdig empfinden Sie diese Idee?**

(Single choice)

Überhaupt nicht glaubwürdig (0%)	(20%)	(40%)	(60%)	(80%)	Sehr glaubwürdig (100%)
---	-------	-------	-------	-------	-------------------------------

Frage: K06 Offenheit**Wie offen sind Sie gegenüber dem Ausbau von 5G in Aachen?**

(Single choice)

Überhaupt nicht offen (0%)	(20%)	(40%)	(60%)	(80%)	Sehr offen (100%)
----------------------------------	-------	-------	-------	-------	----------------------

Frage: Q01 Skalierte Detailbewertung

Hier sehen Sie weitere Aussagen zu dem neuen Konzept. Bitte geben Sie an, inwieweit Sie diesen jeweils zustimmen.

Das Konzept ...

(Single choice matrix, clicker, randomized)

Stimme überhaupt nicht zu (0%)	(20%)	(40%)	(60%)	(80%)	Stimme voll und ganz zu (100%)
-----------------------------------	-------	-------	-------	-------	-----------------------------------

...klingt nach einer Verbesserung.	
...hört sich vielversprechend an.	
...passt gut zu Aachen.	
...macht die Stadt Aachen für mich attraktiver.	
...bietet neue Möglichkeiten, das Stadtbild zu verbessern.	
...verbessert für mich die Aufenthaltsqualität des Ortes.	
...wertet für mich das Stadtbild gestalterisch auf.	
...bringt neue sinnvolle Funktionen in die Stadt.	

Frage: Q02 Vorstellbarkeit Sendeinfrastrukturen

In welchen Bereichen können Sie sich sichtbare Sendeinfrastrukturen vorstellen?

(Multiple choice, randomized)

In der historischen Altstadt (z.B. am Marktplatz)	
In der Innenstadt allgemein	
In Bereichen des Einzelhandels und der Gastronomie (z.B. Adalbertstraße)	
In Vierteln, in welchen Wohnen und Arbeiten, aber auch Einzelhandel und Freizeitangebote möglich sind, z.B. im Frankenberger Viertel	
In Wohngebieten	
Auf öffentlichen Flächen (z.B. Tivoli, CHIO-Gelände)	
In Gewerbegebieten (z.B. Aachener Kreuz)	
Auf sogenannter „Fläche für Gemeinbedarf“, also z.B. in Krankenhäusern, Schulen, Kitas, Verwaltung, Uni	

Auf dem Campus Melaten / Campus West	
Ich kann mir die sichtbaren Sendeinfrastrukturen auf keiner dieser Flächen vorstellen.	Exclusive, not randomized

Frage: Q03 Vorstellbarkeit Sendeinfrastrukturen

Und in welchen Bereichen können Sie sich keine sichtbaren Sendeinfrastrukturen vorstellen?

(Multiple choice, randomized)

In der historischen Altstadt (z.B. am Marktplatz)	Filter auf Q02
In der Innenstadt allgemein	Filter auf Q02
In Bereichen des Einzelhandels und der Gastronomie (z.B. Adalbertstraße)	Filter auf Q02
In Vierteln, in welchen Wohnen und Arbeiten, aber auch Einzelhandel und Freizeitangebote möglich sind, z.B. im Frankenberger Viertel	Filter auf Q02
In Wohngebieten	Filter auf Q02
Auf öffentlichen Flächen (z.B. Tivoli, CHIO-Gelände)	Filter auf Q02
In Gewerbegebieten (z.B. Aachener Kreuz)	Filter auf Q02
Auf sogenannter „Fläche für Gemeinbedarf“, also z.B. in Krankenhäusern, Schulen, Kitas, Verwaltung, Uni	Filter auf Q02
Auf dem Campus Melaten / Campus West	Filter auf Q02
Ich kann mir die sichtbaren Sendeinfrastrukturen auf all diesen Flächen vorstellen.	Exclusive, not randomized

Frage: U04b Bekanntheit 5G

Filter: SHOW IF U01 IS “Ja”

Damit sich 5G-Sendeanlagen gut in unsere Städte integrieren, wird über verschiedene weitere Nutzungsmöglichkeiten der Anlagen nachgedacht.

Wie attraktiv finden Sie diese?

(Single choice, scale above)

Überhaupt nicht attraktiv (0%)	(20%)	(40%)	(60%)	(80%)	Sehr attraktiv (100%)
--------------------------------------	-------	-------	-------	-------	--------------------------

Zur Aufwertung einzelner Objekte durch gestaltete Verkleidungen, z.B. Begrünung	
Schaffung von Objekten mit lokalem Bezug zu Aachen, z.B. Antennenanlage in Form des Klenkes	
Objekte zum besseren „Wohlfühlen“ in der Stadt, z.B. Sitzgelegenheiten, Verweilmöglichkeiten	

Frage: Q04 Ausbau Sendeanlagen

Small board and clickable

Welche dieser Anwendungsfälle halten Sie für sinnvoll? Welche würden einen Ausbau der Sendeanlagen rechtfertigen?

(Multiple choice, randomized)

High-Speed Internet für die tägliche Nutzung	
High-Speed Internet, insbesondere an Hotspots, wie z.B. Bahnhöfen, im Stadion oder in der Innenstadt	
Neue Freizeit-Angebote in der Stadt, z.B. Augmented Reality Erlebnisse	
Verkehrssteuerung, z.B. für automatisiertes Fahren	
Dienste im Bereich Energie, Gesundheit und Bevölkerungsschutz, z.B. Erkennung einer Notfallsituation und Alarmierung der Rettungskräfte	
Ich kann mir nichts davon vorstellen.	Exclusive, not randomized

Präferenzabfrage Konzepte

Frage: Intro Präferenz Konzepte

Zudem möchten wir Ihnen zum Abschluss noch drei weitere mögliche Konzepte vorstellen.

Funktional unterscheiden sich diese nicht von dem Konzept, welches Sie sich gerade detailliert angeschaut haben – allerdings soll die Integration der Sendeanlagen ins Stadtbild auf unterschiedliche Weise erfolgen.

Schauen Sie sich diese unterschiedlichen Möglichkeiten ganz in Ruhe an und klicken dann auf „Weiter“.

Frage: Präsentation Alternative Konzepte

Frage: P01 Präferenz Konzepte

Welches dieser Konzepte gefällt Ihnen am besten?

(Single choice, randomized)

Picture 1	Show picture
Picture 2	Show picture
Picture 3	Show picture
Picture 4	Show picture

Frage: P02 Begründung Präferenz Konzepte

Und warum haben Sie sich für diese Möglichkeit entschieden?

(text area)

Frage: P03 Vorstellbarkeit

Und welche Möglichkeit ist für Sie in Aachen am meisten vorstellbar?

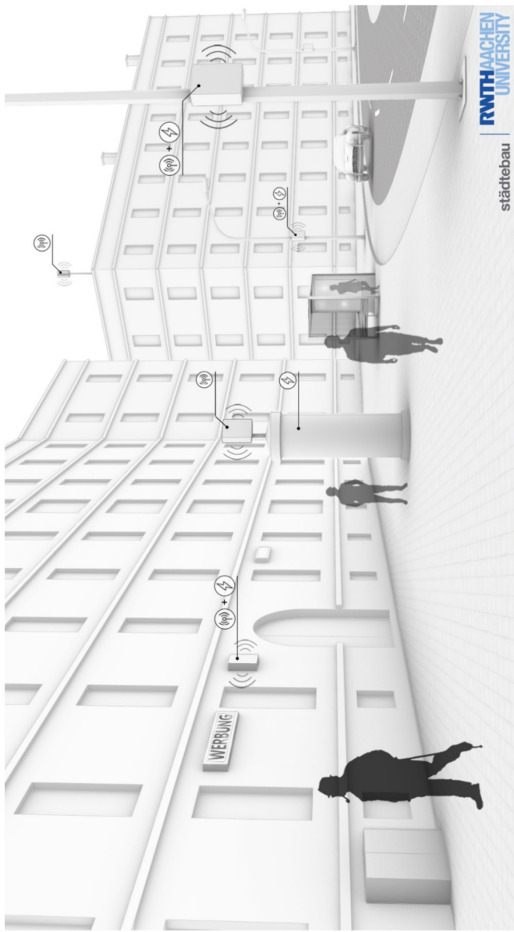
(Single choice, randomized)

Picture 1	Show picture
Picture 2	Show picture
Picture 3	Show picture
Picture 4	Show picture

Anhang II:

Akzeptanzbefragung Szenario 1: Funktionale Integration

Integrierte 5G Sendeanlagen im Stadtraum



Im Alltag und in meiner Freizeit bin ich oft in Aachen unterwegs. Egal, ob ich zu Fuß, mit dem Rad oder mit anderen Verkehrsmitteln in der Stadt bin – Infrastrukturen im Stadtbild wie Schilder, Laternen oder Stromkästen nehme ich oftmals schon gar nicht mehr richtig wahr, denn ich habe mich sehr an ihren Anblick gewöhnt. Nun sollen mit 5G weitere technische Infrastrukturen in Form von kleinen Sendeanlagen, den sogenannten Small Cells, in den Stadtraum integriert werden.

Die neuen Sendeanlagen stellen unsere Städte zukunftsfähig auf, um u.a. den stetig steigenden Datenverkehr für private und kommerzielle Anwendungen zu bewältigen. Sie bilden eine Basis für effizientere und nachhaltigere Städte. Somit ermöglicht 5G nicht nur schnelleres mobiles Internet, sondern setzt auch den Grundstein für vernetzte Mobilitätsangebote, wie das autonome Fahren.

Die 5G-Sendeanlagen werden beispielsweise an Hausfassaden, Laternen, Litfaßsäulen oder niedrigen Dächern angebracht. So können bestehende Strom- oder Glasfasernetze genutzt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass keine neuen, zusätzlichen Laternen oder Litfaßsäulen aufgestellt, sondern bestehende dafür genutzt werden.

Anhang III:

Akzeptanzbefragung Szenario 2: Maskierte Integration

Versteckte 5G Sendeanlagen im Stadtraum



Im Alltag und in meiner Freizeit bin ich oft in Aachen unterwegs. Egal, ob ich zu Fuß, mit dem Rad oder mit anderen Verkehrsmitteln in der Stadt bin – Infrastrukturen im Stadtbild wie Schilder, Laternen oder Stromkästen nehme ich oftmals schon gar nicht mehr richtig wahr, denn ich habe mich sehr an ihren Anblick gewöhnt. Nun sollen mit 5G weitere technische Infrastrukturen in Form von kleinen Sendeanlagen, den sogenannten Small Cells, in den Stadtraum integriert werden.

Die neuen Sendeanlagen stellen unsere Städte zukunftsfähig auf, um u.a. den stetig steigenden Datenverkehr für private und kommerzielle Anwendungen zu bewältigen. Sie bilden eine Basis für effizientere und nachhaltigere Städte. Somit garantiert 5G nicht nur schnelleres mobiles Internet, sondern setzt auch den Grundstein für vernetzte Mobilitätsangebote, wie das autonome Fahren.

Die 5G-Sendeanlagen sollen in bereits bestehende Infrastrukturen in Städten integriert werden. Sie können sich beispielsweise in Lifafaßsäulen, Werbeschildern oder in Laternen befinden. Durch das „Verschmelzen“ mit den bereits bestehenden Anlagen, müssen keine weiteren baulichen Maßnahmen durchgeführt werden und die Sendeanlagen können unauffällig integriert werden.

Die versteckten Sendeanlagen werden eingesetzt, ohne das Stadtbild dabei zu verändern – somit bleibt der Charme der Stadt auch in Zeiten des digitalen Wandels erhalten.

Anhang IV:

Akzeptanzbefragung Szenario 3: Gestaltung mit Lokalbezug

5G Sendeanlagen mit regionalem Bezug



Im Alltag und in meiner Freizeit bin ich oft in Aachen unterwegs. Egal, ob ich zu Fuß, mit dem Rad oder mit anderen Verkehrsmitteln in der Stadt bin – Infrastrukturen im Stadtbild wie Schilder, Laternen oder Stromkästen nehme ich oftmals schon gar nicht mehr richtig wahr, denn ich habe mich sehr an ihren Anblick gewöhnt. Nun sollen mit 5G weitere technische Infrastrukturen in Form von kleinen Sendeanlagen, den sogenannten Small Cells, in den Stadtraum integriert werden.

Die neuen Sendeanlagen stellen unsere Städte zukunftsfähig auf, um u.a. den stetig steigenden Datenverkehr für private und kommerzielle Anwendungen zu bewältigen. Sie bilden eine Basis für effizientere und nachhaltigere Städte. Somit garantiert 5G nicht nur schnelleres mobiles Internet, sondern setzt auch den Grundstein für vernetzte Mobilitätsangebote, wie das autonome Fahren.

Durch die Integration der 5G-Sendeanlagen, sollen Städte optisch aufgewertet werden. Beispielsweise können gestaltete Elemente mit lokalem Bezug zur Stadt angebracht werden – z.B. eine Tafel mit Dom oder Eisenbrunnen, in welcher sich eine Smart Cell befindet.

Durch diese Einbindung der 5G-Sendeanlagen soll das Stadtbild aufgewertet, ein regionaler Bezug zur jeweiligen Stadt geschaffen und eine Vernetzung verdeutlicht werden.

Anhang V: Akzeptanzbefragung Szenario 4: Nutzungserweiterung

5G Sendeanlagen laden zum Verweilen ein



Im Alltag und in meiner Freizeit bin ich oft in Aachen unterwegs. Egal, ob ich zu Fuß, mit dem Rad oder mit anderen Verkehrsmitteln in der Stadt bin – Infrastrukturen im Stadtbild wie Schilder, Laternen oder Stromkästen nehme ich oftmals schon gar nicht mehr richtig wahr, denn ich habe mich sehr an ihren Anblick gewöhnt. Nun sollen mit 5G weitere technische Infrastrukturen in Form von kleinen Sendeanlagen, den sogenannten Small Cells, in den Stadtraum integriert werden.

Die neuen Sendeanlagen stellen unsere Städte zukunftsfähig auf, um u. a. den stetig steigenden Datenverkehr für private und kommerzielle Anwendungen zu bewältigen. Sie bilden eine Basis für effizientere und nachhaltigere Städte. Somit garantiert 5G nicht nur schnelleres mobiles Internet, sondern setzt auch den Grundstein für vernetzte Mobilitätsangebote, wie das autonome Fahren.

Mit dem Aufbau neuer 5G-Sendeanlagen soll gleichzeitig die Chance wahrgenommen werden unsere Städte mit neuen Stadtmöbeln aufzuwerten. Die Small Cells könnten zum Beispiel in neue Sitzmöglichkeiten oder Informationstafeln integriert werden und somit auch die Aufenthaltsqualität für Bürgerinnen und Bürger erhöhen.

Anhang VI:

Übersicht Entwurfsbewertung vergleichende Betrachtung

Nr.	Entwurfsname	Lehrveranstaltung	Semester	Eingruppierung	Information (0-5)	Aufwertung (0-5)	Erhalt Stadtbild (0-5)
1	Kabelverteilerschränke als mehrwertstiftende Stadtmöbel	Forschungsfeld	WiSe 2020/21	Einfügend	0	4	3
2	Eingangsbereich U-Bahn	Forschungsfeld	WiSe 2020/21	Mehrwert	0	5	0
3	Text als Element	Forschungsfeld	WiSe 2020/21	Prägend	5	3	1
4	Adaptive Solitärstrukturen	Forschungsfeld	WiSe 2020/21	Prägend	3,5	4	0
5	5G-Sine Wave	Forschungsfeld	WiSe 2020/21	Prägend	0	4	0
6	Digitale Erweiterung zentraler Plätze	Forschungsfeld	WiSe 2020/21	Virtuell	4	1	4
7	Intelligente & mehrwertschaffende	Forschungsfeld	WiSe 2020/21	Einfügend	0	3,5	1
8	Tarry Station (Solitär)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	4	5	0
9	Tarry Satellit (Satellit)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	4	3	1
10	Giga Cube (Solitär)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	3	5	0
11	Giga Netz (Satellit)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	1	5	1
12	Campuls-Impuls (Solitär)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	4	5	0
13	Campuls-Impuls (Satellit)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	4	4	1
14	Smart Structures (Solitär)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	4	4	1,5
15	Blend-in-Satelliten (Satellit)	Stegreif	WiSe 2021/22	Virtuell	4	0	3
16	Smarkt Aachen (Solitär)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	3	5	0
17	Aachen zeigt Flagge (Satellit)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	3	2	0
18	Informationsquelle am Markt (Solitär)	Stegreif	WiSe 2021/22	Einfügend	1,5	3	3
19	Informationsbrunnen der Stadt (Satellit)	Stegreif	WiSe 2021/22	Virtuell	3	1	4
20	Aachener Oktogon-Satellit (Satellit)	Stegreif	WiSe 2021/22	Einfügend	1	4	2
21	Smart E-Station (Solitär)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	2	5	0
22	Smart Cell (Satellit)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	4	3	1
23	Hier geht ein Licht auf (Solitär)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	0	4	0
24	LID Light in Darkness (Satellit)	Stegreif	WiSe 2021/22	Technische Integration	0	2	2
25	Z-Geist (Solitär)	Stegreif	WiSe 2021/22	Mehrwert	0	5	0
26	Z-Geist (Satellit)	Stegreif	WiSe 2021/22	Technische Integration	0	2	0
27	Lesen unter dem Bücherbaum (Solitär)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	2	3,5	0
28	5G - ein offenes Buch (Satellit)	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	3	3	1
29	Small Smart Observatory	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	2	5	0
30	Small Habitat Observators	Stegreif	WiSe 2021/22	Technische Integration	3	2	2
31	Smart Cube	Stegreif	WiSe 2021/22	Prägend	1	5	0
32	Smart Modulator	Stegreif	WiSe 2021/22	Technische Integration	3	2	1
33	Hansemannplatz	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Technische Integration	0	0	0
34	Otto-/Rudolf Straße	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Einfügend	1	2	4
35	Hein-Janssen-Straße	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Prägend	0	5	1
36	Blücherplatz Nord	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Einfügend	0	3	2
37	Blücherplatz Süd	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Einfügend	0	4	1
38	Ludwig Forum	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Prägend	0	3	0
39	Zentis I/ J.- v. Görres-Straße	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Einfügend	0	4	2
40	Zentis II	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Einfügend	0	2	4
41	Jahrhunderthalle	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Prägend	2	5	0
42	Talbotstraße	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Einfügend	0	4	3
43	Metzgerstraße	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Einfügend	1	3	3
44	Liebigstraße	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Einfügend	0	4	2
45	Fafnir-Werke	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Prägend	3	4	0
46	Alter Berliner Ring	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Einfügend	1	4	1,5
47	Prager/Berliner Ring	Forum Stadt & Landschaft	SoSe 2021	Prägend	1	5	0

Anhang VII:

Leitfaden Expert*inneninterview Akteursgruppe 1

Leitfaden: Stadtverträgliche 5G Infrastruktur

Gruppe 1: Technisch-betriebswirtschaftliche Position

Datum:

InterviewpartnerIn:

Interviewer:

BLOCK 0: VORSTELLUNG INTERVIEWPARTNERIN

BLOCK 1: GRUNDLAGEN & VERORTUNG

- Wie sieht für Sie eine stadtverträgliche 5G-Infrastruktur aus?
 - Welche Standorte / bestehenden Infrastrukturen eignen sich Ihrer Meinung nach am besten, um 5G Small /Macro Cells-Anlagen zu integrieren?
-

BLOCK 2: INTEGRATION & AKZEPTANZ

- Ist es aus Ihrer Sicht (technisch) umsetzbar, 5G Small Cells im öffentlichen Raum städtebaulich in bestehende / neue Infrastrukturen zu integrieren?
 - Welche Rolle spielt aus Ihrer Sicht zukünftig die städtebauliche Integration bei der gesellschaftlichen Akzeptanz von 5G / Smart City?
 - Was sind Ihrer Meinung nach weitere Faktoren, welche die Akzeptanz von 5G erhöhen könnten?
-

BLOCK 3: UMSETZUNG

- Welche Rolle kommt den Herstellern von 5G-Komponenten im Umsetzungsprozess von stadtverträglichen Sendestandorten zu?
- Welche bestehenden Instrumente kennen Sie, um eine stadtverträgliche (5G-)Infrastruktur zu fördern / vorzuschreiben?
- Welche Instrumente wären aus Ihrer Sicht notwendig, um eine stadtverträgliche (5G-)Infrastruktur zu fördern / vorzuschreiben?
- Halten Sie stadt- oder landesweite Gestaltungsrichtlinien für stadtverträgliche & mehrwertstiftende 5G-Anlagen für erstrebenswert und umsetzbar?
- Welche Akteure gilt es für eine stadtverträgliche 5G-Integration einzubinden? Wer sollte hier die Leitung übernehmen?
- Inwiefern kann die Integration & Kombination von 5G-Anlagen (und weiteren Smart City-Infrastrukturen) als neues Geschäftsmodell / Kooperationsgrundlage fungieren?
- Für wie wahrscheinlich halten Sie es, dass Ihr Unternehmen die Rolle des Integrators von potenziellen kombinierten Smart City-Standorten einnimmt?

Anhang VIII:

Leitfaden Expert*inneninterview Akteursgruppe 2

Leitfaden: Stadtverträgliche 5G Infrastruktur

Gruppe 2: Kommunale Position

Datum:

InterviewpartnerIn:

Interviewer:

BLOCK 0: VORSTELLUNG INTERVIEWPARTNERIN

BLOCK 1: GRUNDLAGEN & VERORTUNG

- Wie sieht für Sie eine stadtverträgliche 5G-Infrastruktur aus?
 - Welche Standorte / bestehenden Infrastrukturen eignen sich Ihrer Meinung nach am besten, um 5G Small /Macro Cells-Anlagen zu integrieren?
-

BLOCK 2: INTEGRATION & AKZEPTANZ

- Ist es aus Ihrer Sicht umsetzbar, 5G Small Cells im öffentlichen Raum städtebaulich in bestehende / neue Infrastrukturen zu integrieren?
 - Welche Rolle spielt aus Ihrer Sicht zukünftig die städtebauliche Integration bei der gesellschaftlichen Akzeptanz von 5G / Smart City?
 - Was sind Ihrer Meinung nach weitere Faktoren, welche die Akzeptanz von 5G erhöhen könnten?
-

BLOCK 3: UMSETZUNG

- Welche Rolle kommt den Kommunen im Umsetzungsprozess von stadtverträglichen Sendestandorten zu?
- Welche bestehenden Instrumente kennen Sie, um eine stadtverträgliche (5G-)Infrastruktur zu fördern / vorzuschreiben?
- Welche Instrumente wären aus Ihrer Sicht notwendig, um eine stadtverträgliche (5G-)Infrastruktur zu fördern / vorzuschreiben?
- Halten Sie stadt- oder landesweite Gestaltungsrichtlinien für stadtverträgliche & mehrwertstiftende 5G-Anlagen für erstrebenswert und umsetzbar?
- Welche Akteure gilt es für eine stadtverträgliche 5G-Integration einzubinden? Wer sollte hier die Leitung übernehmen?
- Inwiefern kann die Integration & Kombination von 5G-Anlagen (und weiteren Smart City-Infrastrukturen) als Baustein für die Stadtentwicklung fungieren?
- Für wie wahrscheinlich halten Sie es, dass eine Kommune die Rolle des Integrators von potenziellen kombinierten Smart City-Standorten einnimmt?

Anhang IX:

Leitfaden Expert*inneninterview Akteursgruppe 3

Leitfaden: Stadtverträgliche 5G Infrastruktur

Gruppe 3: Infrastrukturelle und vernetzende Position

Datum:

InterviewpartnerIn:

Interviewer:

BLOCK 0: VORSTELLUNG INTERVIEWPARTNERIN

BLOCK 1: GRUNDLAGEN & VERORTUNG

- Wie sieht für Sie eine stadtverträgliche 5G /Smart City-Infrastruktur aus?
 - Welche Standorte / bestehenden Infrastrukturen eignen sich Ihrer Meinung nach am besten, um 5G / Smart City-Anlagen zu integrieren?
-

BLOCK 2: INTEGRATION & AKZEPTANZ

- Ist es aus Ihrer Sicht (technisch, regulativ) umsetzbar, 5G Small Cells/ andere Smart City-Anwendungen im öffentlichen Raum städtebaulich in/an bestehende/neue Infrastrukturen zu integrieren?
 - Welche Rolle spielt aus Ihrer Sicht zukünftig die städtebauliche Integration bei der gesellschaftlichen Akzeptanz von 5G/Smart City?
 - Was sind ihrer Meinung nach weitere Faktoren, welche die Akzeptanz von 5G erhöhen könnten?
-

BLOCK 3: UMSETZUNG

- Welche Rolle kommt den Betreibern von potenziellen Trägerinfrastrukturen im Umsetzungsprozess von 5G / Smart City Standorten zu?
- Welche Relevanz hat das Thema 5G für Sie aus einer strategischen Perspektive?
- Halten Sie stadt- oder landesweite Gestaltungsrichtlinien für stadtverträgliche & mehrwertstiftende 5G-Anlagen für erstrebenswert und umsetzbar?
- Welche Akteure gilt es für eine stadtverträgliche 5G-Integration einzubinden? Wer sollte hier die Leitung übernehmen?
- Wie bewerten Sie die mögliche Bündelung von Smart City Infrastrukturen an einzelnen Standorten? (z.B. 5G + Sensorik + Kamera)
- Für wie wahrscheinlich halten Sie es, dass Sie als Infrastrukturbetreiber die Rolle des Integrators von potenziellen kombinierten Smart City-Standorten einnimmt?
- Inwiefern kann die städtebauliche Integration von 5G-Anlagen als neues Geschäftsmodell / Kooperationsgrundlage fungieren?

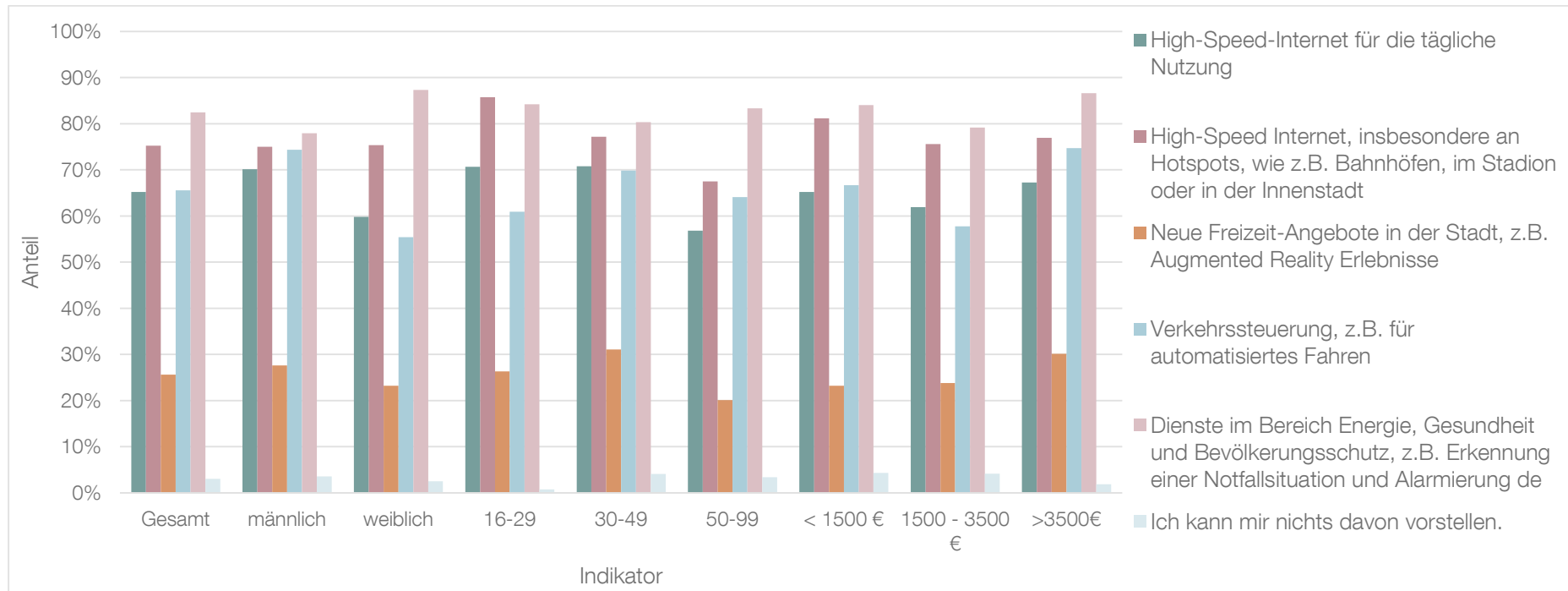
Anhang X:

Akzeptanz wahrnehmbarer Stadtraumveränderungen nach Stadtraumtypen

Detailansicht

Verortung	Alter (Jahre)				Geschlecht		Haushaltseinkommen (€)		
	gesamt	16-29	30-49	50-99	männlich	weiblich	<1500	1500-3500	>3500
Historsiche Altstadt	32%	32%	38%	25%	36%	26%	30%	29%	36%
Innenstadt Allgemein	54%	59%	61%	46%	57%	51%	55%	51%	59%
Bereichen des EH und Gastro	55%	66%	59%	46%	58%	53%	52%	55%	62%
Mischquartiere	49%	53%	53%	43%	52%	45%	49%	47%	55%
Wohngebiete	34%	35%	39%	28%	37%	29%	33%	29%	39%
öffentliche Flächen	74%	77%	79%	68%	75%	74%	78%	70%	80%
Gewerbegebiete	73%	74%	71%	74%	75%	71%	65%	73%	75%
Flächen für Gemeinbedarf	68%	74%	71%	62%	71%	65%	72%	67%	72%
Campus Melaten	80%	82%	82%	76%	77%	83%	75%	81%	82%
Auf allen diesen Flächen	7%	3%	6%	9%	7%	6%	6%	7%	5%

Anhang XI: Rechtfertigung für den Ausbau Sendeanlagen Detailansicht



	Geschlecht			Alter (Jahre)			Haushaltsnettoeinkommen		
	Gesamt	männlich	weiblich	16-29	30-49	50-99	< 1500 €	1500 - 3500 €	>3500€
High-Speed-Internet für die tägliche Nutzung	65%	70%	60%	71%	71%	57%	65%	62%	67%
High-Speed Internet, insbesondere an Hotspots	75%	75%	75%	86%	77%	68%	81%	76%	77%
Neue Freizeit-Angebote in der Stadt	26%	28%	23%	26%	31%	20%	23%	24%	30%
Verkehrssteuerung	66%	74%	55%	61%	70%	64%	67%	58%	75%
Dienste Energie, Gesundheit und Bevölkerungsschutz	82%	78%	87%	84%	80%	83%	84%	79%	87%
Ich kann mir nichts davon vorstellen	3%	4%	3%	1%	4%	3%	4%	4%	2%