

Stadtraumdiagnostik – Identifikation stressauslösender Faktoren öffentlicher Stadträume in Karlsruhe, Osnabrück und Würzburg

Nina Haug

(Dr.-Ing. Nina Haug, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Professur Stadtquartiersplanung (STQP), Englerstraße 7, 76131 Karlsruhe, Deutschland, nina.haug@kit.edu)

1 ABSTRACT

Öffentliche Räume prägen seit jeher das Gesicht unserer Städte und bilden das Rückgrat des urbanen Lebens. In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die Rolle des öffentlichen Raums jedoch stark verändert. Massive strukturelle Eingriffe und der steigende Verdichtungsdruck haben schließlich dazu geführt, dass der öffentliche Raum erheblich an Bedeutung verloren hat. Aus der menschlichen Perspektive wird er nunmehr vermehrt als negativ und stressintensiv wahrgenommen.

Um den Ursachen dieser negativen Wahrnehmung städtischer Räume nachzugehen, wurde mit der im Jahr 2022 begonnenen Studie „Stadtraumdiagnostik“ eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, Stressfaktoren in öffentlichen Räumen systematisch zu identifizieren und zu analysieren. Damit widmet sich der diagnostische Ansatz einem Themenfeld, das in der Stadtforschung bislang weitgehend eine Black Box geblieben ist. Die zentrale Innovation der Methode liegt in der Integration quantifizierbarer „harter“ Faktoren und qualifizierbarer „weicher“ Faktoren innerhalb eines einheitlichen analytischen Rahmens, der sogenannten „Stressorenmatrix“.

In diesem Beitrag werden die Untersuchungen der Stadtraumdiagnostik anhand von fünf Fallstudien dargestellt, die in den vergangenen drei Jahren in den deutschen Städten Karlsruhe, Osnabrück und Würzburg durchgeführt wurden. Darauf aufbauend präsentiert der Beitrag erste Erkenntnisse zu insgesamt zwölf untersuchten Faktoren, von denen sechs in den Fallstudien als Stressfaktoren identifiziert wurden: „EG-Zonen“, „Elemente“, „Straßenraumaufteilung“, „Verkehr“, „Ruhender Verkehr“ und „Akustik“.

Keywords: Stadtplanung, öffentlicher Raum, Stadtwahrnehmung, Neourbanismus, Stressfaktoren

2 EINLEITUNG

2.1 Relevanz und Problemstellung

Der öffentliche Raum ist die tragende Struktur der europäischen Stadt: Er bildet die grundlegende Raumstruktur für das öffentliche Leben und prägt damit maßgeblich die städtische Kultur und Lebensqualität (Cozzolino et al., 2022; Deutscher Städtetag, 2006; Kostof et al., 1992). In den letzten Jahrzehnten hat sich seine Rolle jedoch stark gewandelt. Entwicklungen wie der autogerechte Stadtumbau der 60er-Jahre sowie der zunehmende Verdichtungsdruck haben den Charakter urbaner öffentlicher Räume erheblich verändert (Gehl, 2011). Aus der menschlichen Wahrnehmung betrachtet haben diese Räume nicht nur erheblich an Attraktivität und Lebensqualität verloren, sondern sich sogar in die gegenteilige Richtung gewandelt (Krefis et al., 2018). Sie sind nunmehr lediglich Verkehrsflächen, die als „stressig“ empfunden werden.

Um unsere öffentlichen Räume zurück zu menschengerechten Orten entwickeln zu können, ist es daher notwendig, die Problemlage aus der Perspektive des Menschen zu betrachten. In diesem Kontext konstatieren zahlreiche Forschungen, wie stark dieser Bedeutungsverlust mit negativen Wahrnehmungen und dem Empfinden von Stress zusammenhängt (Evans, 2003; Gado et al., 2024; Lederbogen et al., 2011; Mehran et al., 2024). Diese Phänomene sind klare Indikatoren einer ungesunden Stadt und verdeutlichen die Notwendigkeit, neuralgische, stressintensive Orte zu identifizieren und den Ursachen auf den Grund zu gehen.

Angesichts der hohen Komplexität sowohl der menschlichen Wahrnehmung als auch des urbanen Raums ist es in diesem Kontext unerlässlich, ganzheitlich zu arbeiten, und ein möglichst breites Spektrum möglicher Einflussfaktoren zu analysieren. Denn eine isolierte (z.B. verkehrsplanerische) Betrachtung von Einzelfaktoren kann immer nur eine Teilmenge der realen Situation abbilden und dementsprechend nicht ganzheitlich abbilden. Der vorliegende Beitrag nimmt sich dieser Aufgabe an und stellt die Methode „Stadtraumdiagnostik“ vor, mit der die menschliche Stadtwahrnehmung systematisch erfasst werden kann. Die Methode verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz, der verschiedene Umweltfaktoren analysiert und schließlich deren Einfluss auf die Wahrnehmung und das Stressempfinden ableitet.

2.2 Stand der Forschung

2.2.1 Identifikation negativer Stadtwahrnehmungen („Stress“)

Die Wahrnehmung seiner Umwelt ist tief in der ursprünglichen Lebensweise des Menschen verankert. Bei der Bewegung durch einen Raum ist der Mensch unterbewusst stetig damit beschäftigt, die auf ihn einwirkenden Umweltreize zu verarbeiten (Mehrabian, 1987). Demphysiologischen Stressmodellzufolge reagieren verschiedene Personendeshalb auf dieselben Reize (Stressoren) mit der gleichen körperlichen Reaktion (Selye, 1956). Im Verlauf dieser Stressreaktion setzt der Körper Stresshormone frei, die das autonome Nervensystem (ANS) aktivieren, um das Gleichgewicht der physiologischen Körperfunktionen (Homöostase) wiederherzustellen (Cannon, 1914). Messbare Veränderungen umfassen u.a. Modifikationen der Herzaktivität, der Schweißdrüsenaktivität sowie der Hauttemperatur (Boucsein, 1988; Chrousos et al., 1988).

Diese messbaren physiologischen Indikatoren einer Stressreaktion nutzt auch die hierangewandte Emotion-Sensing-Methode, um negative Emotionen im urbanen Kontext zu detektieren und räumlich zu verorten. Die Methode wurde bereits in mehreren deutschen Städten sowohl beim Zufußgehen als auch beim Radfahren erfolgreich angewendet (N. Haug, Schmidt-Hamburger, et al., 2023). Das Verfahren zeichnet die beiden Indikatoren Hautleitfähigkeit und Hauttemperatur mithilfe eines Sensorarmbands (Empatica E4) auf. Die erfassten Daten werden dann über ein Smartphone mit dem entsprechenden GNSS-Signal (Global Navigation Satellite Systems) verknüpft und gespeichert (vgl. Abb. 1, links). In der anschließenden algorithmischen Auswertung der Messdaten wird Stress immer dann identifiziert, wenn die Hautleitfähigkeit kurzfristig ansteigt und die Hauttemperatur gleichzeitig abnimmt, also „kalter Angstschweiß“ entsteht (Kyriakou et al., 2019). Die Ergebnisse werden anschließend in Form von Heatmaps visualisiert und zeigen anschaulich, an welchen Orten in der Stadt die Testpersonen Stress empfunden haben (vgl. Abb. 1, rechts).

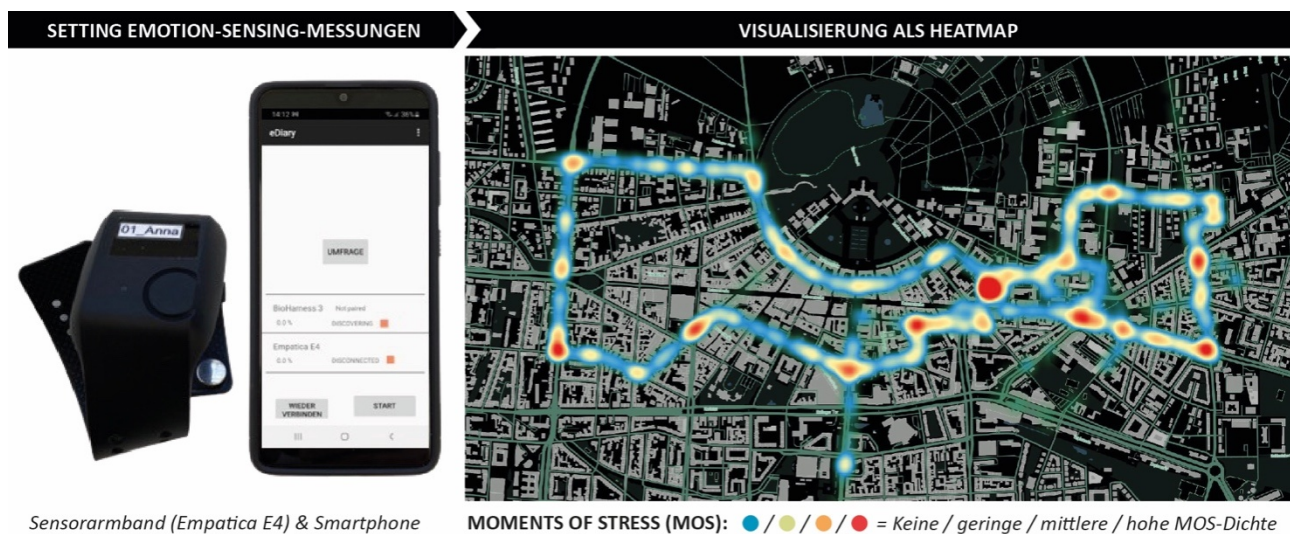


Abb. 1: Setting der Emotion-Sensing-Messungen und Visualisierung der Ergebnisse als Heatmap am Beispiel von Radfahrenden in Karlsruhe, Deutschland. Quelle: Eigene Darstellung nach Datenquelle Cape Reviso (HLRS, 2020).

2.2.2 Ursachenforschung & Einflussfaktoren

Im Kontext der Stressforschung befassen sich zahlreiche Arbeiten mit den Ursachen negativer Emotionen im urbanen Raum bzw. befassen sich im erweiterten Sinne mit dem Komfort im urbanen Rad- und Fußverkehr. Bei der genaueren Betrachtung fällt jedoch auf, dass dieses Forschungsfeld bislang stark von der Verkehrsforschung geprägt wird und sich deshalb primär auf die Analyse quantifizierbarer („harter“) Faktoren konzentriert. Ein häufig angewendetes Verfahren für die Analyse solcher harten, messbaren Faktoren ist zum Beispiel das integrierte Erfassen von Verkehrsdichten und Bewegungslinien mithilfe intelligenter Kamera-Erfassungssysteme (Zeile et al., 2024). Mithilfe dieser Daten können stressintensive Orte innerhalb der Stadt identifiziert werden, an denen extreme Verkehrsdichten herrschen und bzw. oder es häufig zu sogenannten Beinaheunfällen, also dem Kreuzen von Bewegungslinien, kommt.

Qualifizierbare („weiche“) Faktoren, deren Wirkung maßgeblich auf subjektiven Wahrnehmungen basiert und daher stark variiert, sind in der Ursachenforschung bislang hingegen wenig erforscht. Die existierenden

Arbeiten stammen hier größtenteils aus der Stadtforschung sowie der architektonischen und künstlerischen Praxis. Viele der Arbeiten aus diesem Kontext arbeiten unter der Annahme, dass diese weichen Faktoren meist zwar nicht im klassischen Sinne messbar sind, sich jedoch in Form von Mappings, Skizzen oder Fotografien dokumentieren lassen. Allen voran sind hier die frühen Wegbereiter Kevin Lynch und Robert Venturi zu nennen, die in den 1960er- und 1970er-Jahren verschiedene Formen des Mappings als zentrales Analyseinstrument zur Untersuchung wahrnehmungsprägender Faktoren öffentlicher Räume und Architekturen einsetzten (Lynch, 1960; Venturi et al., 1979). Weiterführend ist im Kontext der Analyse weicher Faktoren auch die Arbeit von Jan Gehl zu nennen (Gehl, 2011). In seiner Arbeit richtet Gehl den Fokus insbesondere auf die innerhalb des öffentlichen Raums ablaufenden Aktivitäten. Gehl beobachtet dabei, wie Menschen den öffentlichen Raum benutzen, und analysiert, welche Raumkonfigurationen, Möblierungen etc. welche Verhaltensweisen fördern oder hemmen. Seine Ergebnisse veranschaulicht er auf sehr visuelle Art und Weise in Form von fotografischen Dokumentationen und Skizzen.

2.3 Forschungslücke, Zielsetzung und Forschungsfragen

Der vorangegangene Abschnitt zeigt, dass negative Emotionen im urbanen Kontext anhand messbarer physiologischer Indikatoren objektiv erfasst werden können. Die Ursachenforschung zu diesen urbanen Stresspunkten konzentriert sich jedoch aktuell noch sehr einseitig auf quantifizierbare („harte“) Faktoren. Qualifizierbare („weiche“) Faktoren, die ebenso prägend für die jeweilige Stadtwahrnehmung sind, werden nur selten miteinbezogen.

Die vorliegende Arbeit verfolgt deshalb das Ziel, erstmals quantifizierbare harte Faktoren sowie qualifizierbare weiche Faktoren in einem gemeinsamen Grundgerüst zu analysieren und damit vergleichbar zu machen. Hierfür bedient sich der Methodenansatz sowohl quantitativer als auch qualitativer Methoden. Damit setzt es sich der integrative Ansatz zum Ziel, Planende insbesondere in frühen Projektphasen mit einem Tool zu unterstützen, das die Bewertung der Situation aus der menschlichen Perspektive ermöglicht. Damit unterstützt die Methode die menschengerechte Transformation unserer Städte und fördert die Lebensqualität in urbanen Räumen. Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich diese Arbeit mit den folgenden Fragestellungen:

- (1) Was bedeuten negative Emotionen im urbanen Kontext, und wie können sie gemessen werden?
- (2) Welche harten und weichen Untersuchungsfaktoren können die Komplexität realer öffentlicher Stadträume adäquat in einem Modell abbilden?
- (3) Wie kann die räumliche Analyse unterschiedlicher quantifizierbarer und qualifizierbarer Faktoren gleichberechtigt in einem vergleichbaren Format abgebildet werden?
- (4) Welche Faktoren stehen in Zusammenhang mit dem Empfinden von Stress?

3 KONZEPT

Das Konzept dieser Forschung basiert auf der Annahme, dass „Stress“ im urbanen Kontext mittels sensorbasierter Messungen (Emotion Sensing) erfasst und räumlich lokalisiert werden kann. Entsprechend werden die Ergebniskarten einiger ausgewählter, vorangegangener Emotion-Sensing-Messungen als Grundlage herangezogen. Einige der dort identifizierten Stress-Hotspots werden als Fallstudien für die hier angestellte Ursachenforschung ausgewählt, sodass insgesamt fünf Fallstudien mit der „Stadtraumdiagnostik“ untersucht werden. Die Fallstudien teilen sich auf drei deutsche Untersuchungsstädte wie folgt auf: K1 und K2 in Karlsruhe, O1 und O2 in Osnabrück und W1 in Würzburg.

Anhand dieser fünf Fallstudien analysiert der vorliegende Beitrag ein breites Spektrum quantifizierbarer „harter“ und qualifizierbarer „weicher“ Faktoren, was sich auch in der Vielfalt der eingesetzten Analyseverfahren und Erhebungsmethoden zeigt. Die Darstellung der Fallstudienuntersuchungen folgt einem neuartigen methodischen Ansatz, der den Vergleich der inhaltlich und methodisch heterogenen Analysen der Untersuchungsfaktoren ermöglicht. Dabei werden nicht nur quantitative und qualitative Aspekte, sondern auch datenbasierte und subjektive Dimensionen miteinbezogen und in einem gemeinsamen analytischen Rahmen zusammengeführt.

4 METHODENANSATZ

4.1 Datenerhebung: Untersuchungsfaktoren, Erhebungsansätze & Datenquellen

Die Zusammensetzung der Themenfelder und Untersuchungsfaktoren wurde mithilfe mehrerer experimenteller Testläufe in iterativen Schleifen erprobt. Eine detaillierte Beschreibung der Testläufe liegt in Form der Ergebnisdokumentationen der Studie „Decoding Stress“ vor, die am Karlsruher Institut für Technologie durchgeführt wurde (Haug et al., 2023, 2024) und wird in diesem Beitrag nicht detaillierter ausgeführt. Im Ergebnis der Testläufe konnte der Analysegegenstand auf insgesamt 12 Untersuchungsfaktoren eingegrenzt werden, die sich in die fünf Themengebiete „Gebäude“, „Freiraum“, „Gestaltung“, „Verkehr & Bewegung“ und „Sensorik“ gliedern. Mit dieser Auswahl soll ein möglichst dreidimensionales Bild der realen Situation abgebildet werden. Die fünf Themenfelder bündeln daher nicht nur Faktoren der gebauten Umwelt, sondern beziehen bewusst auch die olfaktorische und akustische Dimensionen der Stadtwahrnehmung mit ein.

Der Datenerhebungsplan gibt darauf aufbauend für jedes Themengebiet die zugehörigen Untersuchungsfaktoren, ihre Unterparameter, die Art des Analyseansatzes (quantitativ/qualitativ) und die zur Anwendung kommenden Erhebungsmethoden an. Tabelle 1 zeigt einen Ausschnitt des Datenerhebungsplans. Hinsichtlich der Erhebungsmethoden bzw. Datenquellen wurden mit den Testläufen drei grundlegende methodische Ansätze als zielführend identifiziert. In einigen Fällen wurden die Methoden auch miteinander kombiniert. Die drei Erhebungsmethoden sind:

A. Zweidimensionale Datengrundlagen: Ein Teil der Untersuchungsfaktoren kann mithilfe zweidimensionaler digitaler Datensätze aus der Vogelperspektive analysiert werden. Zu den primären Datenquellen zählen hier frei verfügbare OpenStreetMap-Daten, Luftbilder sowie Daten aus kommunalen Geoportalen.

B. Dreidimensionale Remote-Analysen: Für all jene Parameter, bei denen die Erfassung der dritten Dimension erforderlich ist, stellen dreidimensionale Remote-Analysen eine sinnvolle Erhebungsmethode dar. Hierbei wird vor allem auf Bildmaterialien aus der Straßenraumperspektive zurückgegriffen, die beispielsweise durch die Anbieter Apple Karten oder Google Street View bereitgestellt werden.

C. Vor-Ort-Begehungen: Ortsbegehungen stellen ein unverzichtbares Analyseinstrument für die Untersuchung der menschlichen Wahrnehmung verschiedener Parameter dar. Insbesondere gilt dies für die Analyse weicher Faktoren, die eine starke subjektive Komponente beinhalten (Gehl, 2011). Die Beobachtungen in den Begehungen werden mithilfe von Eintragungen in Karten, Skizzen und Fotografien dokumentiert. In den meisten Fällen stellen die Begehungen eine wichtige Kontrollebene dar und ergänzen die Methoden A und B.

Themengebiet	Untersuchungsfaktor	Unterparameter	Analyseansatz		Erhebungsmethode		
			quantitativ	qualitativ	A	B	C
I. Gebäude	1. Bauliche Dichte	1a. Geschosse	x			x	x
		1b. Parzellierung		x	x		
	2. EG-Zonen	2a. Nutzungen	x		x		
		2b. Räumliche Ausbreitung	x	x		x	x
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)			
V. Sensorik	11. Olfaktorik	11a. Gerüche		x			x
		11b. Assoziationen		x			x
	12. Akustik	12a. Geräusche		x			x
		12b. Lautstärken	x		x		x
		12c. Wahrnehmung		x			x

Tab. 1: Auszug der definierten Themenbereiche, Untersuchungsfaktoren, Unterparameter, Analyseansätze und Erhebungsmethoden (A = zweidimensionale Datengrundlagen, B = dreidimensionale Remote-Analysen, C = Vor-Ort-Begehungen).

4.2 Methodenbausteine

Der vorgestellte Methodenansatz fußt auf drei grundlegenden Schritten (vgl. Abb. 2): der Datenerhebung (vgl. Abschnitt 4.1), der Übersetzung und der Visualisierung der Ergebnisse. Hierzu führt die Stadtraumdiagnostik zwei wesentliche Methodenbausteine neu ein: die „Stressorenabwicklung“ und die „Stressorenmatrix“.

4.2.1 Stressorenabwicklung

Der Methodenbaustein Stressorenabwicklung bietet die Möglichkeit, die räumliche Analyse verschiedener Untersuchungsfaktoren in ein vergleichbares Format zu übersetzen. Auf diese Weise wird die konventionelle

Trennung zwischen quantitativen und qualitativen Analysen überwunden. Die Erstellung einer solchen Stressorenabwicklung funktioniert wie folgt: Nachdem die Untersuchungsfaktoren, die zugehörigen Unterparameter und die Erhebungsstrategie definiert wurden (vgl. Tab. 1 und Abb. 2, linke Spalte), werden die Analysen zunächst in räumlichen Analyseplänen dokumentiert, wie sie in der Architektur und Stadtplanung gängig sind. In diesen Analyseplänen werden die definierte Bewegungslinie und die kreuzenden Straßen markiert (vgl. Abb. 2, mittlere Spalte). Dieses Grundgerüst ermöglicht es im späteren Übersetzungsprozess, die räumlichen Eigenschaften des realen Raums in ein abstraktes System zu übertragen. Dafür wird die Bewegungslinie wie in einem Koordinatensystem zur x-Achse „ausgeklappt“ und die kreuzenden Straßen und Einmündungen als Fixpunktemarkiert. Die Ausprägungen des analysierten Untersuchungsfaktors werden dann auf der y-Achse nach einer vordefinierten Skala eingetragen.

4.2.2 Stressorenmatrix

Nachdem für jeden Untersuchungsfaktor eine solche Stressorenabwicklung erstellt wurde, werden diese in der Stressorenmatrix mit den Ergebnissen der Emotion-Sensing-Messungen zusammengeführt (vgl. Abb. 2, rechte Spalte). Jede Abwicklung nimmt dabei in der Matrix eine eigene Zeile ein. Die oberste Zeile ist in jeder Matrix den Ergebnissen der Emotion-Sensing-Messungen vorbehalten, die für diesen Zweck ebenfalls in eine Stressorenabwicklung übertragen werden. Die Stressorenmatrix bildet die Grundlage für die Auswertung der Untersuchungen. Denn anhand der übersichtlichen Visualisierung der 12 analysierten Faktoren in Kombination mit den gemessenen Stressmomenten ist es vergleichsweise einfach möglich, Zusammenhänge zwischen den untersuchten Faktoren und dem Auftreten von Stress zu identifizieren.

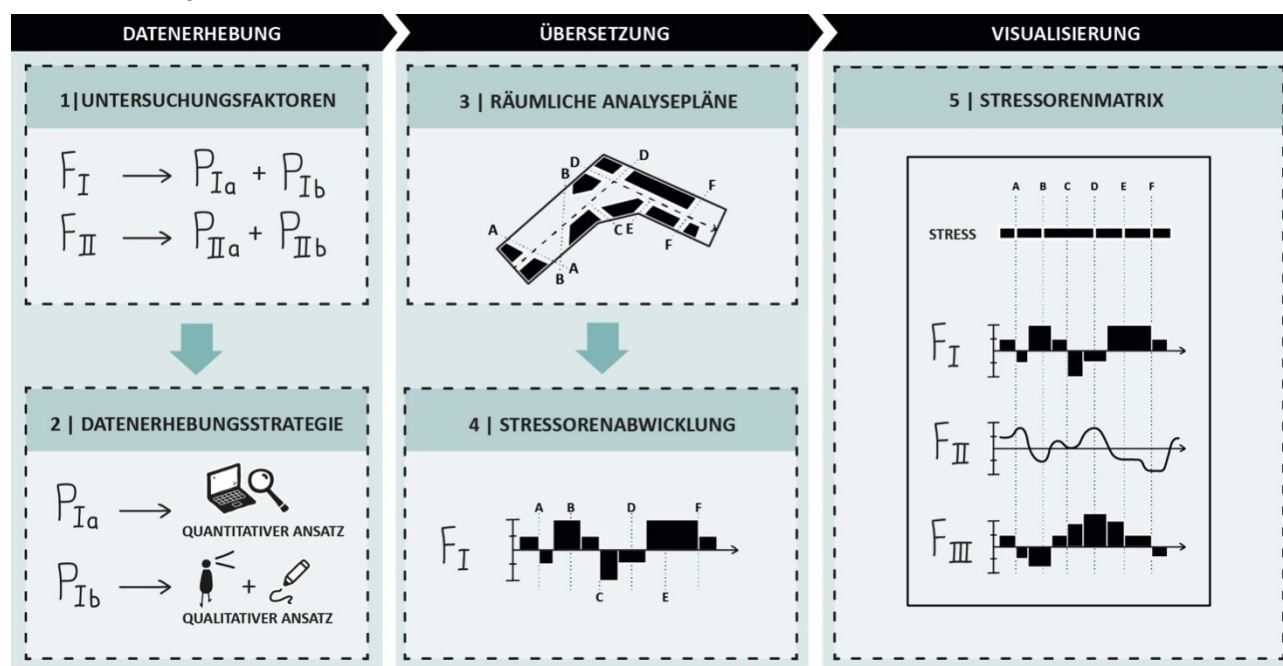


Abb. 2: Übersicht der Methodenentwicklung mit den beiden zentralen Bausteinen Stressorenabwicklung und Stressorenmatrix.

4.3 Auswertung der Stressorenmatrizen

Im Rahmen der Auswertung werden in den Stressorenmatrizen der fünf Fallstudien die Stressorenabwicklungen der jeweils 12 Untersuchungsfaktoren im ersten Schritt zunächst einzeln hinsichtlich ihrer Stresszusammenhänge ausgewertet. Dabei werden die Hotspots der Stressmessung (orange und rote Bereiche) mit auffälligen Bereichen (Hochpunkte, Tiefpunkte, Kategorienwechsel) in den Stressorenabwicklungen verglichen. Im Rahmen dieser Einzelauswertung wird dann jedem Untersuchungsfaktor gemäß seiner Übereinstimmung mit den Mustern der Stressmessungen ein Wert von 0 (kein Zusammenhang) bis 1,0 (starker Zusammenhang) zugewiesen. Bei fünf Fallstudien mit jeweils 12 Untersuchungsfaktoren ergeben sich folglich 60 Einzel-Stresszusammenhänge.

Im zweiten Schritt, der Gesamtauswertung, wird dann aus den Einzelwerten der fünf Fallstudien pro Untersuchungsfaktor die Gesamtsumme errechnet (also Fallstudie 1 + Fallstudie 2 + Fallstudie 3 + Fallstudie 4 + Fallstudie 5 = Gesamtsumme). Die resultierenden Werte reichen folglich von 0 bis 5,0 und geben den

Gesamt-Stresszusammenhang eines jeden Untersuchungsfaktors im Querschnitt der fünf untersuchten Fallstudien an.

5 ERGEBNISSE

Der entwickelte Methodenansatz wurde nach der vorgestellten Datenerhebungsstrategie in fünf Fallstudien (K1, K2, O1, O2, W1) in realen urbanen Stadträumen in den drei deutschen Städten Karlsruhe, Osnabrück und Würzburg angewendet. Die Ergebnisse aller fünf Fallstudien wurden gemäß der Systematik der Stadtraumdiagnostik in Form der Stressorenmatrizen dokumentiert und können der Arbeit von Haug (2025, S. 155 ff.) entnommen werden. Dieser Beitrag behandelt zum Zweck der Anschaulichkeit eine der Fallstudien exemplarisch und geht anschließend auf die Gesamtauswertung der Stresszusammenhänge ein.

5.1 Ergebnisauszug Fallstudie W1, Würzburg

Die Fallstudie W1 liegt im Stadtzentrum Würzburgs und dient exemplarisch zur Veranschaulichung der Ergebnisse der Fallstudien.

5.1.1 Datengrundlage Emotion-Sensing-Messungen & Grundgerüst

Die den Fallstudien W1 zugrunde liegenden Emotion-Sensing-Daten stammen aus dem Projekt „Super Testsite Würzburg“. Die Messungen wurden im Sommer 2024 im Zeitraum vom 10. bis 21. Juni 2024 mit 41 Zufußgehenden in der Würzburger Innenstadt zu unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt (Super Testsite, 2024). Die Teilnehmenden bewegten sich frei durch die Würzburger Innenstadt und passierten dabei fünf festgelegte Kontrollpunkte in vorgegebener Reihenfolge. Damit sollte sichergestellt werden, dass sich die Teilnehmenden zwar so frei wie möglich bewegen konnten, sie zugleich jedoch auch die Kontrollpunkte in derselben Bewegungsrichtung passierten. Einer dieser Punkte befindet sich im Bereich der Eichhornstraße im Untersuchungsgebiet der Fallstudie W1.

Abbildung 3 zeigt auf der linken Seite die Heatmap der zugehörigen Emotion-Sensing-Messungen. Zwei Stress-Hotspots fallen in dieser Karte besonders auf: ein lokaler, kleinerer Hotspot im Bereich der Kreuzung Semmelstraße/Theaterstraße (1) sowie ein stark ausgeprägter Stress-Hotspot entlang der Eichhornstraße im Abschnitt zwischen Punkt 3 und Punkt 4, wo die Fußgängerzone in eine Platzsituation übergeht.



Abb. 3: Grundgerüst der Fallstudie W1, Würzburg.

Die mittlere und rechte Spalte in Abbildung 3 stellen das räumliche Grundgerüst im Luftbild sowie dessen Übersetzung in das abstrakte System der Stressorenabwicklung dar. Dieses Grundgerüst bildet die Basis für die Analyse der zwölf Untersuchungsfaktoren entlang der 400 Meter langen Bewegungslinie in Fallstudie W1.

5.1.2 Durchführung

Der Methodenansatz zur Identifikation stressauslösender Faktoren in dichten Stadträumen wurde nun mithilfe des definierten Grundgerüsts in der Fallstudie W1 implementiert. Zu diesem Zweck werden die zwölf Untersuchungsfaktoren und die ihnen zugeordneten Unterparameter (vgl. Tab. 1) unter Anwendung der definierten Analyseansätze und Erhebungsmethoden analysiert. Dafür wurden am Montag, den 28. Oktober 2024, vormittags und nachmittags, bei sonnigen Witterungsbedingungen, Vor-Ort-Begehungen durchgeführt. Im Zuge der Analyse der zweidimensionalen Datengrundlagen wurde primär auf Daten aus

OpenStreetMap und Luftbilder zurückgegriffen. Für die dreidimensionale Remote-Analyse wurden Bilddaten aus Apple Maps und Google Street View herangezogen. Die Analyseergebnisse der zwölf Faktoren wurden gemäß der Stadtraumdiagnostik-Methode jeweils in einer separaten Stressorenabwicklung dargestellt und anschließend in der Stressorenmatrix mit den Ergebnissen der Stressmessungen zusammengeführt.

5.1.3 Ergebnisse

Der folgende Abschnitt diskutiert die zentralen Ergebnisse der Einzelanalysen und setzt sie in Beziehung zu den Ergebnissen der Stressmessungen. Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt der Stressorenmatrix W1 und stellt fünf der insgesamt zwölf analysierten Faktoren dar, die aus jeweils einem der fünf Themengebiete stammen. Im oberen Bereich der Stressorenmatrix ist die Abwicklung der gemessenen Stressmomente dargestellt.



Abb. 4: Auszug der Stressorenmatrix aus Fallstudie W1, Würzburg mit den Untersuchungsfaktoren Bauliche Dichte, Elemente, Bodenbelag, Verkehr und Akustik.

A. Stressmessung: Wie bereits die Heatmap der Emotion-Sensing-Messungen (vgl. Abb. 3, linke Spalte) erkennen lässt, weist das Untersuchungsgebiet W1 zwei kritische Stress-Hotspots auf. Der erste Hotspot befindet sich an einem spezifischen Punkt in der Theaterstraße, an der Kreuzung

Semmelstraße/Theaterstraße (1), die zugleich den Übergang in die Fußgängerzone markiert. Der zweite Stress-Hotspot liegt in der Eichhornstraße zwischen Spiegelstraße/Dominikanergasse (3) und Herzogenstraße (4) und ist deutlicher ausgeprägt als der erste.

B. Bauliche Dichte: Hinsichtlich des Untersuchungsfaktors „Bauliche Dichte“ zeigt sich Fallstudie W1 weitgehend homogen. Die Analyse ergab in diesem Fall keinen eindeutigen Zusammenhang mit den gemessenen Stresspunkten. Die Gebäude, die den Untersuchungsraum einrahmen, sind hier nahezu durchgehend viergeschossig, und überwiegend einheitlich parzelliert. Abgesehen von den Straßenräumen an den unmittelbaren Kreuzungspunkten zeigt die Bebauungsstruktur in W1 zwei markante Punkte: die Aufweitung der Fußgängerzone im Bereich von Punkt 3 sowie die Platzsituation zwischen Punkt 3 und 4.

C. Elemente: Das feste Stadtmobiliar („Elemente“) erscheint in W1 über das gesamte Untersuchungsgebiet sehr kompakt und geordnet. Auf der linken Straßenseite befindet sich festes Mobiliar vor allem im Bereich von Punkt 1, innerhalb der Aufweitung der Eichhornstraße zwischen Punkt 2 und Punkt 3 sowie vereinzelt an der Platzsituation zwischen Punkt 3 und Punkt 4. Auf der rechten Seite konzentriert sich das Mobiliar insbesondere am Übergang zur Eichhornstraße (1) durch eine hohe Dichte an Fahrradabstellanlagen sowie im Abschnitt zwischen Herzogenstraße (4) und Wilhelmstraße (6). Die auffallendsten Cluster korrespondieren mit den identifizierten Stress-Hotspots. Die Bäume sind – mit Ausnahme der Theaterstraße im Bereich von Punkt 1 – in großzügige Stadtmöbel integriert und befinden sich links in den beiden Aufweitungen sowie rechts im Abschnitt zwischen Punkt 4 und Punkt 6.

D. Bodenbelag: Die Ausprägung des Faktors „Bodenbelag“ gliedert sich im Untersuchungsgebiet in zwei Abschnitte: In der Theaterstraße dominiert Asphalt bis Punkt 1, während die Fußgängerzone in der Eichhornstraße mit Pflastersteinen gestaltet ist. Der Zustand des Belags in der Theaterstraße reicht von mittlerer bis guter Qualität. Der Belag in der Fußgängerzone wurde erst vor wenigen Jahren erneuert und befindet sich daher in einem sehr guten Zustand. In Bezug auf die Ergebnisse der Stressmessungen ist lediglich der Wechsel des Oberflächenmaterials am Stress-Hotspot bei Punkt 1 hervorzuheben. Am zweiten Hotspot (3/4) konnten hingegen keine Zusammenhänge festgestellt werden.

E. Verkehr: Der Untersuchungsfaktor „Verkehr“ zeigt ausgeprägte Zusammenhänge mit den identifizierten Stress-Hotspots. Entlang der Theaterstraße bis Punkt 1 dominieren der MIV und der Busverkehr, wobei der motorisierte Individualverkehr eine mittlere Dichte und der Busverkehr eine hohe Dichte aufweist. Der auf derselben Fahrbahn geführte Radverkehr erreicht hier mittlere Dichten, während die Dichte des Fußgängerverkehrs in den Seitenbereichen gering bleibt. An der lichtsignalgeregelten Kreuzung zur Eichhornstraße (1) verdichten sich MIV und Radverkehr kurzfristig. Ab Punkt 1 ist die Eichhornstraße dem Fuß- und Radverkehr vorbehalten, verzeichnet in den Stoßzeiten jedoch auch ein nicht unerhebliches Aufkommen an Lieferverkehr. Bis zur Kreuzung Spiegelstraße/Dominikanergasse (3) zeigt sich eine hohe Frequenz an Zufußgehenden, eine mittlere Radverkehrsdichte sowie ein geringfügiger Lieferverkehr. An Punkt 3 kreuzt der MIV und der Busverkehr die Bewegungslinie, was zu kurzzeitigen Ausschlägen führt, während zugleich vermehrt Radfahrende in die Eichhornstraße einbiegen und der Radverkehr hinter Punkt 3 zunimmt.

F. Akustik: Der Faktor „Akustik“ weist in W1 einen klaren Zusammenhang mit den nachgewiesenen Stressmomenten auf. Der erste Abschnitt bis Punkt 1 ist von lauten, negativ wahrgenommenen Straßengeräuschen geprägt. Daran schließt sich ein kurzer Abschnitt mit geringerer Geräuschkulisse an, die als gemischt bewertet wird. An der Kreuzung Semmelstraße/Theaterstraße (1) nimmt der Lärm erneut zu und wird negativ wahrgenommen. Am Eingang zur Eichhornstraße bleibt die Lautstärke bis zur Oberthürstraße (2) moderat und wird als gemischt kategorisiert, da sie situationsabhängig stark variiert. Ab Punkt 2 dominiert menschliches Treiben die Geräuschkulisse, was vermehrt positive Assoziationen hervorruft. Im Bereich zwischen 3 und 4 steigt die Geräuschkulisse erneut an und wird negativ bewertet. In den Abschnitten bis zur Martinstraße (7) tritt wieder verstärkt menschliches Treiben in den Vordergrund, während der Geräuschpegel sukzessive abnimmt und wieder positiver wahrgenommen wird. Im letzten Abschnitt nimmt der Straßenlärm entlang der Schönbornstraße leicht zu und wird negativ assoziiert.

5.2 Gesamtauswertung der Stresszusammenhänge

Im Rahmen der Gesamtauswertung wurden nun alle zwölf Untersuchungsfaktoren in allen fünf Fallstudien, also K1 und K2 in der Untersuchungsstadt Karlsruhe, O1 und O2 in Osnabrück sowie die Fallstudie W1 in

Würzburg, hinsichtlich ihres Stresszusammenhangs untersucht. Zentrale Fragestellung ist dabei: In welchem Zusammenhang stehen die untersuchten Faktoren mit den Ergebnissen der Stressmessung?

Abbildung 5 zeigt die berechneten Stresszusammenhänge der betrachteten Faktoren auf Grundlage der Stichprobe der fünf Fallstudien. In Übereinstimmung mit dem Forschungsziel, kausale Zusammenhänge zu identifizieren, konzentriert sich diese Arbeit auf Faktoren mit einem starken oder sehr starken Stresszusammenhang. Konkret handelt es sich hierbei um die Faktoren „EG-Zonen“, „Elemente“, „Straßenraumaufteilung“, „Verkehr“, „Ruhender Verkehr“ und „Akustik“. Diese Faktoren werden in den folgenden Abschnitten deshalb als Einflussfaktoren bezeichnet. Besonders hervorzuheben ist dabei, dass der Untersuchungsfaktor „Verkehr“ in allen fünf Fallstudien ausnahmslos einen starken Stresszusammenhang aufweist. Das bedeutet, dass in den fünf Fallstudien ein erhöhtes Stressaufkommen vorrangig an solchen Orten nachgewiesen wurde, an denen eine hohe Verkehrsdichte herrscht und bzw. oder viele verschiedene Verkehrsteilnehmer (MIV, Radverkehr, Fußverkehr etc.) aufeinandertreffen. Infolgedessen zeigt auch die Gesamtauswertung für diesen Faktor einen sehr starken Stresszusammenhang. Im Rahmen der Untersuchungen dieser Arbeit gilt „Verkehr“ somit als der häufigste Auslöser für Stress.

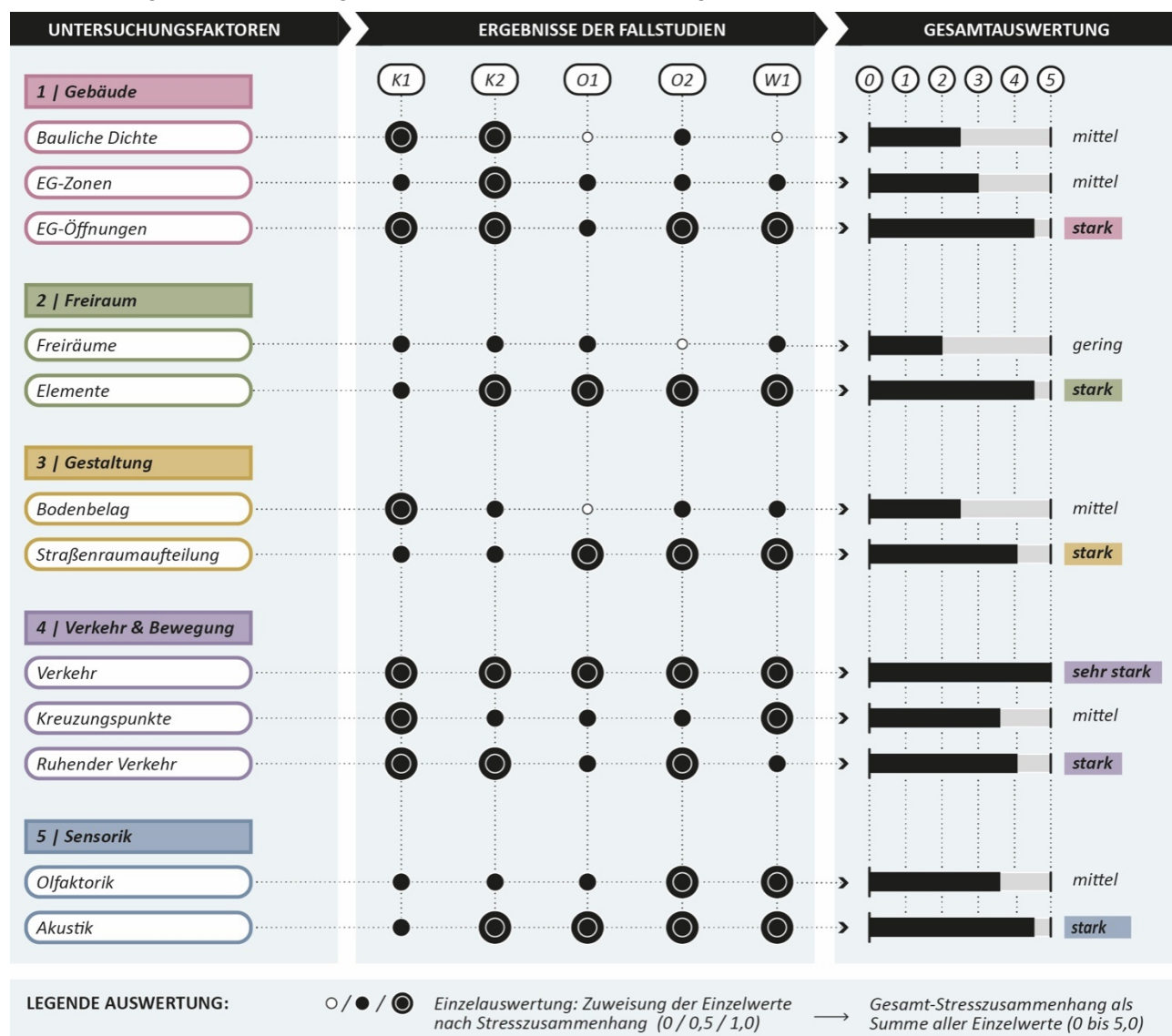


Abb. 5: Gesamtauswertung der Stresszusammenhänge aller zwölf Untersuchungsfaktoren in den fünf untersuchten Fallstudien K1, K2, O1, O2 und W1.

Im Gegensatz dazu weisen andere Faktoren im Querschnitt der fünf Fallstudien eine deutliche Variabilität auf. Dazu zählt beispielsweise der Untersuchungsfaktor „Bauliche Dichte“, für den in der Gesamtauswertung ein mittlerer Stresszusammenhang identifiziert wurde. Während hier jedoch die Fallstudien K1 und K2 in Karlsruhe einen starken Zusammenhang zeigen, weist die Fallstudie O2 lediglich einen partiellen Zusammenhang mit Stress auf, und in den Fallstudien O1 und W1 konnte kein Zusammenhang festgestellt

werden. Ein ähnliches Muster zeigt sich auch bei dem Faktor „Straßenraumaufteilung“. In der Gesamtauswertung wurde hier ein starker Stresszusammenhang errechnet. Die Verteilung über die Fallstudien zeigt jedoch, dass der Stresszusammenhang in den beiden Karlsruher Fallstudien nur partiell ausgeprägt war, während in den übrigen drei Fallstudien ein starker Zusammenhang mit Stress festgestellt wurde.

Demgegenüber identifizierte der Fallstudien-Evaluationsprozess lediglich einen schwachen Zusammenhang zwischen Stress und dem Untersuchungsfaktor „Freiräume“. In den einzelnen Fallstudien K1, K2, O1 und W1 wurde jeweils ein partieller Stresszusammenhang festgestellt. In der Fallstudie O2 konnte kein Zusammenhang nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass im Rahmen der untersuchten Fallstudien an öffentlichen Freiräumen (z.B. Stadtplätze, Grünflächen) seltener Stressreaktionen nachgewiesen werden konnten.

Die Gesamtauswertung zeigt damit, dass es durchausgeneralisierbare Faktoren wie z.B. „Verkehr“ gibt, die nachweislich in allen untersuchten Fallstudien einen Einfluss auf das Empfinden von Stress haben. Darüber hinaus existieren allerdings auch zahlreiche weitere Faktoren, die nicht durchgängig, aber unter bestimmten Bedingungen, einen nachweisbaren Einfluss auf Stress ausüben.

6 DISKUSSION

Der folgende Abschnitt diskutiert den vorgestellten Methodenansatz und adressiert einige Limitationen.

Eine zentrale Einschränkung der Methodik liegt in dem Abstraktionsprozess, der mit dem Erstellen der Stressorenabwicklungen verbunden ist. Um die komplexen räumlichen Situationen in dem abstrakten Gerüst übersichtlich abbilden zu können, werden viele der Inhalte stark abstrahiert und reduziert. Diese Reduktion wird insbesondere an solchen Orten deutlich, an denen die räumliche Situation komplexer ist als die klassische Unterteilung in eine linke und eine rechte Raumkante entlang der analysierten Bewegungslinie. Das ist beispielsweise dann der Fall, wenn sich Gebäude hinter größeren, an die Bewegungslinie angrenzenden Freiflächen befinden, wie z.B. großen Vorplätzen vor öffentlichen Gebäuden. Diese Flächen werden nach der aktuellen Systematik der Methode dann lediglich als Freiflächen kategorisiert und das dahinterliegende Gebäude nicht berücksichtigt. Ebenso werden starke Krümmungen der Bewegungslinie in der Projektion der Stressorenabwicklung stark gestaucht abgebildet, was ebenfalls eine Informationsreduktion mit sich bringt.

Weiterhin ergibt sich auch durch die Zielsetzung der Ganzheitlichkeit des Methodenansatzes eine Limitation. Zwar unternimmt die Stadtraumdiagnostik diesbezüglich zweifellos einen wichtigen Schritt in Richtung der ganzheitlichen Analyse menschlicher Stadtwahrnehmungen, indem erstmals verschiedene quantitative und qualitative Faktoren sowie deren faktische und subjektive Dimensionen in einem gemeinsamen methodischen Rahmen zusammengeführt werden. Dennoch darf das entstandene Modell nicht als abgeschlossen betrachtet werden, sondern muss mit den zwölf analysierten Faktoren als Annäherung an das komplexe Forschungsfeld der menschlichen Stadtwahrnehmung verstanden werden. Es bleibt zu diskutieren, inwiefern die Auswahl der Untersuchungsfaktoren in zukünftigen Fallstudien adaptiert werden muss.

Eine weitere Einschränkung ergibt sich aus dem retrospektiven Charakter der hier durchgeführten Ursachenforschung. Hier ist darauf hinzuweisen, dass die vorliegende Forschung zum jetzigen Zeitpunkt keine eigenen Emotion-Sensing-Messungen durchführt, sodass die kausale Analyse in allen fünf Fallstudien mit einem gewissen Zeitversatz zu den Stressmessungen erfolgt. Innerhalb des bestehenden Untersuchungsaufbaus ist eine gleichzeitige Durchführung beider Erhebungen nicht möglich. Infolgedessen kann das Modell situationsabhängige Veränderungen bestimmter Variablen aktuell nur eingeschränkt abbilden. Der retrospektive Ansatz stellt aktuell somit lediglich einen Durchschnittswert der beobachteten Momentaufnahmen unterschiedlicher Jahreszeiten, Wochentage und Tageszeiten dar.

Darauf aufbauend muss die vorgestellte Methode zudem kritisch hinsichtlich ihrer allgemeinen Übertragbarkeit reflektiert werden. Eine grundlegende Herausforderung besteht hierin der Schwierigkeit, innerhalb des komplexen Gefüges Stadt überhaupt universell gültige Erkenntnisse abzuleiten. Denn klar ist: Die Stadt kann als Untersuchungsgegenstand allein aufgrund ihrer hohen Komplexität und Dynamik nicht mit Laborbedingungen gleichgesetzt werden. Aufgrund ihrer unterschiedlichen historischen, kulturellen und sozialen Prägungen – ihrer jeweiligen „DNA“ – lassen sich die Ergebnisse aus Stadt A demnach nicht ohne Weiteres auf Stadt B übertragen. Entsprechend distanziert sich die Studie bewusst vom Begriff der

Korrelation, der kausale Zusammenhänge impliziert, und verwendet stattdessen den Begriff der Hypothese. Letztlich bleibt jedoch die Frage offen, ob im komplexen Forschungsfeld der menschlichen Stadtwahrnehmung überhaupt eindeutig nachweisbare und übertragbare Kausalzusammenhänge identifizierbar sind.

7 SCHLUSSBETRACHTUNG

Die vorliegende Studie entwickelt eine neuartige diagnostische Methode, die mittels eines umfassenden Abstraktionsprozesses die menschliche Wahrnehmung verdichteter öffentlicher Stadträume decodiert. Durch die Analyse verschiedener wahrnehmungsrelevanter Faktoren adressiert der vorgeschlagene Ansatz einen Themenbereich, der in der Stadtforschung bislang weitgehend als „Black Box“ galt. Über rein qualitative Beschreibungen hinaus existieren bislang nur wenige methodische Zugänge, die sich mit den schwer fassbaren, subjektiven Komponenten der Stadt als Untersuchungsgegenstand befassen.

Aus dieser Motivation heraus führt die Stadtraumdiagnostik einen integrativen Ansatz ein, der das subjektive Erleben von Stadträumen mit objektiv messbaren Faktoren kombiniert betrachtet. Denn die Wahrnehmung öffentlicher Stadträume wird nicht ausschließlich durch objektiv erfassbare Merkmale bestimmt, sondern maßgeblich auch durch das individuelle Komfortempfinden, das den praktischen Erfolg stadtplanerischer Maßnahmen wesentlich beeinflusst. Um diese beiden inhaltlichen (und oftmals sehr unterschiedlichen) Dimensionen auch methodisch adäquat abbilden zu können, wird in dieser Arbeit eine neuartige Methodenkombination eingeführt. Sie vereint die Analyse von zweidimensionalen Datengrundlagen, dreidimensionalen Remote-Analysen und Vor-Ort-Begehungen in einem gemeinsamen System. Die Methodenbausteine Stressorenabwicklung und Stressorenmatrix ermöglichen es dabei, die Ergebnisse dieser Analysen – trotz ihres umfangreichen Inhalts und methodischer Unterschiede – vergleichbar darzustellen.

Mit dieser Zusammenführung der inhaltlichen und methodischen Ebenen ist es schließlich gelungen, die Analyseergebnisse aus den Fallstudien in einer Form aufzubereiten, die einen Vergleich der verschiedenen Untersuchungsfaktoren durch den hohen Abstraktionsgrad und die Visualität vereinfacht. Dadurch konnten in fünf Fallstudien mit jeweils zwölf Untersuchungsfaktoren sechs neuralgische Stressfaktoren identifiziert werden: „EG-Zonen“, „Elemente“, „Straßenraumaufteilung“, „Verkehr“, „Ruhender Verkehr“ und „Akustik“.

8 WEITERER FORSCHUNGSBEDARF

Obwohl der vorgestellte Methodenansatz bereits zum jetzigen Stand wertvolle Einblicke in die menschliche Wahrnehmung von Stadträumen liefert, wird zugleich auch der weitere Forschungsbedarf ersichtlich.

Allen voran besteht ein weiterer Forschungsbedarf in den als Grundlage verwendeten Stressmessungen. Der präsentierte Ansatz basiert auf der Identifikation von Stress-Hotspots mittels Emotion-Sensing-Messungen, die physiologische Indikatoren wie Hautleitfähigkeit und Hauttemperatur zur Erfassung von Stressreaktionen nutzen. In Hinblick auf die Vielzahl an Methoden, die es gibt, um Stressreaktionen nachzuweisen, wäre es in diesem Kontext von großem Interesse, den vorgestellten Ansatz in Kombination mit weiteren physiologischen Indikatoren (z.B. Herzratenvariabilität) und Settings, wie z.B. Elektrokardiogramm (EKG)-Brustgurten oder mobilen Elektroenzephalogramm (EEG)-Geräten (Aspinall et al., 2015; Roe et al., 2023; Tawil et al., 2024).

Der vorgestellte methodische Ansatz ist als erste Entwicklungsstufe eines Planungswerkzeugs zu sehen. So könnte die Stadtraumdiagnostik in der Planungspraxis eine echte Hilfestellung für die Planung menschengerechter Stadträume darstellen. Denn der große Vorteil dieses Ansatzes ist, dass sowohl Bestandssituationen als auch verschiedene Planungsvarianten visuell miteinander vergleichbar gemacht werden können. Damit kann die Anwendung zukünftig das Monitoring von Transformationsprozessen wirkungsvoll unterstützen und einen Beitrag zur ganzheitlichen Planung von Stadträumen leisten. Kombiniert mit der Implementierung in die kommunalen 3D-Stadtmodelle könnte dann mit der Stadtraumdiagnostik ein wichtiger Perspektivwechsel gelingen. Analog zur „Smart City Platform“ von Ruohomäki et al. (2018), besteht hier das Potenzial, die digitalen Zwillinge um weitere Instrumente zu ergänzen und mit der Stadtraumdiagnostik im ganzheitlichen Sinne um eine reale, menschliche Bewertungsebene zu erweitern. Diesbezüglich erscheint es evident, dass die Systematisierung und Automatisierung der Methode einen zentralen Entwicklungsschritt darstellt. Erste Studien haben hier bereits gezeigt, dass reale Umgebungen durch die Auswertung von Street-Level-Aufnahmen analysiert werden

können (Seiferling et al., 2017). In der Weiterentwicklung der Stadtraumdiagnostik könnte somit ein Erfassungssystem konstruiert werden, das mit Machine Learning automatisiert die relevanten Objekte aus Bildmaterialien identifiziert, und, basierend auf spezifischen Trainingsdaten, kategorisiert. Langfristig könnte eine solche maschinelle Objekterkennung die direkte Überführung der identifizierten Merkmale in die Stressorenabwicklung ermöglichen.

9 DANKSAGUNG

Die präsentierten Ergebnisse sind Teil der Dissertation „Stadtraumdiagnostik“ von Dr. Nina Haug, die am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) veröffentlicht wurde. Die Arbeit wurde von Prof. Markus Neppel (KIT) und Prof. Dr. Hannes Taubenböck (JMU Würzburg) begutachtet und von Dr. Peter Zeile betreut, denen ein besonderer Dank gilt. Die Daten der Emotion-Sensing-Messungen stammen aus verschiedenen Kooperationen im Rahmen der Urban Emotions Initiative. Den Projektkonsortien der Forschungsprojekte ESSEM, Cape Reviso und Super Testsite Würzburg ist an dieser Stelle ausdrücklich zu danken.

10 REFERENZEN

- ASPINALL, P., MAVROS, P., COYNE, R., & ROE, J.: The urban brain: Analysing outdoor physical activity with mobile EEG. *British Journal of Sports Medicine*, 49(4), 272–276. 2015. (doi: 10.1136/bjsports-2012-091877)
- BOUCSEIN, W.: *Elektrodermale Aktivität: Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag. 1988. (doi: 10.1007/978-3-662-06968-4)
- CANNON, W. B.: The emergency function of the adrenal medulla in pain and the major emotions. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 33(2), 356–372. 1914. (doi: 10.1152/ajplegacy.1914.33.2.356)
- CHROUSOS, G. P., LORIAUX, D. L., & GOLD, P. W.: *Mechanisms of Physical and Emotional Stress*. New York: *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Volume 245, Springer Verlag. 1988. (doi: 10.1007/978-1-4899-2064-5)
- COZZOLINO, S., & MORONI, S.: Structural preconditions for adaptive urban areas: Framework rules, several property and the range of possible actions. *Cities*, 130, 103978. 2022. (doi: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103978>)
- DEUTSCHER STÄDTETAG: *Strategien für den Öffentlichen Raum – Ein Diskussionspapier*. 2006. (https://zora-cep.ch/cmsfiles/d_0608_staedtetag_strat_off_raum.pdf)
- EVANS, G. W.: The built environment and mental health. *Journal of Urban Health*, 80(4), 536–555. 2003. (doi: 10.1093/jurban/jtg063)
- GADO, S., JANNA, T., KAJA, K., MADITA, S., & AND GAMER, M.: The effect of social anxiety on social attention in naturalistic situations. *Anxiety, Stress, & Coping*, 1–17. 2024. (doi: 10.1080/10615806.2024.2424919)
- GEHL, J.: *Life between buildings: using public space*. Island Press. 2011.
- HAUG, N.: *Stadtraumdiagnostik – Ein Methodenansatz zur ganzheitlichen Untersuchung von Stadträumen*. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Karlsruhe, 2025. (doi: 10.5445/IR/1000183263)
- HAUG, N., SCHMIDT-HAMBURGER, C., & ZEILE, P.: Identifying urban stress and bicycle infrastructure relationships: a mixed-methods citizen-science approach. *Urban, Planning and Transport Research*, 11(1), 2267636. 2023. (doi: 10.1080/21650020.2023.2267636)
- HAUG, N., ZEILE, P., & NEPPL, M.: *Decoding Stress: Stegreif Dokumentation Sommersemester 2023* (Hrsg.: N. Haug, P. Zeile, & M. Neppel). Karlsruhe, 2023. (doi: 10.5445/IR/1000163061)
- HAUG, N., ZEILE, P., & NEPPL, M.: *Emotionen auf der Spur: Eine urbane Suche nach Stressoren beim Radfahren und Zufußgehen*. Karlsruhe, 2024. (doi: 10.5445/IR/1000173380)
- HLRS: *Kurzfassung Projektantrag Cape Reviso*. Stuttgart, 2020. (https://capereviso.hlrs.de/wp-content/uploads/2020/10/CapeReviso_Kurzbeschreibung_Web.pdf)
- KOSTOF, S., & CASTILLO, G.: *The City Assembled: The Elements of Urban Form Through History* (First edition). Boston, Toronto & London: Little, Brown and Company. 1992.
- KREFIS, A. C., AUGUSTIN, M., SCHLÜNZEN, K. H., OßENBRÜGGE, J., & AUGUSTIN, J.: How Does the Urban Environment Affect Health and Well-Being? A Systematic Review. *Urban Science*, 2(1). 2018. (doi: 10.3390/urbansci2010021)
- KYRIAKOU, K., & RESCH, B.: Spatial Analysis of Moments of Stress Derived from Wearable Sensor Data. *International Cartographic Association*, 2(Advances in Cartography and GIScience), 1–8. 2019. (doi: 10.5194/ica-adv-2-9-2019)
- LEDERBOGEN, F., KIRSCH, P., HADDAD, L., STREIT, F., TOST, H., SCHUCH, P., WÜST, S., PRUESSNER, J. C., RIETSCHEL, M., DEUSCHLE, M., & MEYER-LINDENBERG, A.: City living and urban upbringing affect neural social stress processing in humans. *Nature*, 474(7352), 498–501. 2011. (doi: 10.1038/nature10190)
- LYNCH, K.: *The image of the city*. MIT Press. 1960.
- MEHRABIAN, A.: *Räume des Alltags. Wie die Umwelt unser Verhalten bestimmt*. Frankfurt am Main: Campus Verlag. 1987.
- MEHRAN, N., KLUGE, U., & ADLI, M.: The CITY & the PSYCHE – A Chronology. In: S. Kühn (Hrsg.), *Environmental Neuroscience*, S. 355–389. Cham: Springer Nature Switzerland. 2024 (doi: 10.1007/978-3-031-64699-7_14)
- ROE, J., & MONDSCHHEIN, A.: Restorative Streets: A Conceptual Framework for Capturing – and Measuring – the Impact of Urban Streetscapes on Walkability and Mental Health. In: P. Eckart, M. Knöll, M. Lanzendorf, & K. Vöckler (Hrsg.), *Shaping Future Mobility Volume 2: Research*, S. 150–161. Berlin, Boston: Jovis. 2023. (doi: 10.1515/9783868597943-014)
- RUOHOMÄKI, T., AIRAKSINEN, E., HUUSKA, P., KESÄNIEMI, O., MARTIKKA, M., & SUOMISTO, J.: Smart City Platform Enabling Digital Twin. 9th International Conference on Intelligent Systems 2018: Theory, Research and Innovation in Applications, IS 2018 – Proceedings, 155–161. 2018. (doi: 10.1109/IS.2018.8710517)

- SEIFERLING, I., NAIK, N., RATTI, C., & PROULX, R.: Green streets – Quantifying and mapping urban trees with street-level imagery and computer vision. *Landscape and Urban Planning*, 165, 93–101. 2017. (doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.05.010>)
- SELYE, H.: *The stress of life*. New York: McGraw-Hill. 1956.
- SUPER TESTSITE: Measurement campaign „Super-Test-Site Würzburg.” Earth Observation Research Cluster, JMU Würzburg. 2024. (<https://remote-sensing.org/measurement-campaign-super-test-site-wuerzburg-first-week/>)
- TAWIL, N., & KÜHN, S.: The Built Environment and the Brain: Review of Emerging Methods to Investigate the Impact of Viewing Architectural Design. In: S. Kühn (Hrsg.), *Environmental Neuroscience* (S. 169–226). Cham: Springer Nature Switzerland. 2024. (doi: [10.1007/978-3-031-64699-7_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-64699-7_9))
- VENTURI, R., SCOTT BROWN, D., & IZENOUR, S.: *Lernen von Las Vegas. Zur Ikonographie und Architektursymbolik der Geschäftsstadt*. Bauwelt Fundamente, Vol. 53. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg Verlag. 1979.
- ZEILE, P., OBST, T., SCHMIDT-HAMBURGER, C., & HAUG, N.: A Multisensory Toolbox for Active Citizen Participation in Cycling Planning on Shared Real and Virtual Roads: A Case Study in Herrenberg, Germany. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 9–2024, 499–510. 2024. (doi: [10.14627/537752046](https://doi.org/10.14627/537752046))