

# Decoding Stress – ein interdisziplinärer Analyseansatz zur Identifikation Stress auslösender Faktoren für den urbanen Rad- und Fußverkehr

*Nina Haug, Peter Zeile, Markus Neppl*

(MSc. Nina Haug, Karlsruher Institut für Technologie KIT, Professur Stadtquartiersplanung STQP, nina.haug@kit.edu)

(Dr.-Ing. Peter Zeile, Karlsruher Institut für Technologie KIT, STQP, peter.zeile@kit.edu)

(Prof. Markus Neppl, Karlsruher Institut für Technologie KIT, STQP, markus.neppl@kit.edu)

DOI: 10.48494/REALCORP2024.7011

## 1 ABSTRACT

Wie nehmen wir Stadträume wahr, wenn wir mit dem Fahrrad oder zu Fuß unterwegs sind? An welchen Orten in der Stadt fühlen wir uns wohl, respektive unwohl und gestresst? Welche spezifischen Faktoren beeinflussen dabei unsere Emotionen? Und vor allem: Mit welchen Methoden können diese Einflussfaktoren entschlüsselt werden?

Ausgehend von den Emo-Cycling-Stressmessungen der Urban Emotions Initiative (Zeile et al., 2014), untersucht die Studie „Decoding Stress“ auffallende Stress-Hotspots für Radfahrende im urbanen Kontext. Im Fokus steht dabei die Entwicklung eines interdisziplinären und multimodalen Analyseansatzes zur Erweiterung der Stressorenanalyse. Neben diversen digitalen Analysemethoden beschäftigt sich der vorgestellte Forschungsansatz dabei intensiv mit der Erweiterung der Methodik um einen bislang vorwiegend im Bereich der Architektur und Stadtplanung bekannten, „analogen“ Werkzeugkasten (Eckart, 2014). Mithilfe dieses Methodenmix erprobt die Studie einen holistischen Analyseansatz, der erstmals quantifizierbare „harte“ Faktoren und qualifizierbare „weiche“ Faktoren gleichermaßen berücksichtigt. Die gewonnenen Erkenntnisse leisten einen Beitrag dazu, die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Stadt- und Verkehrsplanung zu fördern und gemeinsame Lösungsansätze für qualitätsvolle und menschengerechte öffentliche Stadträume zu erarbeiten.

In diesem Beitrag werden die im Jahr 2023 durchgeführten Stressorenanalysen aus den vier Fallstudien in den Untersuchungsstädten Karlsruhe und Osnabrück vorgestellt und miteinander verglichen. Dabei werden die angeführten Analysen einerseits inhaltlich hinsichtlich erster gewonnener Erkenntnisse ausgewertet und andererseits die angewandte Methodik evaluiert und hinsichtlich einer möglichen Weiterentwicklung geprüft.

Keywords: Emotion Sensing, aktive Mobilität, Stressforschung, Stadtwahrnehmung, Stadtplanung

## 2 EINLEITUNG

### 2.1 Stadt, Mobilität und Lebensqualität

Seit der Errungenschaft des Autos und dem damit verbundenen autogerechten Umbau unserer Städte in den 60er Jahren hat sich das Mobilitätsverhalten unserer Gesellschaft stark gewandelt. Trotz der unveränderten Beliebtheit des Autos, das in Deutschland immer noch für rund 57 Prozent aller Wege genutzt wird (BMVI, 2018), gewinnen aktive Mobilitätsformen, wie zum Beispiel der Radverkehr, vor allem in den urbanen Ballungsgebieten jeeoch zunehmend an Bedeutung. Aber auch erst kürzlich neu hinzugekommene Verkehrsmittel wie Pedelecs, E-Roller und Lastenräder konfrontieren den öffentlichen Raum mit neuen Herausforderungen. Diese zunehmende Überlastung unserer öffentlichen Räume beginnt sich jedoch zunehmend in Form von Staus, Luftverschmutzungen und steigenden Unfallzahlen negativ auf die Lebensqualität in den Städten auszuwirken. Sowohl die Politik, als auch die Verwaltung und Planung sehen sich deshalb nunmehr dazu aufgefordert, sich diesem Problem zu stellen und nachhaltige, menschengerechte Lösungen für die Mobilität in unseren Städten zu entwickeln. Im Rahmen dieser „Rückeroberung“ des öffentlichen Raums durch den Menschen, ist es dabei vor allem der Rad- und Fußverkehr (auch: „Langsamverkehr“), der im urbanen Raum als eine gesunde, flächensparende und vor allem klimafreundliche Form der Mobilität (BMDV, 2022), eine Schlüsselrolle einnimmt.

An der aktuellen Aufteilung des bundesweiten Modal Splits nach Raumtypen (BMVI, 2018) lässt sich diesbezüglich gut erkennen, welche Wichtigkeit dabei dem Faktor Urbanität beizumessen ist. In Abbildung 1 werden die Langsamverkehrsanteile im Vergleich zu den restlichen Verkehrsmitteln (Auto und ÖPNV) dargestellt. Festzustellen ist dabei, dass der Anteil des Langsamverkehrs am Gesamtverkehrsaufkommen in

Metropolen bei überdurchschnittlichen 42 Prozent liegt, wohingegen er in ländlichen Regionen im dörflichen Raum nur rund 24 Prozent beträgt. Dieser extreme Unterschied lässt sich zum Großteil durch das vielfältige und gut erreichbare Angebot im urbanen Raum begründen. Denn ganz nach dem Leitbild der 15-Minuten-Stadt (Kurth, 2021) werden aktive Mobilitätsformen vorrangig innerhalb solcher Raumtypen genutzt, in denen die Wegstrecken nur wenige Kilometer betragen.

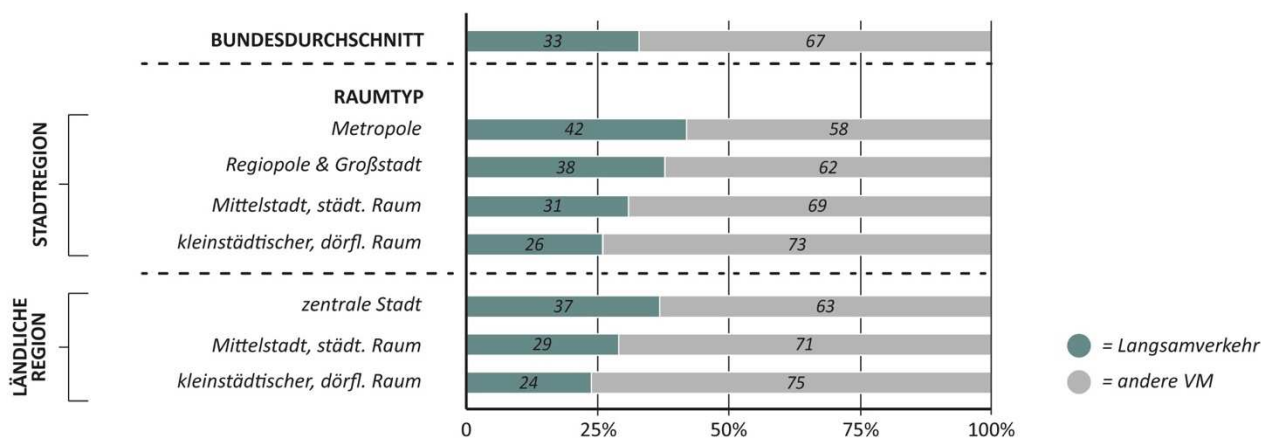


Abb. 1: Langsamverkehrsanteile im Modal Split nach Raumtypen. (Quelle: Eigene Darstellung nach Datenquelle BMVI, 2018)

Darüber hinaus wird die Entscheidung der Nutzerinnen und Nutzer für oder gegen das Fahrrad, beziehungsweise das Zufußgehen, jedoch maßgeblich auch von Aspekten des Wohlbefindens und Sicherheitsempfindens beeinflusst. In diesem Kontext konstatiert auch der Nationale Radverkehrsplan 3.0, dass sich eine Person nur dann für ein Verkehrsmittel entscheidet, wenn sie dieses subjektiv als sicher einstuft (BMDV, 2022).

## 2.2 Identifikation symptomatischer Räume

In Bezug auf die Förderung aktiver Mobilitätsformen im urbanen Kontext wird es zukünftig immer wichtiger werden, stressfreie Umgebungen für den Rad- und Fußverkehr zu schaffen. Es erscheint daher evident, dass der Identifikation und Untersuchung von neuralgischen Stresspunkten für den Rad- und Fußverkehr eine zentrale Rolle zugeschrieben werden muss. In diesem Kontext stellt die Methode des Emotion Sensings, beziehungsweise auf das Fahrradfahren bezogen die EmoCycling-Methode, seit einigen Jahren eine bedeutende Innovation in der Stadtplanung (Polis Magazin, 2022) dar. Mithilfe dieser Stressmessungen ist es schließlich gelungen, das subjektive Empfinden von Probanden während ihrer Bewegung durch die Stadt anhand biostatistischer Marker objektiv messen zu können (Höffken et al., 2014; Zeile et al., 2014). Die Ergebnisse der Messungen werden als Heatmaps visualisiert und bieten standortgenaue Informationen darüber, an welchen Punkten die Probanden Stress, respektive keinen Stress empfunden haben. Allerdings können mithilfe dieses Verfahrens keine Rückschlüsse auf die Ursachen, die die physiologisch messbare Stressreaktion bei den Probanden ausgelöst haben, gezogen werden.

## 2.3 Forschungslücke Stressorenanalyse

Die dringend erforderliche Ursachenforschung (Stressorenanalyse), die auf diesen Erkenntnissen aufbaut, steht derzeit jedoch noch am Anfang ihrer Entwicklung. Die Mehrheit der in diesem Kontext angeführten Studien fokussieren sich in diesem Zusammenhang jedoch auf eine reine Analyse der Verkehrssituation, wie beispielsweise der Untersuchung von Führungsformen und Spurbreiten. Vereinzelt wird dabei auch auf „digitalen“ Analysetools, meist in Form von Entwicklungen aus der Sensorik, zurückgegriffen. Diese berücksichtigen allerdings ausschließlich quantifizierbare „harte“ Faktoren und können im Rahmen einer Ursachenforschung lediglich ein fragmentarisches Bild der Situation liefern.

Im Gegensatz dazu verfolgt der Ansatz der hier vorgestellten Studie das Ziel, den Einfluss qualifizierbarer „weicher“ Faktoren und die damit verbundenen Einsatzmöglichkeiten „analoger“ Analysemethoden näher zu erforschen. Mithilfe eines multimodalen und interdisziplinären Ansatzes soll es dadurch ermöglicht werden, die spezifischen räumlichen Situationen der identifizierten Stress-Hotspots ganzheitlich zu betrachten. Dabei sollen erstmals nicht nur verkehrsplanerische, sondern auch stadträumliche Faktoren berücksichtigt werden.

### 3 STAND DER FORSCHUNG

#### 3.1 Das Phänomen Stress

##### 3.1.1 Stress als physiologische Reaktion des menschlichen Körpers

Nach dem gängigen Stressmodell von Selye wird Stress als die Summe aller Anpassungsvorgänge und Körperreaktionen bezeichnet, mit denen ein Lebewesen auf seine Umwelt reagiert (Selye, 1956). Übertragen auf den Menschen bedeutet dies, dass das Erleben einer Stresssituation zu einer biophysiologicalen Reaktion im menschlichen Körper führt. Diese Reaktion läuft wie folgt ab: Wird der Mensch einem Stimulus ausgesetzt und empfindet dadurch Stress, so schüttet der Körper Hormone aus, die bestimmte Teile des Nervensystems (HHN-Achse und autonomes Nervensystem) aktivieren. Damit versucht der Körper, den Stress auszugleichen und den Zustand der Homöostase, also einen „stabilen“ Zustand, wiederherzustellen. Für diese Anpassung verändert der Körper mitunter die Herzrhythmickeit, Schweißdrüsenaktivität und die Hauttemperatur (Chrousos et al., 1988; Boucsein, 1988; Kreibitz, 2010). Diese messbaren physiologischen Signale können als Indikatoren eindeutig in Verbindung mit der Reaktion des menschlichen Körpers auf eine Stresssituation gebracht werden (Karthikeyan et al., 2013). Heutige Messungen im Kontext des Emotion Sensings greifen hauptsächlich auf die Elektrodermale Aktivität (EA) zurück, die als empfindlichster und zuverlässigster Marker für eine emotionale Erregung (Kyriakou, Resch, et al., 2019) gilt.

##### 3.1.2 Stress im urbanen Kontext

Die Wahrnehmung seiner Umwelt ist stark im Inneren des Menschen verwurzelt. Wenn sich der Mensch durch einen Raum bewegt, ist er unterbewusst stetig damit beschäftigt, die auf ihn einwirkenden Umweltreize zu verarbeiten und sich ein inneres Bild seiner Umwelt anzufertigen (Lynch, 1965). Zurückzuführen ist der Vorgang dieser inneren Verbildlichung dabei auf das natürliche Bedürfnis des Menschen nach Orientierung, beziehungsweise der Notwendigkeit eines Bezugssystems, das für seine ursprüngliche Lebensweise überlebensnotwendig war. Noch heute bezieht sich die menschliche Wahrnehmung seiner Umwelt, respektive sein Bild der Stadt, deshalb auf ihm bekannte, wiederkehrende und ablesbare Elemente. Zur Erkennung dieser Elemente und Verarbeitung der auf ihn einwirkenden Umweltreize aktiviert der Mensch deshalb unterbewusst all seine Sinne. Je nachdem, ob im Rahmen dieser unterbewussten Verarbeitung eine positive oder negative Wahrnehmung überwiegt, empfindet der Mensch dann Sicherheit und Wohlbefinden oder Unbehagen (Mehrabian, 1987).

Die Umwelt „Stadt“ gilt in diesem Zusammenhang als eine der komplexesten Umwelten mit einem äußerst hohen Reizvolumen für den Menschen (Mehrabian, 1987). In unseren heutigen Stadträumen sind wir demnach einer solch enormen Masse an Reizen ausgesetzt, dass sich die Auswirkungen von einzelnen Reizen auf unser Empfinden kaum noch herausfiltern lassen. Bei der Stressforschung im urbanen Kontext muss deshalb immer das Zusammenspiel unterschiedlicher Faktoren und dessen Auswirkungen auf das menschliche Empfinden betrachtet, beziehungsweise eine Art von „Rauschen“ mitberücksichtigt werden.

##### 3.1.3 Stressdetektion mithilfe der EmoCycling-Methode

Das Messen, Verorten und Visualisieren von Stress im urbanen Kontext sind die Grundpfeiler der heute in zahlreichen Forschungsprojekten angewandten Methodik des Emotion Sensings, beziehungsweise des EmoCyclings (Zeile et al., 2021; Haug et al., 2023a). Die Ursprünge dieser Methode gehen dabei auf Christian Nold zurück, der für seine „emotionalen Kartografien“ im Jahr 2009 ein eigenes „Bio-Mapping“-Gerät (Nold, 2009) entwickelte. Damit wurde es erstmals möglich, die messbaren Stress-, beziehungsweise Erregungszustände georeferenziert innerhalb eines situativ-räumlichen Kontexts aufzuzeichnen und visualisieren.

In den späten 2000er Jahren wurden die Methode dann von der Urban Emotions Initiative an der TU Kaiserslautern und der Universität Heidelberg mit einem ähnlichen Aufbau erprobt und erste Stadtkartierungen vorgenommen (Zeile et al., 2010). Später wurde dieser Ansatz vor allem am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Paris Lodron Universität Salzburg (PLUS) weiterentwickelt. Schnell konnte im Rahmen dieser ersten Annäherungen festgestellt werden, dass sich die Methode mit der sekundengenauen Messung des emotionalen Zustands der Probanden auch bestens für die Anwendung im Kontext des Fahrradfahrens (Höffken et al., 2014) eignet.

Das Setting der seither als „EmoCycling“ bekannten Methodik wurde daraufhin weiter optimiert und erzielte schnell einen Durchbruch in der Radverkehrsforschung. Die Messungen werden nunmehr lediglich mithilfe eines Sensorarmbandes (Empatica E4) und einem Smartphone durchgeführt (Zeile et al., 2021; Zeile et al., 2022; Werner et al., 2019). Das Sensorarmband misst dabei die Vitaldaten der Probanden (Hautleitfähigkeit und Hauttemperatur), synchronisiert diese mithilfe des Smartphones mit den dazugehörigen GPS-Daten und sammelt sie in einer App. Das Auswertungsmuster ist seit den Anfängen der Methodik unverändert: Eine Stressreaktion, auch Moment of Stress (MOS) genannt, wird dann identifiziert, wenn direkt nach einem Reiz ein temporärer Anstieg der Hautleitfähigkeit in Kombination mit einem Absinken der Hauttemperatur messbar ist.



Abb. 2: Heatmap als Ergebniskarte der EmoCycling-Messungen in Karlsruhe (links) und Setting mit Smartband Empatica E4 und Smartphone (rechts). (Quelle: Eigene Darstellung nach Datenquelle Cape Reviso)

Die ausgewerteten Datensätze werden daraufhin mithilfe eines Geoinformationssystems (GIS) georeferenziert dargestellt und einer Kerndichteschätzung (KDE) unterzogen, um räumliche Cluster zu ermitteln. Die so entstehende Visualisierung der Ergebnisse wird umgangssprachlich auch als „Heatmap“ bezeichnet. Über die verwendete Farbcodierung der Heatmap kann dann ausgewertet werden, in welcher Intensität und an welcher geografischen Position die Probanden Stress, beziehungsweise keinen Stress empfunden haben. Die entsprechend der Farbcodierung rot dargestellten Punkte, sogenannte „Hot-Spots“, symbolisieren dabei eine Konzentration der gemessenen Stressmomente, wohingegen in den blau dargestellten Bereichen verhältnismäßig weniger Stressmomente gemessen wurden.

### 3.2 Stressorenanalyse

Im Kontext der Stressorenanalyse ist bislang eine starke Ausrichtung auf verkehrsspezifische Faktoren und deren Erhebung mithilfe von digitalen Analysemethoden zu beobachten. Die Einsatzmöglichkeiten von analogen, beziehungsweise grafisch und visuell arbeitenden, Analysemethoden, wie sie aus der Stadtforschung und -planung bekannt sind, bleiben in diesem Kontext jedoch noch weitestgehend unerforscht. Im Folgenden soll ein Überblick über sowohl die bisherigen Ansätze aus der Radverkehrsforschung, als auch über allgemeine Ansätze zur Erforschung von Stadträumen aus der Stadtforschung gegeben werden.

#### 3.2.1 Ursachenforschung in der Radverkehrsforschung mithilfe „digitaler“ Analysemethoden und Crowdsourcing-Ansätzen

Mit ihrem Forschungsfeld der Radverkehrsforschung gilt die Disziplin der Verkehrsplanung als Vorreiter der Stressorenanalyse. Insbesondere was das sensorengestützte Messen verkehrsspezifischer Faktoren anbelangt, kann hier mittlerweile auf ein relativ großes Methodenspektrum zurückgegriffen werden. Zu nennen sind hier beispielsweise Entwicklungen wie der OpenBikeSensor (OpenBikeSensor, 2023) zur Abstandsmessung bei Überholvorgängen, beziehungsweise sein Pate, der Radmesser (Tagesspiegel, 2018). Aber auch experimentelle Ansätze, wie der Einsatz von Eye-Tracking-Geräten zur Überprüfung der Blickerfassung von Beschilderungen (Walther et al., 2022) kommen in ersten Studien zum Einsatz. Aber hinsichtlich einer simultanen Erhebung mehrerer Untersuchungsparameter gibt es erste Studienansätze, wie zum Beispiel das von der Hochschule Karlsruhe entwickelte „SensorBike“ (Temmen, 2020). Als multisensorisches Messfahrrad sind im SensorBike mitunter ein Leistungsmesser, Vitalsensoren, Beschleunigungs- und



Erschütterungssensoren, ein Abstandsmesser und Kameras, sowie Sensoren zur Erhebung spezifischer Umweltfaktoren. Vor allem durch die Verknüpfung der verschiedenen gesammelten Datensätze können im Kontext der Auswertung neue Erkenntnisse für die Stressorenanalyse generiert werden.

In den letzten Jahren konnte darüber hinaus auch durch die zunehmend auch im Freizeit-Radsport ankommende Digitalisierung neue Möglichkeiten zur partizipativen Datenerfassung und -auswertung (Lißner et al., 2018) experimentiert werden. In diesem Kontext bietet insbesondere das Smartphone als ein ubiquitärer und multifunktionaler Sensor (Eckart et al., 2020) mannigfaltige Möglichkeiten, um spezifische Bewegungs- und Umweltdaten zu erheben. Verschiedene, meist frei verfügbare Applikationen bieten hier eine sehr niederschwellige Anwendungsmöglichkeit. Darüber hinaus konnten auch durch die wachsende Beliebtheit sozialer Sport-Netzwerke erste Erfolge in der Nutzung von Big Data in der Radverkehrsforschung erzielt werden. Insbesondere die Radverkehrsdatensätzen der Provider „Strava“ und „BikeCitizens“ bieten hinsichtlich der Evaluation kommunaler Radverkehrsnetze zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten (Lißner et al., 2018). Mit den Analysefunktionen der beiden Provider können zum Beispiel die analysierten Fahrgeschwindigkeiten und die Wartezeiten an Ampeln direkt mit gemiedenen, beziehungsweise bevorzugten Streckenabschnitten in Beziehung gesetzt werden.

### 3.2.2 Analysemethoden aus der Stadtforschung

Als ein interdisziplinäres Forschungsfeld steht die Stadtforschung im engen Zusammenhang sowohl mit der Geografie, der Anthropologie, der Soziologie und der Ethnologie, als auch mit einigen anderen raumbezogenen Forschungsfeldern (Pelger et al., 2021). Im Kontext ihres Forschungsgegenstandes ist diese Interdisziplinarität notwendig, um das komplexe Raumgefüge Stadt nicht nur beschreibend in ihrer Theorie, sondern auch in ihrer Dynamik als ein sich stetig verändernder Raum zu durchdringen. In der Erforschung von Stadt gibt es deshalb kein vordefiniertes Forschungsdesign, wie es in anderen wissenschaftlichen Disziplinen Usus ist, sondern es wird meist auf eine Kombination unterschiedlicher Methoden zurückgegriffen (Eckardt, 2014). Innerhalb der Stadtforschung kann somit auf einen breiten Fächer an Analysemethoden und entsprechender Darstellungsmöglichkeiten zurückgegriffen werden, die je nach Umfang und Art der Aufgabe ganz unterschiedliche Analyseaspekte und Detailtiefen bearbeiten können. Mitunter sind dabei Interviews, Beobachtungen, Kartierungen, Mappings, Fotografien und künstlerische Annäherungen als gängige Methoden zu nennen (Eckardt, 2014). Die mithilfe dieser visuellen und grafischen Methoden entstehenden Analysegrafiken können im Rahmen komplexer Aufgabenstellungen dabei helfen, die Grenzen des digital Erfassbaren, beziehungsweise quantitativ Messbaren zu überwinden.

In diesem Zusammenhang geht es bei der Erforschung von Stadträumen jedoch nicht nur um eine Erhebung und Analyse vorhandener raumbezogener Daten, sondern insbesondere um ein In-Beziehung-Setzen der Daten (Pelger et al., 2021). Im Rahmen von Mixed-Methods-Ansätzen können so zum Beispiel durch die Kombination von räumlichen Darstellungen mit anderen Datensätzen, respektive Werkzeugen, wie zum Beispiel abstrahierten Illustrationen oder fotografischen Annäherungen, neue Erkenntnisse gewonnen werden.

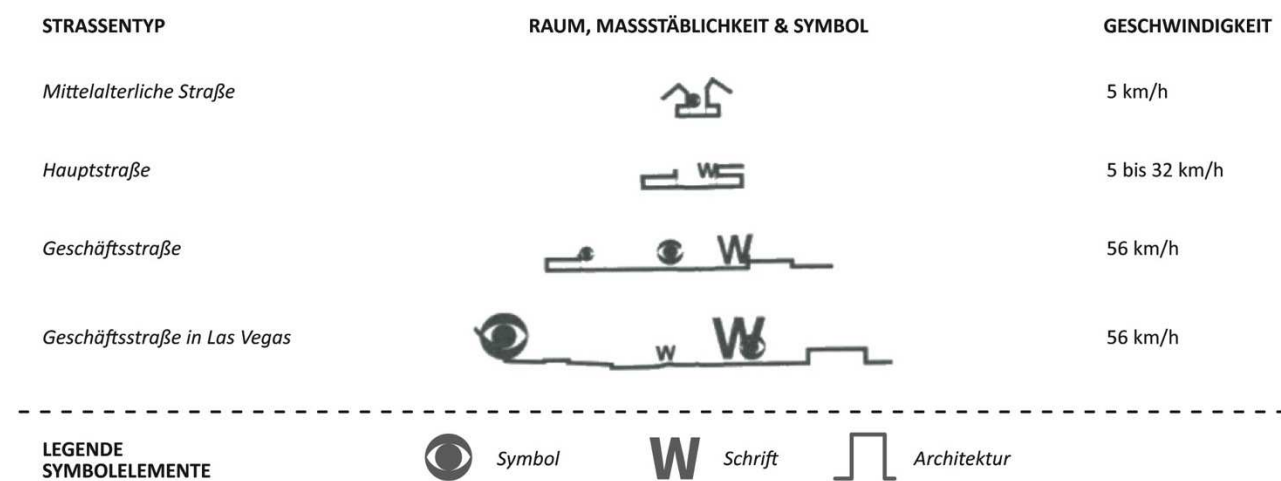


Abb. 3: Schnittanalyse verschiedener Straßenräume im Vergleich zu Las Vegas in Bezug auf Raum, Maßstab, Symbol und Geschwindigkeit. (Eigene Darstellung nach Venturi et al., 1979; Beschriftung und Anordnung der Ursprungsgrafik verändert)

Abbildung 3 zeigt in diesem Kontext eine frühe analytische Annäherung Robert Venturis Ende der 70er Jahre (Venturi et al., 1979), die im Kontext der Analyse von Straßenräumen und Symbolik der Geschäftstadt Las Vegas durchgeführt wurde. Dabei kombiniert Venturi nach dem Mixed-Methods-Ansatz eine Schnittanalyse mit der abstrahierten Darstellung der vor Ort beobachteten Symbolik und den Bewegungsgeschwindigkeiten. Durch die vergleichende Darstellung und die Kombination der analysierten Inhalte wird in der Analysegrafik die Beziehung zwischen verschiedenen Bewegungs-, beziehungsweise Fahrgeschwindigkeiten und der daran angepassten Dimension von Stadträumen und Symbolen deutlich.

## 4 ANWENDUNG DES INTERDISZIPLINÄREN STRESSFORSCHUNGSANSATZES

### 4.1 Aufbau und Durchführung der Studie

Im folgenden Abschnitt, der sich dem Aufbau und der Durchführung der Studie widmet, wird sowohl auf die Auswahl und den Aufbau der Fallstudien eingegangen, als detailliert die Entwicklung der Methodik erläutert.

#### 4.1.1 Datengrundlage der Untersuchungen: EmoCycling-Heatmap

Als eine wichtige Grundlage dienen der Studie die Heatmaps der EmoCycling-Stressmessungen aus den aktuellen Projekten der Urban Emotions Initiative „Cape Reviso“ innerhalb der Untersuchungsstadt Karlsruhe (Zeile et al., 2021), sowie „ESSEM“ innerhalb der Untersuchungsstadt Osnabrück (Haug et al., 2023). Die entstandenen Heatmaps dienen der vorliegenden Studie als ein erster Überblick über die neuralgischen Stress-Hotspots und bilden die Grundlage für die Auswahl der Fallstudien.

Die EmoCycling-Messungen in Karlsruhe wurden im Winter 2021/22 durchgeführt. Dabei wurden die Stressreaktionen von insgesamt 17 Radfahrenden auf einer vorgegebenen Route gemessen. Nach Abzug einiger fehlerhafter Datensätze konnten bei dieser Erhebung 26 Tracks gesammelt werden und dabei 1121 Moments of Stress detektiert werden. In Osnabrück kann hingegen auf einen deutlich umfangreicheren Datensatz zurückgegriffen werden. Die Messungen wurden hier mehrphasig als Freifahrten konzipiert und im Herbst 2022 durchgeführt. Die 28 teilnehmenden Probanden sammelten auf ihren alltäglichen Fahrradfahrten insgesamt rund 480 Tracks. Dabei konnten rund 13.000 Stressmomente gemessen werden.

#### 4.1.2 Strukturanalysen in den Untersuchungsstädten Karlsruhe und Osnabrück

Im weiteren Verlauf setzt die Studie Decoding Stress die vorliegenden Heatmaps in Beziehung mit den prägenden Strukturelementen Karlsruhes und Osnabrücks (siehe Abbildung 4). Methodisch werden dabei frei verfügbare Datensätze der Plattform OpenStreetMap zu verschiedenen Themenbereichen, wie zum Beispiel zu Freiraumnetz, Baustruktur und Nutzungsverteilungen, in einem GIS-Programm inhaltlich und grafisch aufbereitet. Durch das Rückkoppeln der verschiedenen Strukturelemente mit dem Layer der EmoCycling-Heatmap können daraus auffällige Räume identifiziert werden, die sich als potentielle Fallstudien für die Stressorenanalyse eignen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig hervorzuheben, dass bei diesem Prozess nicht allein die Intensitäten der Stress-Hotspots entscheidend waren, sondern vor allem auch stadtstrukturell und räumlich bedeutsame Orte ausgewählt wurden.

In diesem Zusammenhang werden in der „Fächerstadt“ Karlsruhe insbesondere die räumlichen Schnittstellen zu den prägenden „Strahlen“ als potentielle Untersuchungsgebiete identifiziert. Darüber hinaus konnten entlang dieser Strahlenstruktur vor allem die hochfrequentierten Bereiche des Zentrums, in denen sich eine Vielzahl an Nutzungen ballen, als symptomatische Räume identifiziert werden. In Osnabrück sind es hingegen vor allem die Verbindungen, die über die mehrspurige Ringstraße in Richtung des historischen Zentrums führen.

#### 4.1.3 Auswahl der Untersuchungsgebiete K1, K2, O1 und O2 als Fallstudien

Nach diesem Auswahlverfahren werden in den beiden Untersuchungsstädten jeweils zwei Stadträume als Untersuchungsgebiete für die Fallstudien definiert. Abbildung 4 zeigt in diesem Zusammenhang eine Übersicht für die Stadt Karlsruhe. Für die Untersuchungsstadt Karlsruhe wird die erste Fallstudie „K1“ auf dem Bereich um den Ludwigsplatz definiert, der sich im westlichen Teil des Stadtzentrums befindet. Neben den stadtstrukturell prägenden Elementen, dem Verlauf wichtiger Fahrradrouten und der hohen Frequentierung können in diesem Gebiet verschiedene Raumannsprüche und -konflikte beobachtet werden. Der Bereich um den Lidellplatz, beziehungsweise entlang des Strahls der Adlerstraße, wird als Fallstudie „K2“ definiert. Dieser Stadtraum weist eine deutlich geringere Nutzungsdichte auf und ist weniger von

Zufußgehenden frequentiert. Der Lidellplatz ist als autofreie Zone ausgewiesen, entlang der Adlerstraße wird der Radverkehr jedoch gemeinsam mit dem MIV geführt und beidseitige Parkzonen ausgewiesen.

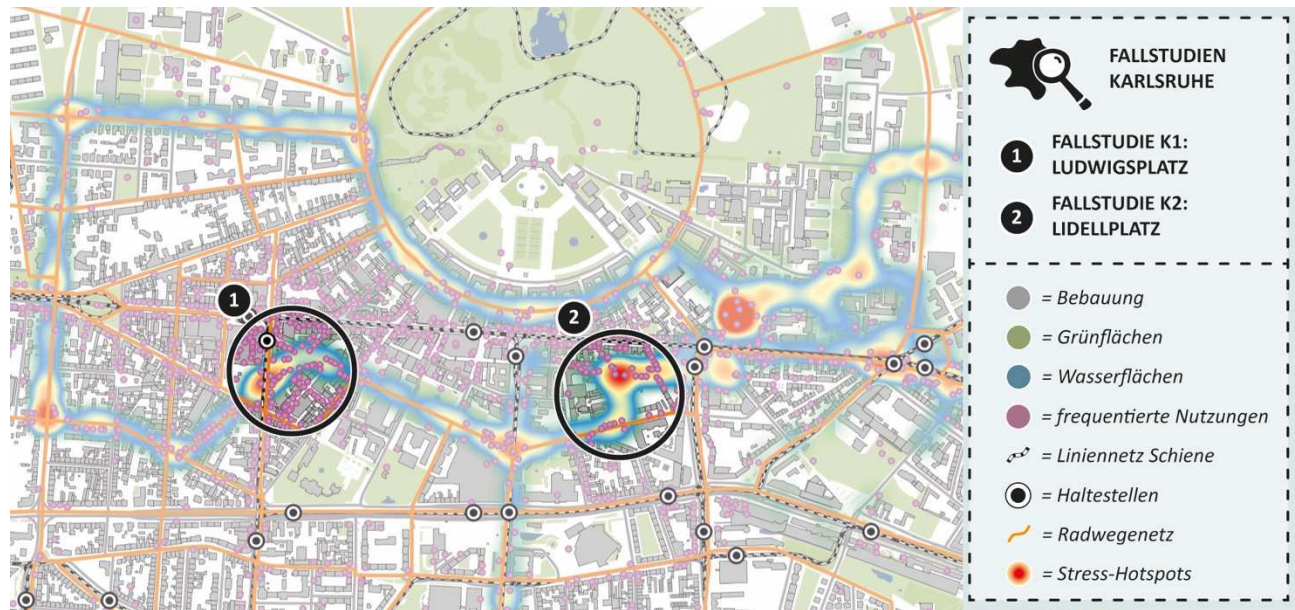


Abb. 4: Strukturanalyse und Auswahl Fallstudien Stadt Karlsruhe. (Quelle: Eigene Darstellung nach Datenquelle OpenStreetMap, Heatmap nach Datenquelle Cape Reviso)

In Osnabrück wurden nach der gleichen Vorgehensweise daraufhin zwei Bereiche im nördlichen Stadtzentrum für die Fallstudien ausgewählt. Als Fallstudie „O1“ wurde dabei der nördliche Stadteingang definiert. Der Radverkehr wird hier über die Hauptverkehrsachse des Wallrings und die Kunsthalle in Richtung Innenstadt geführt, und wird vor Beginn der Fußgängerzone in einer scharfen Kurve nach Osten umgeleitet. In diesem Stadtraum sind vor allem die historisch bedingten, kleinteiligen Baustrukturen und geringen Straßenquerschnitte von besonderem Interesse. Die Fallstudie „O2“ behandelt den Bereich entlang der Dielingerstraße und der Lortzingstraße. Hier sind vor allem die kreuzende Fußgängerzone, die gemeinsame Führung mit dem Busverkehr, sowie der weitläufige Platz des Domhofs von Bedeutung.

#### 4.1.4 Testlauf in Fallstudie K1 im April 2023

Der interdisziplinäre Ansatz der Studie Decoding Stress wurde zunächst im April 2023 im Rahmen einer ersten Annäherung innerhalb des Untersuchungsgebiets K1 in Karlsruhe erprobt. Im Rahmen dieses Testlaufs wurde mit einem Pool aus 23 potentiellen Einflussfaktoren und verschiedenen, explorativen Analysemethoden experimentiert (Haug et al., 2023b). Dabei konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass vor allem durch die Kombination aus objektiven Bestandsaufnahmen und dem Mapping der eigenen, subjektiven Eindrücke und Wahrnehmungen ein Mehrwert für die Stressorenanalyse entsteht. Die Untersuchungsergebnisse des Testlaufs wurden in einer einheitlichen Form mithilfe von räumlichen Analyseplänen, einer fotografischen Dokumentation und einer schematischen Übersetzung der Ergebnisse dokumentiert (Haug et al., 2023c).

#### 4.1.5 Untersuchungsfaktoren und Analysemethoden

Mit der Auswertung der Ergebnisse des Testlaufs konnten für die geplanten Erhebungen in den vier Fallstudien 12 Untersuchungsfaktoren mit ihren dazugehörigen Unterparametern als Gegenstand der im Sommer 2023 durchgeführten Fallstudien festgehalten werden. Abbildung 5 zeigt die Faktoren und ihre Zuordnung in fünf grundlegende Themenbereiche. Neben baulichen, freiraumspezifischen, gestalterischen und verkehrlichen Faktoren werden dabei für die Studie Decoding Stress auch sensorische Faktoren, wie zum Beispiel die Wahrnehmung von Gerüchen, Geräuschen und Lärm als Untersuchungsfaktoren definiert.

In einem nächsten Schritt wurden dann für jeden Untersuchungsfaktor mithilfe der Ergebnisse des Testlaufs adäquate Analysemethoden evaluiert und in einem Datenerhebungsplan festgehalten. Dabei kann grundlegend zwischen der „digitalen“ Analyse mithilfe von frei verfügbaren OpenStreetMap-Datensätzen und Luftbildern und der „analogen“ Analyse durch Begehungen und ihrer Dokumentation in Mappings unterschieden werden. Bei einigen Faktoren wurden die beiden Methoden auch miteinander kombiniert.



BAULICHE FAKTOREN	FREIRAUMSPEZIF. FAKTOREN	GESTALTERISCHE FAKTOREN	VERKEHRLICHE FAKTOREN	SENSUELLE FAKTOREN
<b>Bauliche Dichte:</b> Geschosse & Parzellierung  <b>EG-Zonen:</b> Nutzungen & Räumliche Ausbreitung  <b>EG-Gestaltung:</b> Öffnungen & Symbolik	<b>Freiräume:</b> Nutzungen & Frequentierung  <b>Bodenbelag:</b> Zustand & Materialität	<b>Elemente:</b> Bäume & Festes Mobiliar  <b>Straßenraum:</b> Aufteilung & Querschnitt	<b>Verkehr:</b> Dichten & Teilnehmer  <b>Kreuzungspunkte:</b> Ströme, Querung & Überwindsbarkeit  <b>Ruhender Verkehr:</b> Parken, Wildparken & Ausfahrten	<b>Olfaktorik:</b> Gerüche & Assoziationen  <b>Akustik:</b> Geräusche & Wahrnehmung

Abb. 5: Untersuchungsfaktoren und Unterparameter nach Themengebieten.

#### 4.1.6 Übersetzungsmethodik

Aufgrund des verfolgten interdisziplinären Ansatzes, ist es ein besonderes Anliegen der Studie, die einzelnen Ergebnisse der durchgeführten Erhebungen in einer möglichst vergleichbaren Form zu visualisieren. Abbildung 6 zeigt in diesem Zusammenhang, wie das räumliche Grundgerüst einer jeden Fallstudie hierzu zunächst in eine Bewegungslinie und die abgehenden Straßenkreuzungen und -einmündungen seziiert wird. In einem nächsten Schritt wird aus diesen Elementen dann ein Schema übersetzt, das die Bewegungslinie als x-Achse und die abgehenden Straßen als Fixpunkte markiert. In der so entstehenden „Stressorenabwicklung“ können dann die verschiedenen Ausprägungen der analysierten Parameter mittels einer individuell gewählten Skala auf der y-Achse eingetragen werden.

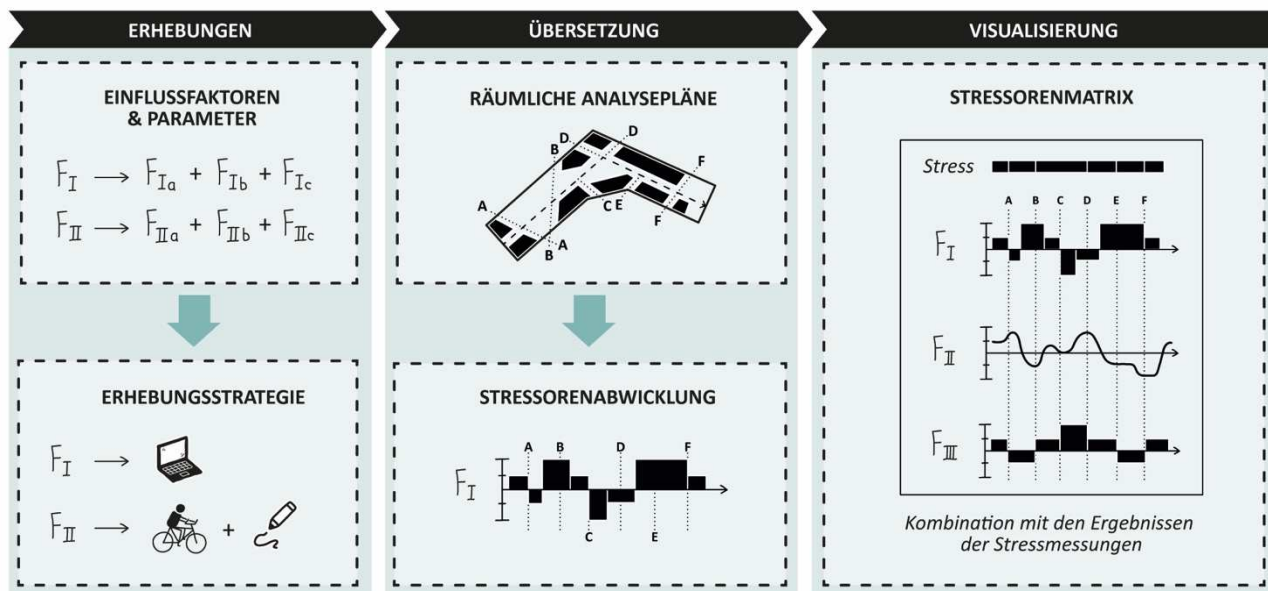


Abb. 6: Entwicklung der Methodenbausteine Stressorenabwicklung und Stressorenmatrix.

Durch die anschließende Gegenüberstellung der Stressorenabwicklungen in der „Stressorenmatrix“ und die Kombination mit den Ergebnissen der Stressmessungen (Abbildung 6, rechte Spalte) können dann die verschiedenen Zusammenhänge der Faktoren ausgewertet werden. Durch diese vergleichende Gegenüberstellung kann dabei gesichert werden, dass alle Faktoren aus den unterschiedlichen Themengebieten und Disziplinen dabei gleichwertig in die Auswertung einfließen können.

## 5 ERGEBNISSE

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse des interdisziplinären Stressforschungsansatzes behandelt, die aus den Erhebungen in den vier Fallstudien K1, K2, O1 und O2 entstanden sind.

### 5.1 Stressorenmatrizen

Abbildung 7 zeigt einen Auszug aus der Stressorenmatrix der Fallstudie K1 in der Untersuchungsstadt Karlsruhe. Von den 12 Untersuchungsfaktoren werden in dieser exemplarischen Übersicht die drei Faktoren „Verkehr“, „Erdgeschoss-Gestaltung“ und „Ruhender Verkehr“ gezeigt und gemäß der Methodik der



Stressorenmatrix mit den Ergebnissen der Stressmessungen in Beziehung gesetzt. Auffällige Stress-Hotspots zeichnen sich an der Kreuzung zur Karlstraße, sowie an der Einmündung zur Bürgerstraße ab.

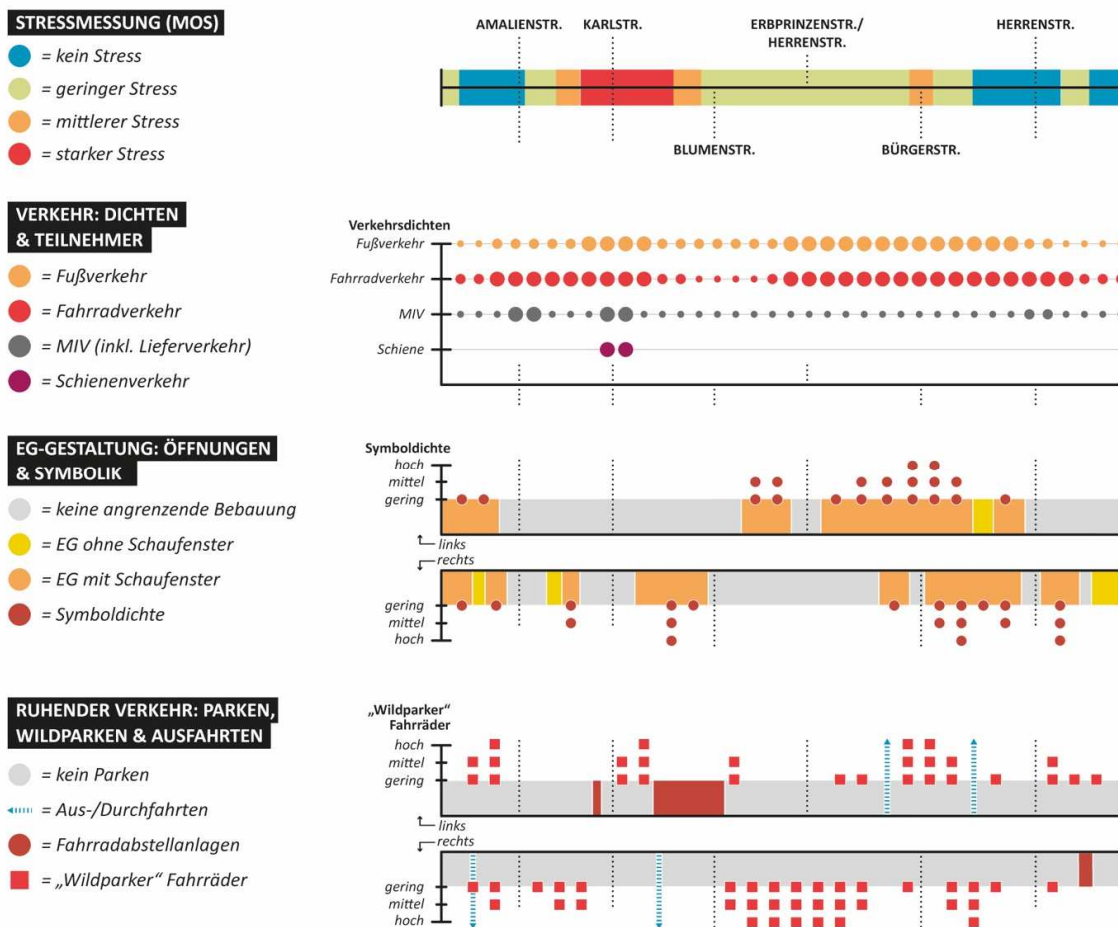


Abb. 7: Auszug aus der Stressorenmatrix Fallstudie K1: Vergleichende Darstellung der Stressmessungen mit den analysierten Faktoren Verkehr, EG-Gestaltung und Ruhender Verkehr.

In der Fallstudie K1 fällt hinsichtlich des Faktors „Verkehr“ auf, dass insbesondere an der Karslstraße ein erhöhtes Verkehrsaufkommen zu beobachten ist. Aber auch im Bereich der Bürgerstraße herrscht eine hohe Dichte des Rad- und Fußverkehrs. Die Erdgeschossgestaltung und Symbolik dieses Stadtraums konzentriert sich in diesem Kontext ebenfalls auf die vom Rad- und Fußverkehr stärker frequentierten Bereiche. In Bezug auf den Faktor „Ruhender Verkehr“ ist in K1 insbesondere das hohe Vorkommen von Fahrrad-Wildparken auffallend, das vorwiegend im Bereich von frequentierten Plätzen und Nutzungen stattfindet.

## 5.2 Auswertung

Abbildung 8 zeigt die Evaluation der Zusammenhänge der Untersuchungsfaktoren anhand der vier Stressorenmatrizen. In diesem Kontext wurde einerseits der Zusammenhang der Faktoren auf das Stressempfinden (links) und andererseits die gegenseitigen Wechselwirkungen der Faktoren (rechts) untersucht. Bei beiden Auswertungen wurde dabei nach dem gleichen Muster vorgegangen: Zunächst wurden hierfür in jeder Fallstudie jeder Faktor einzeln bewertet und dementsprechend die Werte 0 (kein Zusammenhang), 0,5 (partieller Zusammenhang) und 1 (starker Zusammenhang) zugeordnet. Für die anschließende Gesamtauswertung wurden dann die vier Einzelwerte aus K1, K2, O1 und O2 zu einer Gesamtsumme addiert. Daraus ergibt sich für den Gesamtzusammenhang eine Skala von 0 bis 4, wobei 0 für keinen Zusammenhang und 4 für einen sehr starken Zusammenhang steht.

### 5.2.1 Zusammenhang der Faktoren mit Stress

Im Rahmen der Auswertung ihres Stresszusammenhangs wurden die Stressorenabwicklungen der einzelnen Untersuchungsfaktoren in der Stressorenmatrix auf gemeinsame Hochpunkte und Auffälligkeiten mit der Abwicklung der Stressmessung untersucht und verglichen. Je nach Übereinstimmung der Hochpunkte

wurden dann die entsprechenden Werte für jede Fallstudie zugeordnet und zu einer Gesamtsumme addiert. Als Ergebnis kann schließlich der Faktor „Verkehr“ als ein Haupteinflussfaktor festgehalten werden, der in allen vier Fallstudien einen sehr starken Stresszusammenhang aufweist. Auch die Faktoren „EG-Gestaltung“, „Elemente“, „Straßenraum“, „Ruhender Verkehr“ und „Akustik“ können als Einflussfaktoren identifiziert werden, da sie insgesamt einen starken Zusammenhang mit Stress aufweisen.

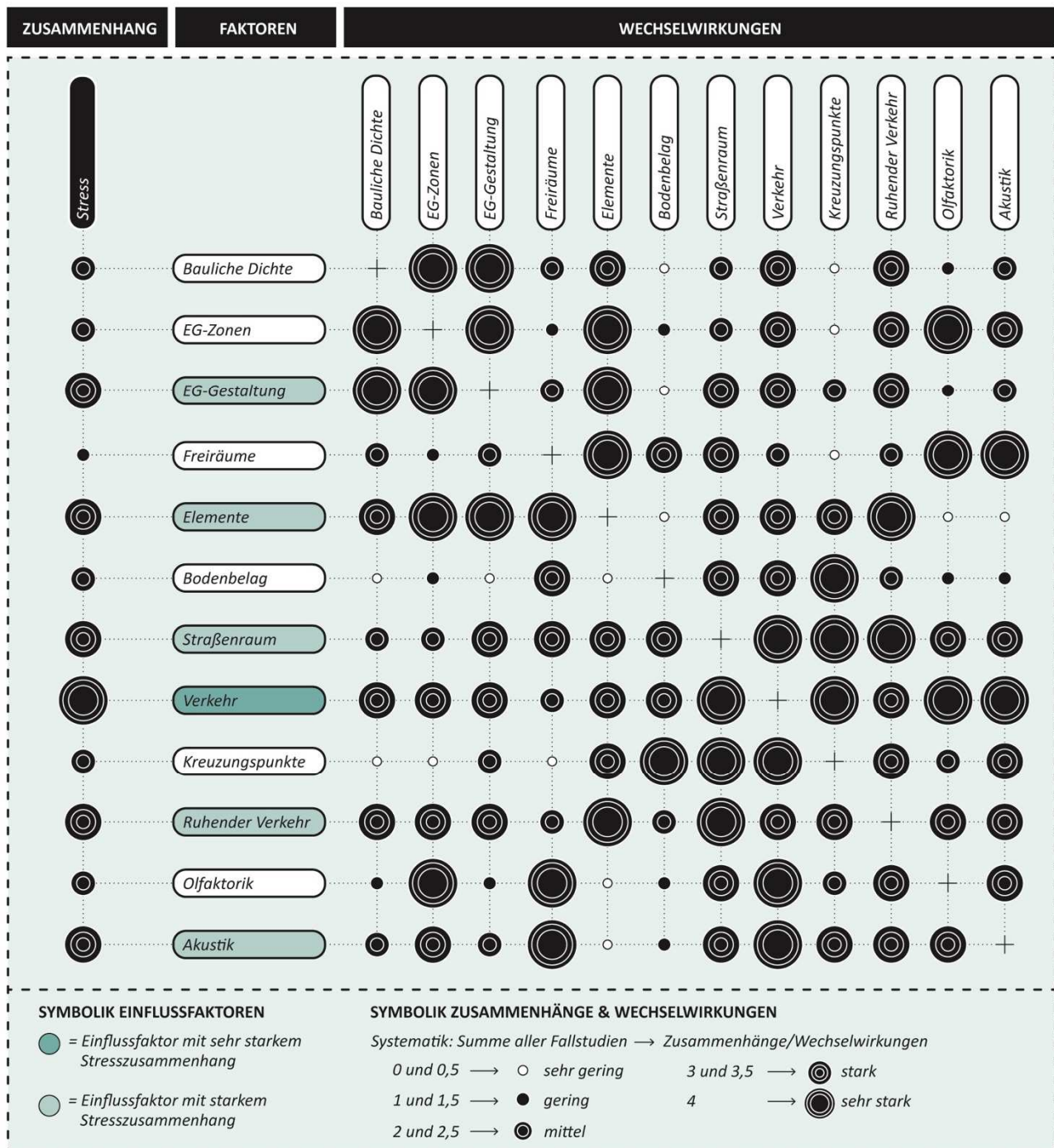


Abb. 8: Auswertung der Stresszusammenhänge und Wechselwirkungen der Untersuchungsfaktoren.

### 5.2.2 Wechselwirkungen der Faktoren und übergeordnete Stressphänomene im urbanen Kontext

In einem nächsten Schritt wurden dann nach dem gleichen Vorgehen die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Faktoren ausgewertet. Die einzelnen Zusammenhänge sind in Abbildung 8 dargestellt. Aus den identifizierten Wechselwirkungen lassen sich vier übergeordnete Phänomene im urbanen Kontext ableiten, die sich negativ auf das Stadterlebnis von Radfahrenden und Zufußgehenden auswirken:

(1) Überlagerung von Bewegungslinien: Bewegungslinien werden klassischerweise an Kreuzungspunkten und Einmündungen überlagert. In urbanen Räumen tritt dieser Effekt ab einer bestimmten Verkehrsdichte

jedoch auch auf, wenn verschiedene Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer auf gemeinsam genutzten Verkehrsflächen gebündelt werden.

(2) Vermischung von Bewegungs- und Aufenthaltsbereichen: Tritt vor allem dann auf, wenn gemeinsam genutzte Verkehrsflächen durch Stadträume mit hoher Nutzungsdichte und Frequentierung hindurchführen. Dabei führen die verschiedenen Nutzungsmotive und Bewegungsmuster zu Konflikten.

(3) Verengung von Räumen: Klassischerweise bei Verengungen des Fahrbahnquerschnitts vorzufinden. In urbanen Stadträumen werden Engstellen jedoch insbesondere auch durch den Zusammenhang von Elementdichten und Wildparken, sowie der übermäßigen Ausdehnung von Erdgeschosszonen verursacht.

(4) Verortung starker Aufmerksamkeitsmagneten: Treten als „Kundenfänger“ in urbanen Gebieten vor allem an hochfrequentierten Bereichen mit vielen Nutzungen auf. Sie führen nicht nur zu Ablenkung, sondern bergen auch durch das plötzliche Ändern der Bewegungslinie Konfliktpotential.

### 5.3 Ausblick

In einer nächsten Arbeitsphase setzt sich die Studie „Decoding Stress“ insbesondere mit der Anwendbarkeit des Methodenansatzes in der Praxis auseinander. Bis dato gestaltet sich die Anwendung der Methode noch sehr zeitintensiv. Im weiteren Verlauf soll deshalb der Frage nachgegangen werden, inwieweit die Erhebung der einzelnen Untersuchungsfaktoren, sowie die anschließende Übersetzung in die Stressorenabwicklung und -matrix zukünftig systematisiert und automatisiert werden könnte. Dabei sollen sowohl geoinformatische Ansätze, die sich mit der Automatisierten Auswertung von Luftbildern beschäftigen, als auch der Einsatz von Künstlicher Intelligenz im Rahmen der Analyse von Bildmaterial geprüft werden. Mithilfe dieser Automatisierung soll ein Technologiesprung forciert werden, der eine smarte, integrative Analyse und Planung von Mobilität und Stadt ermöglichen könnte. Damit könnte es perspektivisch gelingen, „stressige“ Stadträume erstmals auch ohne die Durchführung von Stressmessungen zu identifizieren, beziehungsweise deren Entstehung sogar komplett vorhersehen und dementsprechend vermeiden zu können. Die gewonnenen Erkenntnisse können damit zukünftig einen erheblichen Beitrag dazu leisten, Lösungsansätze für die Gestaltung qualitätsvoller und menschengerechter öffentlicher Stadträume zu erarbeiten.

## 6 DISKUSSION

Die Auswertung der vier Fallstudien liefert im Sinne der Ursachenforschung des Stressempfindens von Radfahrenden und Zufußgehenden im urbanen Kontext erste inhaltliche Erkenntnisse hinsichtlich relevanter Einflussfaktoren in den untersuchten Fallstudien. Es bleibt jedoch zu evaluieren, wie es sich mit deren Gültigkeit verhält, wenn die Stichprobenzahl erweitert wird. Als Anknüpfung an die Untersuchungen der Studie „Decoding Stress“ erscheint es zum jetzigen Zeitpunkt daher sinnvoll, Anschlussuntersuchungen mit weiteren Fallstudien in anderen urbanen Gebieten durchzuführen, um die Ergebnisse weiter zu überprüfen.

Mit der Studie „Decoding Stress“ wurde eine Methodik entwickelt, die es ermöglicht, nicht nur „harte“ Faktoren in der Stressorenanalyse zu berücksichtigen, sondern erstmals auch Aspekte der Stadt- und Raumwahrnehmung miteinzubeziehen. Damit wird ein Beitrag dazu geleistet, das subjektive Empfinden des Menschen bei seiner Bewegung durch die Stadt zu erforschen und ihn erstmals auch in den Fokus der Stressorenanalyse zu rücken. Aus diesem Verständnis heraus bleibt das Subjekt, also der seine Umgebung wahrnehmende Mensch, ein wichtiger Teil der Methodik. Es ist ihr Anspruch, unsere subjektive Raumwahrnehmung zu erfassen, ohne dabei jedoch die subjektive Komponente vollständig zu eliminieren. Die in den Stressorenabwicklungen analysierten Faktoren können deshalb nicht als vollumfänglich objektiv angesehen werden, sondern stellen vielmehr ein Zusammenspiel dieser beiden Dimensionen dar.

Hinsichtlich der angestrebten Automatisierung der Methodik bleibt es vor allem auch in diesem Kontext zu diskutieren, inwieweit Künstliche Intelligenz zukünftig im Stande sein wird, die menschliche Wahrnehmung nachzuempfinden. Für einige der hier untersuchten Parameter, wie zum Beispiel der Wahrnehmung von Frequentierungen, bietet die Anwendung von KI-Systemen bereits heute durch die Festlegung eines Regelwerks bereits adäquate Lösungsansätze. Es wird jedoch zu klären bleiben, inwieweit vor allem die subjektive Bewertung von sensuellen Faktoren, wie zum Beispiel Gerüchen oder Geräuschen überhaupt von Künstlicher Intelligenz abgebildet werden kann, da diese Faktoren überwiegend von persönlichen Erfahrungen und Suggestionen beeinflusst werden.

## 7 REFERENCES

- BOUCSEIN, W.: Elektrodermale Aktivität: Grundlagen, Methoden und Anwendungen. Springer Berlin, Heidelberg, 1988.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALE UND VERKEHR (BMDV): Fahrradland Deutschland 2030 – Nationaler Radverkehrsplan 3.0. Berlin, 2022. Abgerufen am 23.04.2023 von [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/nationaler-radverkehrsplan-3-0.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/nationaler-radverkehrsplan-3-0.pdf?__blob=publicationFile)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI): Ergebnisbericht Mobilität in Deutschland (MiD) 2017. Bonn, 2018. Abgerufen am 10.04.2023 [https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/archive/pdf/MiD2017\\_Ergebnisbericht.pdf](https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/archive/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf)
- CHROUSOS, G. P., LORIAUX, D. L., & GOLD, P. W.: Mechanisms of Physical and Emotional Stress. Erschienen in: *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Volume 245. Springer Verlag, 1988.
- ECKART, F.: Stadtforschung – Gegenstand und Methoden. Erschienen in: *Stadtforschung*. Wiesbaden, 2014.
- ECKART, J., MERK, J.: Die sensorbasierte Vermessung des Radverkehrs: Analyse des Radverkehrs mit einem SensorBike mit ubiquitären Sensoren. Erschienen in: *Lecture Notes in Informatics (LNI)*, Gesellschaft für Informatik. Bonn, 2021
- HAUG, N., SCHMIDT-HAMBURGER, C. & ZEILE, P. (a): Identifying urban stress and bicycle infrastructure relationships: a mixed-methods citizen-science approach. Erschienen in: *Urban, Planning and Transport Research*, Vol.01, Issue 01, Taylor & Francis Open Access. 2023.
- HAUG, N., ZEILE, P. & NEPPL, M. (b): Decoding Stress – ein interdisziplinärer Stressforschungsansatz zur Förderung qualitätsvoller öffentlicher Stadträume für den Rad- und Fußverkehr. Erschienen in: *REAL CORP 2023*, S. 173-182. Wien, 2023.
- HAUG, N., ZEILE, P. & NEPPL, M. (c): Decoding Stress: Stegreif Dokumentation Sommersemester 2023. Karlsruher Institut für Technologie, Institut Entwerfen von Stadt und Landschaft, Fachgebiet Stadtquartiersplanung. Karlsruhe, 2023.
- HÖFFKEN, S., WILHELM, J., GROSS, D., BERGNER, B. S., & ZEILE, P.: EmoCycling – Analysen von Radwegen mittels Humansensorik und Wearable Computing. Erschienen in: *Real CORP 2014*, S. 851–860. Wien, 2014.
- KURTH, D.: In 15 Minuten zur Europäischen Stadt? Erschienen in: *Bauwelt*, Ausgabe 19.2021, Berlin, 2021.
- KARTHIKEYAN, P., MURUGAPPAN, M., & YAACOB, S.: Multiple physiological signal-based human stress identification using non-linear classifiers. Erschienen in: *Elektronika ir Elektrotechnika*, Vol. 19, No. 7, S. 80–85. Kaunas, 2013.
- KREIBIG, S.: Autonomic nervous system activity in emotion: A review. Erschienen in: *Biological Psychology*, Volume 84, Issue 3, 2010. S. 394-421.
- KYRIAKOU, K. & RESCH, B.: Spatial Analysis of Moments of Stress Derived from Wearable Sensor Data. Erschienen in: *Advances in Cartography and GIScience of the International Cartographic Association*, 2. Wien, 2019.
- KYRIAKOU, K., RESCH, B., SAGL, G., PETUTSCHNIG, A., WERNER, C., NIEDERSEER, D., LIEDLGRUBER, M., WILHELM, F., OSBORNE, T., & PYKETT, J. (2019). Detecting Moments of Stress from Measurements of Wearable Physiological Sensors. Erschienen in: *Sensors*, Vol. 19, No. 17. Basel, 2019
- LISSNER, S., FRANCKE, A. & BECKER, T.: Big Data im Radverkehr. Ergebnisbericht: Mit Smartphones generierte Verhaltensdaten im Radverkehr. Technische Universität Dresden. Dresden, 2018. Abgerufen am 30.03.2023 von <https://tud.qucosa.de/api/qucosa%3A31011/attachment/ATT-0/?L=1>
- LYNCH, K.: Das Bild der Stadt. *Bauwelt Fundamente* 16, Berlin, 1965.
- MEHRABIAN, A.: Räume des Alltags – Wie die Umwelt unser Verhalten bestimmt. Frankfurt am Main, 1987.
- NOLD, C.: Emotional cartography: Technologies of the self. London, 2009.
- OPENBIKESENSOR: Dokumentation OpenBikeSensor, 2023. Abgerufen am 02.05.2023 von <https://www.openbikesensor.org/docs/user-guide/>
- PELGER, D., KELLING, E. & STOLLMANN, J.: Multiskalares Mapping. Erschienen in: *Handbuch qualitative und visuelle Methoden der Raumforschung*. Bielefeld, 2021.
- POLIS MAGAZIN: Für mehr Gefühl in der Planung. Erschienen in: *Polis - Magazin Für Urban Development*, Vol. 03/2022. Wuppertal, 2022.
- SELYE, H.: The stress of life. New York: McGraw-Hill, 1956.
- TAGESSPIEGEL: Radmesser, 2018. Abgerufen am 02.05.2023 von <https://interaktiv.tagesspiegel.de/radmesser/>
- TEMMEN, M.: Messen mit SensorBikes – Wie der Alltagsradverkehr von der Digitalisierung im Radsport profitieren kann. Erschienen in: *Fahrradlabor Hochschule Karlsruhe*, S. 9-14. Karlsruhe, 2022.
- VENTURI, R., SCOTT BROWN, D. & IZENOUR, S.: Lernen von Las Vegas – Zur Ikonographie und Architektursymbolik der Geschäftsstadt. *Bauwelt Fundamente* 53, Wiesbaden, 1979.
- WALTHER, N., PILS, M., TREFZGER, M. & SCHLEGEL, T.: Vergleich des Blickverhaltens von Rad- und E-Scooterfahrenden auf Fahrradstraßen: Analyse einer Eye-Tracking-Studie in Bezug auf Verkehrsschilder und Straßenmarkierungen. Erschienen in: *Fahrradlabor Hochschule Karlsruhe*, S. 27-37. Karlsruhe, 2022.
- WERNER, C., RESCH, B. & LOIDL, M.: Evaluating Urban Bicycle Infrastructures through Intersubjectivity of Stress Sensations Derived from Physiological Measurements. Erschienen in: *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2019, 8(6), 265. MDPI AG, 2019.
- ZEILE, P., EXNER, J.-P., HÖFFKEN, S., & STREICH, B.: Menschen als Messfühler - Die Kombination von Geowebmethoden und Sensorik. Erschienen in: *REAL CORP 2010*, S. 419–426. Wien, 2010.
- ZEILE, P., HAUG, N., SCHMIDT-HAMBURGER, C., BENDEL, S., & MOTZER, N.: Emotion Sensing für (E-)Fahrradsicherheit und Mobilitätskomfort – Das BMDV-Projekt ESSEM. Erschienen in: *REAL CORP 2022*, S. 259-268. Wien, 2022.
- ZEILE, P., RESCH, B., EXNER, J.-P., SAGL, G., SUMMA, A.: Urban Emotions – Kontextuelle Emotionsinformationen für die Räumliche Planung auf Basis von Echtzeit- Humansensorik und Crowdsourcing-Ansätzen. Erschienen in: *Angewandte Geoinformatik – Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg*. Salzburg, S. 664–669. Salzburg, 2014.
- ZEILE, P., OBST, T., DEMBSKI, F., DRESCHER, J., CINAR, Ö. & WÖSSNER, U.: Radfahren und Zufußgehen auf realen und virtuellen Flächen – Das NRVP-Projekt Cape Reviso. Erschienen in: *REAL CORP 2021*, S. 613-622. Wien, 2021.