

# Virtual Reality und Urban Emotions – Biosensorik im virtuellen Kontext städtebaulicher Planungsmethoden

Peter Zeile

(Dr.-Ing. Peter Zeile, Karlsruher Institut für Technologie, Stadtquartiersplanung STQP, Englerstraße 11, 76131 Karlsruhe, peter.zeile@kit.edu)

## 1 ABSTRACT

Das Urban-Emotions-Projekt versucht, mit Hilfe von Biosensorik festzustellen, wie sich Menschen in der Stadt fühlen. Hierbei geht es auch um die Qualität der Architektur, des Stadt- und Freiraumes und des Städtebaus. Waren die Versuche in der Vergangenheit stärker auf das Thema des Fußgänger- oder Radverkehrs, der Barrierefreiheit sowie des sogenannten Wayfinding fokussiert, so wird in diesem neuen Ansatz erstmals versucht, virtuelle Modelle als Grundlage für die humansensorische Messung zu nutzen. Der virtuelle Raum bietet nun die Möglichkeit, externe (Umwelt-) Einflüsse zu minimieren und den Fokus auf die Bewertung gestalterischer Eindrücke zu legen. Die Methode ist eine Weiterentwicklung des Q-Sortings nach Stephenson (1953) sowie des im städtebaulichen Kontext angewandten Ansatz nach Krause (1974). Mithilfe von virtuellen Modellen realer Situationen soll festgestellt werden, ob Probanden auf die gebaute Umwelt positiv oder negativ reagieren. Zum Einsatz kommen die Formate 360°-Videos und Virtual Reality Ambiente sowie als Ausgabegeräte VR-Brillen. Mithilfe dieses Settings können vergleichbare Laborsituationen geschaffen werden, die es erlauben, die alleinige Fokussierung auf die Bausituation herzustellen.

Keywords: Stadtgestaltung, Ästhetik, Q-Sorting, Biosensorik, Virtual Reality

## 2 EINLEITUNG

Durch die Digitalisierung erleben alle Gesellschaften einen starken Wandel hinsichtlich der Informationsbeschaffung, Zugänglichkeit zu Informationen, potenziell stärkerer Transparenz aber gleichzeitig auch Phänomenen wie Fake-News. Durch soziale Netzwerke und Blogging-Systeme ist die Hürde der Meinungsäußerung verhältnismäßig niederschwellig. Die Teilhabe an gesellschaftlichen Prozessen kann demnach durch die Digitalisierung vereinfacht werden. Partizipation – so könnten Optimisten sagen – ist ein Selbstläufer geworden. Ein Trend, der für die planende Zunft als selbstverständlich erscheint, und der “theoretisch längst umfassend durchdrungen und in der Praxis hinreichend implementiert sein sollte“ (STREICH 2014, 137). Andererseits zeigt die Realität, dass immer nur dieselben Akteursgruppen an urbanen Prozessen teilhaben. Viele Gruppen werden speziell durch mangelnde Information immer noch ausgeschlossen. Die Realität sieht, trotz neu gestalteter Formate an Zukunftswerkstätten (PETRIN 2012; PETRIN & WILDHACK 2015) oder Makeathons (FRAUNHOFER IAO 2018)) und der Einsicht, dass Stadtentwicklung eine Gemeinschaftsaufgabe ist (SELLE 2014), bis hin zur Angst der Politiker in die “Mitmachfalle” zur geraten (WAGNER 2014), anders aus. Vielfach finden städtebauliche Prozesse noch immer in den Büros hinter dem Schreibtisch statt. Sie entsprechen nicht den Bedürfnissen der Bürger und berücksichtigen nicht die digitalen Beteiligungsformate (BRENNER et al. 2012). Aber wie können digitale Methoden schon im Vorfeld einer Planung eingesetzt werden, um diesem Anspruch besser zu genügen?

Einige neue Methoden, als auch die Wiederentdeckung “alter Klassiker, digital renoviert” bieten hier einen vielversprechenden Werkzeugkasten für Planer. Interessant sind allgemein solche Methoden, die versuchen, den Menschen (digital) mit in diesen Prozess mit einzubeziehen.

## 3 STAND DER FORSCHUNG

Jane Jacobs war eine der Pioniere eines bottom-up und bürgernahen Planungsansatzes (JACOBS 1961). Damals in den USA revolutionär, heute gesetzlich verankert, adaptiert und in das Urban Emotion Projekt als immer wiederkehrende Grundsatzfragen integriert, unterliegen folgende Problemstellungen immer wieder einer Prüfung: Wie können alle heterogenen Interessen in den Planungsprozess integriert werden? Ist Raumwahrnehmung durch Bürger messbar? Welche neuen technologischen Ansätze verbessern den Planungsprozess? Der Urban Emotions Ansatz nutzt hierfür "menschliche Sensoren": sei es aus Social Media, aus biostatistischen „Wearables“ oder über digitale Partizipationsmethoden. Das entstehende Methodenset betrachtet die Stadt als ein System aus Strömen (CASTELLS 1999), oder wie Fritz Schumacher

schon 1920 und Geoffrey West als „Organismus“ (FISCHER 1977; WEST 2017). Christian Wolfe stellt die Frage, ob nicht die „Context City“ (WOLFE 2017), eine Stadt auf der Suche nach ihrem einzigartigen lokalen Kontext, in einer globalisierten Welt als Abgrenzung zu wirtschaftsgetriebenen „Smart-City“ die Lösung sein kann? Auch hierbei steht der Mensch wieder im Mittelpunkt, denn nur mit dessen Hilfe kann die Stadt "intelligent" agieren und verliert ihre Identität nicht.

### 3.1 Participatory Sensing

Das wahrscheinlich wichtigste Forschungsgebiet im Rahmen des Participatory Sensings (BURKE et al. 2006) ist das des „Emotional Mappings“, des Kartieren von Emotionen. Dabei steht immer die Frage im Mittelpunkt, wie der Mensch die natürliche und gebaute Umwelt wahrnimmt (DOWNS & MEYER 1978). Schon die situationistische Internationale hat mit der „Psychogéographique“ und „Dérive“ hier die Grundlage für „Mental Maps“ gelegt (DEBORD 1956); Kevin Lynch nutzt diese Karte als Planungsunterstützung: "Wir sind nicht einfach Beobachter dieses Spektakels, sondern sind selbst ein Teil davon, auf der Bühne mit den anderen Teilnehmern. [...] Fast jeder Sinn ist in Betrieb, und das Bild ist das Ganze von allen“ (LYNCH 1960, 2). Stefan Dinter porträtiert mithilfe von drei Bildern und einer einfachen Triangulation die Stadt (DINTER 2015). In Kombination mit digitalen Kartierungsmethoden zur Aufnahme von Emotionen (NOLD 2009; KLETTNER et al. 2013), der zunehmenden Beachtung im wissenschaftlichen Diskurs und der Anwendung im urbanen Kontext (SCHÖNING & BONHAGE 2015; VERNIER et al. 2016), zeigt die steigende Akzeptanz des Ansatzes, gemessene Emotionen als Grundlage für städtebauliche Planungen mit einzubeziehen.

Eine methodische und technologische Übersicht der zu Verfügung stehenden „affektiven Sensorsysteme“ ist bei Kanjo et al. (2015) zu finden. Die Zukunft des „Partizipativen Messens“ mit neuartig entwickelten Umweltsensoren beschrieb Christian Nold in „Device Studies of Participatory Sensing“ (NOLD 2017). Die Anwendung in Korrelation mit epidemiologischen Daten im SmartAQnet-Projekt wird in Augsburg durchgeführt (SCHÄFER et al. 2017). Im Kontext des Urban Emotion Projektes wurden hier unter anderem die Anwendungsbereiche des „Barrierefreien Planens“ (RODRIGUES DA SILVA et al. 2014; BEYEL et al. 2017) sowie des Fahrradverkehrs (GROß et al. 2015; GROß & ZEILE 2016; ZEILE et al. 2016) unter Verwendung des psychophysiologischen Monitorings bearbeitet.

### 3.2 Virtual Reality und 360° VR

Da die Stadt ständig wechselnden Einflüssen ausgesetzt ist, sei es nur das Wetter oder die Dichte des Verkehrs, eignet sich für die laborhafte Untersuchung mit replizierbaren Rahmenbedingungen der Einsatz von Virtual Reality. Früher als frei navigierbares 3D-Stadtmodell auf dem Monitor (COORS & ZIPF 2005; DÖLLNER et al. 2006; ZEILE 2010), so sind heute die Modelle „voll immersiv“ in einem abgeschlossenen 3D-Ambiente erlebbar, entweder als Fantasiewelt oder als Abbildung einer gebauten Realität. Head-Mounted Displays (HMDs) wie Oculus Rift oder HTC Vive erlauben durch mithilfe neuartiger Eingabegeräte und Ortungssysteme im Raum die Erfassung der körperlichen Aktivitäten des Nutzers und ermöglichen Interaktionen mit dem Computersystem. Der Immersionsgrad ist dabei so hoch, dass der Übergang zwischen realer und virtueller Welt fließend wird, sofern das menschliche Sichtfeld bei der Aufnahme und anschließenden Darstellung einer räumlichen Situation richtig simuliert wird (YUHAN et al. 2015; BROSCART 2017, 133ff). Vielversprechende Ansätze der Emotionsmessung im virtuellen Kontext wurden zum Beispiel bei der Untersuchung des Gameplays von Assassin's Creed unternommen (OSBORNE & JONES 2017) - zwar mit einer Monitor VR, jedoch mit einem sehr hohen Grad an Detaillierungstiefe im Modell.

Da dieser Aufwand bei der Modellerstellung jedoch noch höher als bei Innenarchitekturmodellen ist (BROSCART & ZEILE 2015), stellt sich die Frage, ob zumindest für die Bestandsaufnahme als auch für eine einfache Manipulation von realexistierenden Umgebungen eine 360° VR Aufnahme ausreichend ist? Panorama-Fotografien als auch Videos, auch bekannt als 360°-Videos wurden schon zur Bewertung der Landschaftsbildästhetik in den späten 1990ern Jahren eingesetzt (BISHOP & HULL 1991; BISHOP 2005). Erste Versuche von 3D-Stereoaufnahmen (zwei Action Cams und Anaglyphenvideo) und 180°-Videos sind bei Folz et al. (2017) zu finden, deren Versuche die Grundlage für das hier befindliche Setting bilden. Limitiert war die Anwendung seinerzeit durch die Tatsache, dass das immersive Erlebnis nur auf Google

Cardboards oder Oculus Developer Edition (DK1) möglich war. Die Monitorauflösung war hier noch stark verpixelt.

Der Einsatz von sphärischen Kameraträgersystemen mit sechs Action-Kameras wurde bislang in den raumbezogenen Planungsdisziplinen wie Architektur, Stadtplanung oder Landschaftsplanung nur geringfügig bis gar nicht untersucht (Stand Dez. 2017). Lediglich Publikationen zur Arbeitswissenschaft und Educational Games nehmen diese Technologie auf (RUPP et al. 2016).

#### 4 DAS EXPERIMENT

Da in diesem Projekt erstmals zwei unterschiedliche Technologien zur Messung von biostatistischen Feedback eingesetzt werden, müssen sowohl einige technologische als auch methodische Voruntersuchungen durchgeführt werden, um die folgenden Fragen zu beantworten:

- Wie kann ein 360°-Video so aufbereitet werden, dass es für eine biostatistische Messung eingesetzt werden kann?
- Ist es sinnvoll, die Untersuchungen an einem festen virtuellen Standort durchzuführen oder sind auch Parcours möglich?
- Kann der virtuelle Kurs im VR-Ambiente mit den bestehenden Technologien gemessen werden? Wie wird der Kurs virtuell getrackt?
- Können virtuelle Modelle eingebunden in die Q-Sorting-Methode eingebunden werden?

Im folgenden Kapitel werden die aktuellen Lösungen dieser Fragen erörtert, sowie Vor- und Nachteile diskutiert.

##### 4.1 Content-Aufbereitung

Die Aufbereitung als reproduzierbare Situation mit immer gleichen visuellen und auditiven Inhalten ist ein Schlüsselement im Versuchsaufbau. Dabei ist es wichtig, städtische Routen, in denen Emotionen gemessen werden sollen, möglichst komfortabel aufzubereiten.



Abb. 1: Das Omni-Rig (1) mit seinen sechs synchronisierten Action-Cams zur Erstellung von sphärischen Videos. Testfahrten im sogenannten „Auslegermodus“ (2) und im „Streetview-Modus“ (3). Das zusammengesetzte Video kann nun auf der Oculus betrachtet werden (4) und als audiovisuelle Testumgebung für das biostatistische Monitoring eingesetzt werden.

#### 4.1.1 360° Videos

Für die 360°-Videos wurde ein sogenanntes Omni-Rig der Firma GoPro verwendet (Abb. 1-1). Vorteil bei dieser Technologie ist, dass das Array die sechs Kameras automatisch auf Pixelebene synchronisiert und dabei jede Kamera Videos in einer Auflösung von 4K liefert.

#### 4.1.2 3D-Modelle

Sollen für das Experiment zusätzlich Situationen neuer Planungsszenarien hinzugefügt werden, so wird eine Möglichkeit für die Visualisierung von 3D-Modellen auf dem VR-Headset benötigt. Hierfür eignet sich durch den sehr simplen und intuitiven Workflow die Software-Lösung Kubity (BAILLY et al. 2015). Nativ können so BIM-Modelle im RVT-Format als SKP-Dateien direkt eingelesen werden. Indirekt sind durch die Importmöglichkeiten über REVIT auch DGN, DXF, DWG, IFC, SAT (ASCII) Dateien als auch über Sketchup 3DS sowie COLLADA (DAE)-Dateien möglich. Als Zeichenelemente können Ellipsen (Arcs), Kreise (Circles), Linienstärken (Entities with thickness), 2D- und 3D-Flächen, Layer, Linien (Lines), Polylinien, Blocks, Regionen, Punkte, Splines und Rasterbilder importiert werden.

Neben der direkten Ausgabe auf die VR-Brille bietet die Software zusätzliche, für die räumliche Planung sinnvolle Ausgabemöglichkeiten: eine Weboberfläche, VR zusätzlich auf Cardboards, sowie Anzeige auf Smartphone und Tablets in Modellansicht als auch als Augmented Reality Lösung in Fußgängerperspektive (Abb.2). Für das Experiment hier wird sich jedoch auf die VR-Variante beschränkt. Da Kubity (noch) keine Exportmöglichkeit für Filme zu Verfügung stellt, müssen die Modelle als sogenannte „Tour“ organisiert werden. Dadurch ist für das Experiment die Zeitkomponente für jeden Probanden gleich und die Ergebnisse sind miteinander vergleichbar.

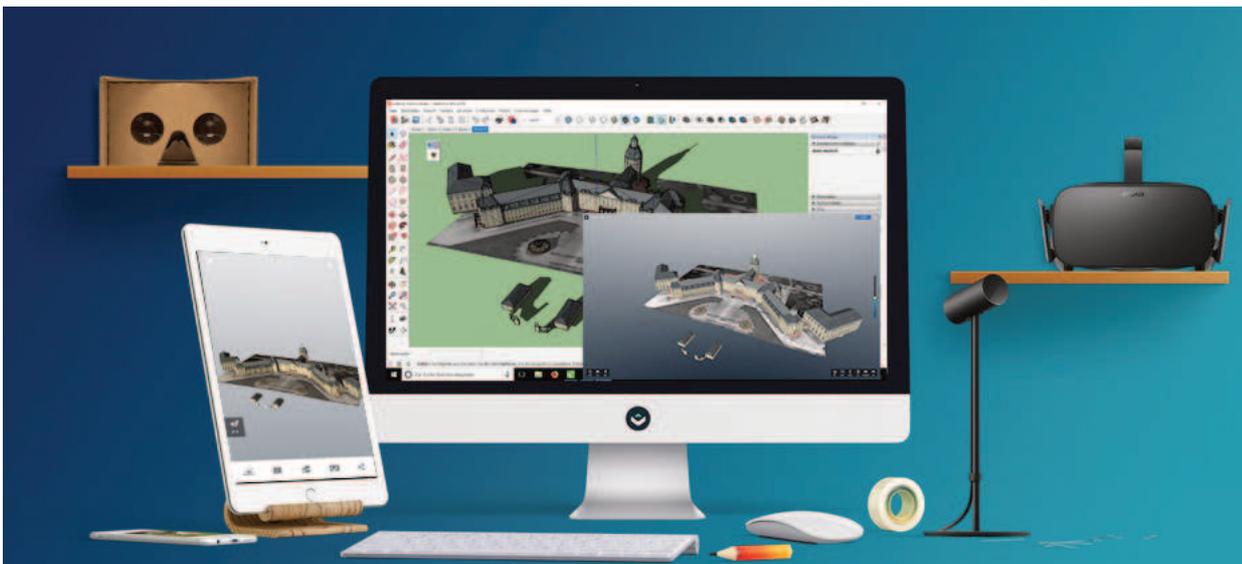


Abb. 2: Kubity-Workflow und Exportmöglichkeiten für verschiedene Endgeräte. Revit als auch Sketchup-Modelle können auf VR-Headsets exportiert werden (adaptiert nach O'BRIEN 2018).

#### 4.1.3 360°-Panoramen

Auf der Suche nach weiteren Beispielen für „gute“ und „schlechte“ Architektur, die es zu messen gilt innerhalb des Experimentes, wurde eine Crowdsourcing-Aktion ins Leben gerufen. Das Ziel ist es, möglichst verschiedene, von Fachleuten als auch Laien, beurteilte städtische Situationen zu sammeln, die dann im Rahmen des Experimentes biostatistisch auf ihre Wirkung hin getestet werden können.



Abb. 3: Aufnahmeregeln für 360°-Panoramen zur Nachbearbeitung in Autopano Giga

Der Sammlungsprozess lief sehr einfach ab, lediglich 5-7 Reihen mussten überlappend abfotografiert werden. Dies werden anschließend in Autopano Giga automatisch gestitcht (KOEHL et al. 2013) und können als Panorama in einer Auflösung im Verhältnis 2:1 als VR-taugliches Bildmaterial abgespeichert werden. In Filmschnittsoftwares (z. B. Adobe Premiere in Verbindung mit dem GoPro VR Plug-ins) ist die Produktion von immersiv erlebbaren Filmen möglich. Zusätzlicher Nebeneffekt bei der Erstellung ist die Möglichkeit, alle Bilder in der „Little Planet bzw. Tiny Planet“ Projektion auszugeben, bei denen das Projektionszentrum der sogenannte „Nadir“ ist (GERMAN et al. 2007).

#### 4.2 Messequipment

Bei dem Messinstrumentarium wird auf die bewährte Kombination aus dem Bodymonitor Smartband, GPS-Tracker sowie GoPro Hero ActionCam zurückgegriffen (ZEILE et al. 2016). Einzige Ergänzung ist, wie schon oben angesprochen, das Omni Rig und für das virtuelle Ambiente das Oculus Rift Set-up.

#### 4.3 Versuchsaufbau

Für die Voruntersuchung wurde auf die Untersuchung von Núñez et al. (2017) zurückgegriffen: Gedacht als Studie zur Identifikation des Komforts von Fahrbahnoberfläche- und Infrastrukturbedingungen, wurde in diesem Projekt mithilfe Beschleunigungsmessern von Smartphones und Videoaufzeichnungen der Straßenzustand aufgezeichnet und bewertet (NÚÑEZ, JAVIER Y. M. & RODRIGUES DA SILVA 2017). Unter Zuhilfenahme des Smartbandes konnten so Belastungsspitzenreaktionen identifiziert werden. Die Strecke wurde zusätzlich noch mit dem GoPro Omni Rig aufgezeichnet und anschließend manuell für die 360°VR-Anwendung im Horizont angeglichen und stabilisiert. Für diese erste Untersuchung wurde sich bewusst auf einen kleinen Teilnehmerkreis beschränkt: Eine Person, die bei der Omni-Aufnahme auch das Smartband trägt (J1) und anschließend die virtuelle Strecke „fährt“ (JV), sowie eine Person, die im Anschluss nur noch die virtuelle Strecke nachfährt (PV).

### 5 ERGEBNISSE

Für alle Strecken wurde das psychophysiologische Monitoring durchgeführt. Erwartungsgemäß wurden in der Realität mehr Stresssituationen „Moments of Stress – MoS“ identifiziert als im virtuellen Modus (31 in Realität vs. 10 im virtuellen Raum). Weiterhin wurden bei Proband PV auch nur 14 Stresssituationen im virtuellen Kontext festgestellt. Insgesamt wurde bei beiden Probanden nur an drei Positionen im virtuellen Raum ein gleichzeitiger Stresstrigger ausgelöst. Dies erscheint erst mal wenig, kann jedoch auch an der schon gemachten Erfahrung des Testfahrers der realen Strecke liegen. Bei dem Vergleich zwischen den Reaktionen von Testfahrer (J1) und dem nur virtuellen Fahrer (PV) konnten immerhin neun Übereinstimmungen festgestellt werden. Die reale Fahrt von Testfahrer J1 und seine retrospektive virtuelle Fahrt (JV) hatten eine Übereinstimmung an sieben Punkten.

Unabhängig von den Ergebnissen haben beide Teilnehmer im virtuellen Raum nach der 15-minütigen Testfahrt über Übelkeit geklagt, der Motion Sickness Effekt auf dem virtuellen Fahrrad war doch stärker als angenommen. Aus diesem Grund wurden die Tests im Bewegungsmodus ausgesetzt.

Bei einer näheren Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass nach Abgleich des Videomaterials mit allen Heatmaps nur Stellen als „stressig“ empfunden wurden, bei denen das obere Blickfeld in eine Art Tunnel überführt wird (Bäume nah über der Fahrbahn). Viele Situationen, bei denen nicht klar ist, wie andere Teilnehmer reagieren, wurden vom Teilnehmer der retrospektiven Fahrt nicht mehr als stressig empfunden. Interessanterweise gab es aber bei der realen Fahrt sowie der des nur virtuellen Fahrers hier bei Engstellen, Vorfahrtssituationen als auch Reaktionen auf andere Verkehrsteilnehmer wiederum sehr viele Übereinstimmungen.

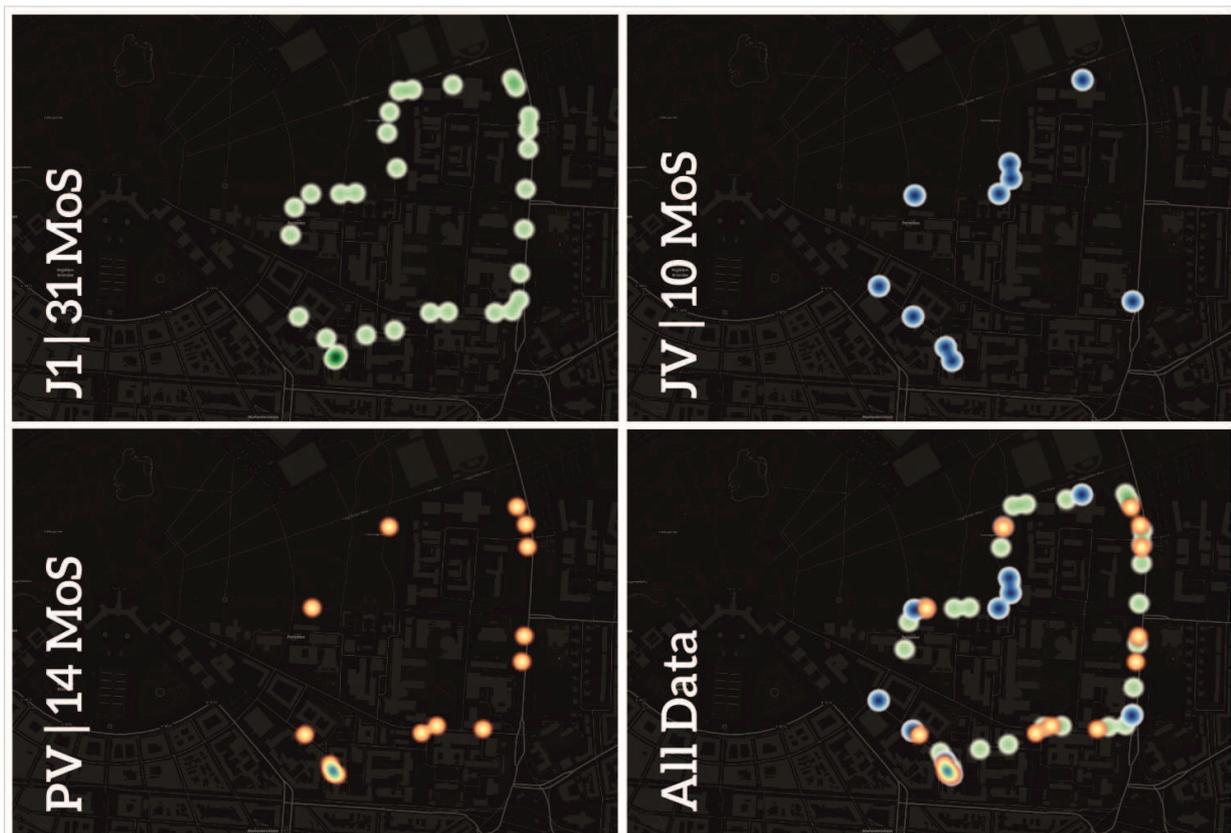


Abb. 4: Biostatistische Auswertung der Läufe. Der reale Lauf (J1) mit 31 Moments of Stress (MoS), sowie die zwei in der Oculus aufgezeichneten biostatistischen Stressmomente (PV, JV) sowie alle Daten überlagert.

## 6 DISKUSSION UND AUSBLICK

Das vorliegende Set-up verspricht ein großes technologisches Potenzial für die Anwendung in der räumlichen Planung und der Architektur.

Die Vorteile der Methode liegen eindeutig in der schnellen Aufnahme der real existierenden Umgebung. Der Workflow ist sehr konsistent. Die per Crowdsourcing gewonnenen Beispiele lassen sich problemlos mit den Bildern aus den Bewegungssituationen zu einem Film zusammenführen. Additive Inhalte sind hier mithilfe von Plug-ins auch mittlerweile integrierbar. Kubity bietet zudem die Möglichkeit, virtuelle Modelle im virtuellen Ambiente zu erleben.

Nachteilig bei der Herangehensweise ist, dass Aufnahmen von einer bewegten Kameraposition heraus das Phänomen der Motion Sickness bei den Probanden auslöst. Hier muss sowohl bei der Kamerabefestigung als auch im Post-Processing nach einer geeigneteren Lösung gesucht werden. Prinzipiell ist der Stabilisierungsprozess laut Herstellerangabe soweit optimierbar, dass Motion Sickness nicht mehr vorkommt. Dennoch ist die Empfehlung momentan, dass die Aufnahmen von einem festen Kamerastandpunkt durchgeführt werden. Dadurch sind auch die Standpanoramen besser einzubinden.

Auch ist noch keine zufriedenstellende Lösung gefunden worden, wie verschiedene Planungsszenarien aneinandergereiht präsentiert werden können. Noch liegt hier ein Medienbruch zwischen 360°Video und den virtuellen Modellen vor. Ein Export als Video ist nicht möglich. Einzig das Abspielen von Touren könnte hier eine Alternative sein.

Das Tracken im virtuellen Ambiente funktioniert grundsätzlich sehr gut, da auf den bestehenden GPS-Track zurückgegriffen werden kann. Dadurch sind die Messungen gut zu synchronisieren. Für das Q-Sorting im virtuellen Raum muss allerdings eine virtuelle GPS-Koordinate mitgeführt werden, sodass eine eindeutige Zuordnung zu der zu beurteilenden Situation entsteht.

Der Crowdsourcing Prozess für das Q-Sorting ist mittlerweile im Gange. Die Modellsammlung muss nun aufbereitet, klassifiziert und auf ihre mögliche bzw. erhoffte emotionale Reaktion hin überprüft und in die Testumgebung integriert werden. Als Lösung für die Integration von virtuellen Modellen wird in Zukunft die Software Enscape getestet, bei der ein integrierter Datenworkflow zwischen Revit oder Sketchup in das

virtuelle Ambiente möglich ist. Die Editierfunktionalitäten bieten sogar eine Live-Manipulation der Modelle an. Für die Arbeit mit Videoschnittsoftware sind der direkte Filmexport als 360°Video vorhanden und ermöglicht somit den Vergleich der 3D-Modelle mit den real existierenden Situationen. Dadurch wird das 360°Video Compositing erleichtert. Die ganze Bearbeitungstechnik erinnert somit ein wenig an Fotomontagen im Bildbereich, welches nun aber auch im 360°Ambiente geschehen kann.

## 7 DANKSAGUNG

Der vorliegende Beitrag und die Studie zum virtuellen Tracking entstand im Rahmen des von der DFG und des FWF geförderten Projektes „Urban Emotions“ mit dem Förderkennzeichen ZE1018/1-2 und RE3612/1-2. Besondere Dank geht an Javier Yesid Mahecha Nuñez, der während seines Aufenthaltes am KIT maßgeblich an der Durchführung der Studie beteiligt war.

## 8 LITERATUR

- BAILLY, J.-P., CHECINSKI, A., ROMAIN, G., GULLY, R., JOBBE-DUVAL, H., SCHONER, N., SECCIA, S. & VASSEUR, N. (2015), System, method and computer program product for injecting directly into a web browser commands and/or contents created on local desktop applications of a computer device, and vice-versa. Google Patents.
- BEYEL, S., WILHELM, J., MUELLER, C., ZEILE, P. & KLEIN, U. (2017), Stresstest städtischer Infrastrukturen – ein Experiment zur Wahrnehmung des Alters im öffentlichen Raum. In: SCHRENK, M., POPOVICH, V., ZEILE, P., ELISEI, P. & BEYER, C. (Hrsg.), REAL CORP 2017. Proceedings/Tagungsband, Wien, 689–698.
- BISHOP, I. D. (Hrsg.) (2005), Visualization in landscape and environmental planning. Technology and applications. Taylor & Francis, London u. a.
- BISHOP, I. D. & HULL, B. R. (1991), Integrating technologies for visual resource management. In: Journal of Environmental Management, 32 (4), 295–312, doi: 10.1016/S0301-4797(05)80068-4.
- BRENNER, N., MARCUSE, P. & MAYER, M. (Hrsg.) (2012), Cities for people, not for profit. Critical urban theory and the right to the city. Routledge, London.
- BROSCHART, D. (2017), Mobile Geoweb-Methoden für die Planung - Die Fortentwicklung des stadt- und umweltplanerischen Methodenrepertoires im Rahmen von Crowdsourcing, Monitoring und Echtzeitplanung. [https://kluedo.ub.uni-kl.de/files/5078/\\_2017\\_Broschart\\_Diss\\_kluedo.pdf](https://kluedo.ub.uni-kl.de/files/5078/_2017_Broschart_Diss_kluedo.pdf).
- BROSCHART, D. & ZEILE, P. (2015), ARchitecture: Augmented Reality in Architecture and Urban Planning. In: BUHMANN, E., ERVIN, S. M. & PIETSCH, M. (Hrsg.), Peer Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture 2015. at Anhalt University of Applied Sciences. Herbert Wichmann Verlag, VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach, 111–118.
- BURKE, J., ESTRIN, D., HANSEN, M., PARKER, A., RAMANATHAN, N., REDDY, S. & SRIVASTAVA, M. (2006), Participatory sensing. In: World Sensor Web 2006 Proceedings, 1–5.
- CASTELLS, M. (1999), The power of identity. Blackwell, Cambridge, Mass.
- COORS, V. & ZIPF, A. (Hrsg.) (2005), 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Wichmann, Heidelberg.
- DEBORD, G. (1956), Theory of the dérive. In: Les Lèvres Nues (9).
- DINTER, S. (2015), Karlsruhe. Eine Stadt erleben. Fotografien. INFO Verlag, Bretten.
- DÖLLNER, J., KOLBE, T. H., LIECKE, F., SGOUROS, T. & TEICHMANN, K. (2006), The virtual 3d city model of Berlin. Managing, integrating, and communicating complex urban information. In: Proceedings of the 25th International Symposium on Urban Data Management, Aalborg.
- DOWNES, R. M. & MEYER, J. T. (1978), Geography and the Mind: An Exploration of Perceptual Geography. In: American Behavioral Scientist, 22 (1), 59–77, doi: 10.1177/000276427802200104.
- FISCHER, M. F. (1977), Fritz Schumacher, das Hamburger Stadtbild und die Denkmalpflege. Christians, Hamburg.
- FOLZ, S., BROSCART, D. & ZEILE, P. (2017), Raumerfassung und Raumwahrnehmung – aktuelle Techniken und potenzielle Einsatzgebiete in der Raumplanung. In: SCHRENK, M., POPOVICH, V., ZEILE, P., ELISEI, P. & BEYER, C. (Hrsg.), REAL CORP 2017. Proceedings/Tagungsband, Wien, 541–550.
- FRAUNHOFER IAO (2018), Smart City Makeathon. <https://www.morgenstadt.de/de/veranstaltungen/werkstatt-2017/makeathon.html> (15.02.2018).
- GERMAN, D. M., BURCHILL, L., DURET-LUTZ, A., PÉREZ-DUARTE, S., PÉREZ-DUARTE, E. & SOMMERS, J. (2007), Flattening the viewable sphere. In: Proceedings of Computational Aesthetics 2007.
- GROß, D., HOLDERLE, C. & WILHELM, J. (2015), EmoCycling – Analyse von Radwegen mittels Humansensorik für Kommunen. In: SCHRENK, M., POPOVICH, V., ZEILE, P. & ELISEI, P. (Hrsg.), REAL CORP 2015. Proceedings/Tagungsband. CORP – Competence Center of Urban and Regional Plan, Wien, Ghent, 249–259.
- GROß, D. & ZEILE, P. (2016), EmoCyclingConcept – Potenziale der emotionalen Stadtkartierung. In: STROBL, J., ZAGEL, B., GRIESEBNER, G. & BLASCHKE, T. (Hrsg.), AGIT. Journal für Angewandte Geoinformatik. Wichmann Verlag, Berlin, Offenbach, 273–278.
- JACOBS, J. (1961), The death and life of great american cities. Random House Vintage Books, New York.
- KANJO, E., AL-HUSAIN, L. & CHAMBERLAIN, A. (2015), Emotions in context. Examining pervasive affective sensing systems, applications, and analyses. In: Personal and Ubiquitous Computing, doi: 10.1007/s00779-015-0842-3.
- KLETTNER, S., HUANG, H., SCHMIDT, M. & GARTNER, G. (2013), Crowdsourcing affective responses to space. In: Kartographische Nachrichten, 2013 (2), 66–72.
- KOEHL, M., SCHNEIDER, A., FRITSCH, E., FRITSCH, F., RACHEDI, A. & GUILLEMIN, S. (2013), Documentation of historical building via virtual tour: the complex building of baths in Strasbourg. In: ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5/W2, 385–390, doi: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-385-2013.
- KRAUSE, K.-J. (1974), Stadtgestalt und Stadterneuerung. Bundesvereinigung Deutscher Heimstätten e.V., Bonn.

- LYNCH, K. (1960), *The image of the city*. MIT Press, Cambridge Mass. u. a.
- NOLD, C. (2009), *Emotional cartography. Technologies of the self*. <http://emotionalcartography.net> (15.01.2015).
- NOLD, C. (2017), *Devicestudies of Participatory Sensing: Ontological Politics and Design Interventions*. Thesis / Dissertation, London.
- NÚÑEZ, JAVIER Y. M. & RODRIGUES DA SILVA, A. N. (2017), Assessment using smartphone sensors and a geographic information system. In: *Proceedings of CUPUM2017, Adelaide*.
- NÚÑEZ, JAVIER Y. M., ZEILE, P. & RODRIGUES DA SILVA, A. N. (2017), Management of infrastructure for cycling transportation systems using smart sensors, Annweiler.
- O'BRIEN, R. (2018), *Kubity | SketchUcation*. <https://sketchucation.com/kubity-for-sketchup> (11.01.2018).
- OSBORNE, T. & JONES, P. I. (2017), Biosensing and geography. A mixed methods approach. In: *Applied Geography*, 87, 160–169, doi: 10.1016/j.apgeog.2017.08.006.
- PETRIN, J. (2012), *Nextthamburg. Bürgervisionen für eine neue Stadt*. Ed. Körber-Stiftung, Hamburg.
- PETRIN, J. & WILDHACK, A. (2015), Ein Inkubator für Bürgerprojekte. Stadtmacher erprobt einen neuen Ansatz der nutzergenerierten Stadtentwicklung. In: *Planerin* (3), 25–27.
- RODRIGUES DA SILVA, A. N., ZEILE, P., AGUIAR, FABIOLA DE OLIVEIRA, PASTEFANOU, G. & BERGNER, B. S. (2014), Smart sensing and barrier free planning - project outcomes and recent developments. In: PINTO, N. N., TENEDÓRIO, J. A., ANTUNES, A. P. & CLADERA, J. R. (Hrsg.), *Technologies for Urban and Spatial Planning: Virtual Cities and Territories*. IGI Global, Hershey PA, 93–112.
- RUPP, M. A., KOZACHUK, J., MICHAELIS, J. R., ODETTE, K. L., SMITHER, J. A. & MCCONNELL, D. S. (2016), The effects of immersiveness and future VR expectations on subjective-experiences during an educational 360° video. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 60 (1), 2108–2112, doi: 10.1177/1541931213601477.
- SCHÄFER, K., EMEIS, S., BUDDE, M., BEIGL, M., CYRYS, J., SCHNELLE-KREIS, J., PHILIPP, A., ZIEGLER, V., RIEDEL, T., GRIMM, H. & GRATZA, T. (2017), SmartAQnet. Remote and in-situ sensing of urban air quality. In: *COMERÓN, A., KASSIANOV, E. I. & SCHÄFER, K. (Hrsg.), Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XXII*. SPIE, 12.
- SCHÖNING, J. & BONHAGE, C. E. (2015), *On the Acquisition of Human Emotions in Space and Time*. The Eurographics Association.
- SELLE, K. (2014), *Über Bürgerbeteiligung hinaus. Stadtentwicklung als Gemeinschaftsaufgabe? ; Analysen und Konzepte*. Rohn, Lemgo.
- STEPHENSON, W. (1953), *The Study of Behavior. Q-technique and Its Methodology*. University of Chicago Press.
- STREICH, B. (2014), *Subversive Stadtplanung*. Springer VS, Wiesbaden.
- VERNIER, M., FARINOSI, M. & FORESTI, G. L. (2016), A Smart Visual Information Tool for Situational Awareness. In: MAGNENAT-THALMANN, N., RICHARD, P., LINSEN, L., TELEA, A., BATTIATO, S., IMAI, F. & BRAZ, J. (Hrsg.), *VISIGRAPP 2016. Proceedings of the 11th Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*. SCITEPRESS, Setúbal, 236–245.
- WAGNER, T. (2014), *Die Mitmachfalle. Bürgerbeteiligung als Herrschaftsinstrument*. PapyRossa-Verl., Köln.
- WEST, G. (2017), *Scale. The universal laws of growth, innovation, sustainability, and the pace of life in organisms, cities, economies, and companies*. Penguin Press, New York.
- WOLFE, C. R. (2017), *Seeing the Better City. How to Explore, Observe, and Improve Urban Space*. Island Press.
- YUHAN, S., LANGE, E. & THWAITES, K. (2015), Improved Photographic Representation of Human Vision for Landscape Assessment. In: BUHMANN, E., ERVIN, S. M. & PIETSCH, M. (Hrsg.), *Peer Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture 2015*. at Anhalt University of Applied Sciences. Herbert Wichmann Verlag, VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach, 90–100.
- ZEILE, P. (2010), *Echtzeitplanung. Die Fortentwicklung der Simulations- und Visualisierungsmethoden für die städtebauliche Gestaltungsplanung*. Dissertation. <http://kluedo.ub.uni-kl.de/volltexte/2010/2497/index.html>.
- ZEILE, P., RESCH, B., LOIDL, M., PETUTSCHNIG, A. & DÖRRZAPF, L. (2016), Urban Emotions and Cycling Experience – enriching traffic planning for cyclists with human sensor data. In: CAR, A., JEKEL, T., STROBL, J. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.), *GI\_Forum 2016. Journal for Geographic Information Science*. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 204–216.