



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung

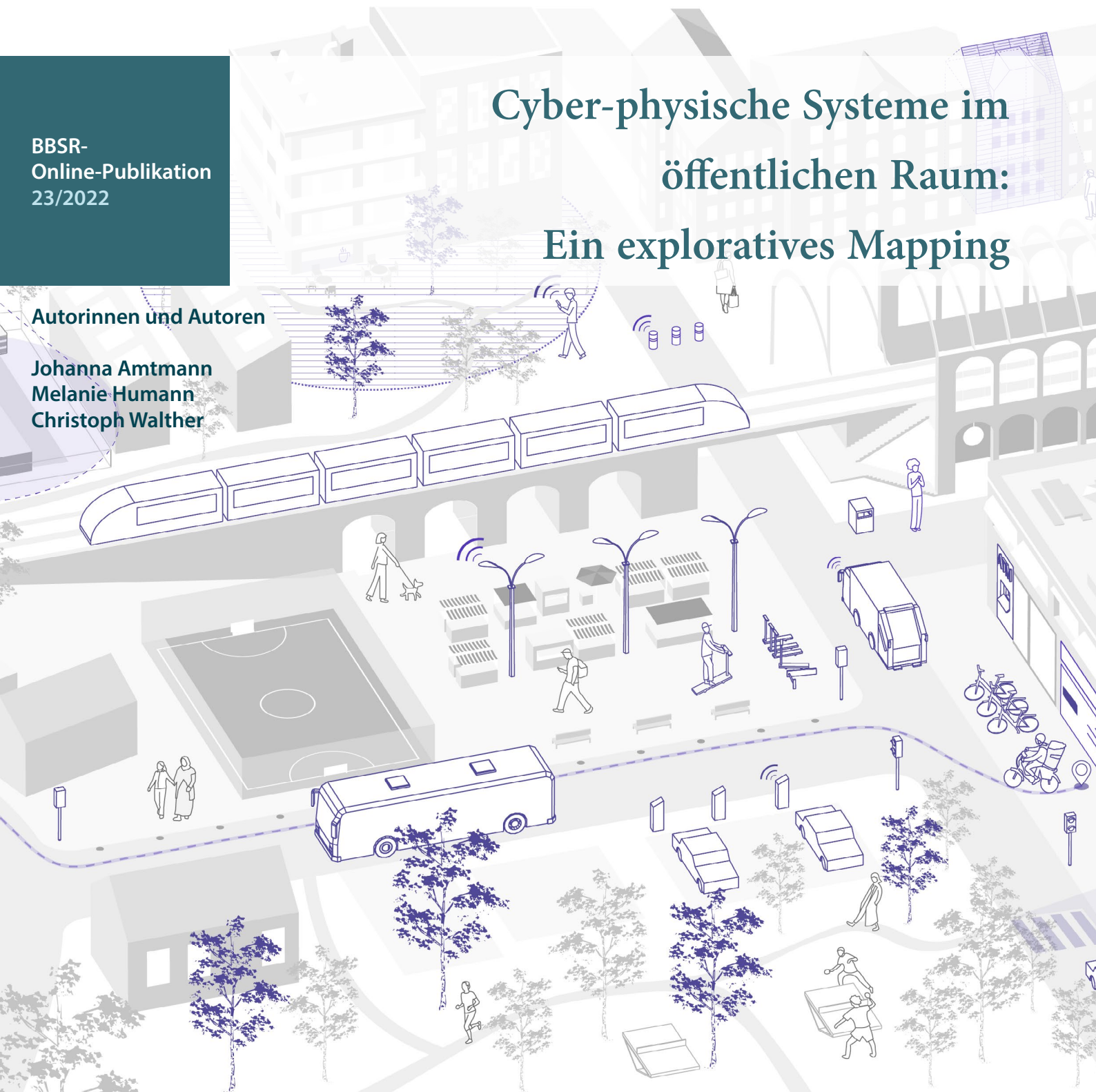


BBSR-  
Online-Publikation  
23/2022

Autorinnen und Autoren

Johanna Amtmann  
Melanie Humann  
Christoph Walther

# Cyber-physische Systeme im öffentlichen Raum: Ein exploratives Mapping



# **Cyber-physische Systeme im öffentlichen Raum: Ein exploratives Mapping**

Das Projekt des Forschungsprogramms „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau (ExWoSt)“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) durchgeführt.

## **IMPRESSUM**

### **Herausgeber**

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Deichmanns Aue 31–37  
53179 Bonn

### **Wissenschaftliche Begleitung**

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung  
Referat RS 5 „Digitale Stadt, Risikoversorgung und Verkehr“  
Dr. Charlotte Räuchle  
charlotte.raeuchle@bbr.bund.de

### **Auftragnehmer**

Urban Catalyst GmbH, Berlin  
Christoph Walther, Johanna Amtmann

Institut für Städtebau und Regionalplanung, TU Dresden  
Prof. Melanie Humann

### **Stand**

März 2022

### **Satz und Layout**

Urban Catalyst GmbH

### **Bildnachweis**

Alle Abbildungen: Urban Catalyst GmbH

### **Vervielfältigung**

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

### **Zitierweise**

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), 2022:  
Cyber-physische Systeme im öffentlichen Raum: Ein exploratives Mapping. BBSR-Online-Publikation 23/2022, Bonn.

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Anlass, Ziel und Methode</b>                      | <b>5</b>  |
| <b>2 Exploratives Mapping cyber-physischer Systeme</b> | <b>8</b>  |
| Augmented Reality (AR)                                 | 10        |
| Autonome Straßenbahn                                   | 11        |
| Geofencing   | 12        |
| Intelligente Straßenbeleuchtung                        | 13        |
| Intelligente Verkehrsführung                           | 14        |
| Quartierskraftwerk                                     | 15        |
| Schnelllieferdienst                                    | 16        |
| Shared Mobility  | 17        |
| Smarte Mülleimer                                       | 18        |
| Sprechende Bäume                                       | 19        |
| Transportdrohne  | 20        |
| Videoüberwachung                                       | 21        |
| <b>3 Reflexion</b>                                     | <b>22</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                            | <b>25</b> |

# 1 Anlass, Ziel und Methode

In aktuellen Diskussionen und Reflexionen der Stadtforschung über allgemeine und spezifische stadträumliche Wirkungen von Digitalisierung stehen zunächst zentrale sektorale Themen wie Arbeit, Wohnen, Versorgung und Handel sowie Mobilität im Fokus. Ableitungen für die Stadtentwicklungsplanung bzw. Aussagen über Entwicklungsprognosen sind dabei zunächst theseartig und diskursiv (vgl. Mitteregger et al. 2021; Soike et al. 2019; Thierstein 2018), empirisch belastbare Arbeiten über die räumlichen Wirkungen von Digitalisierung liegen im Diskurs der Stadtentwicklung (noch) nicht vor. In der Betrachtung bestimmter räumlicher Typen, wie z. B. Zentren, der ländliche Raum oder der öffentliche Raum, überlagern sich die o. g. Themen, die Komplexität der Wirkungsbeziehungen nimmt zu. Die Wirkung der Digitalisierung auf Funktion und Nutzung des urbanen Raumes erfolgt also auf multiplen und miteinander verschränkten Ebenen, in unterschiedlicher Intensität und zeitlicher Dynamik (vgl. Thierstein 2018). Durch die Corona-Pandemie bspw. hat der digitale Wandel in Städten und Regionen seit 2020 an zusätzlicher Dynamik gewonnen (vgl. Bruck et al. 2021: 1). Im Kontext der genannten Diskussionen und Entwicklungen ist es das Anliegen dieser Studie, mögliche Wirkungen bestimmter Aspekte der Digitalisierung auf den öffentlichen Raum näher in den Blick zu nehmen.

Als öffentlichen Raum versteht die Stadt- und Raumforschung „die Gesamtheit aller Stadträume, die grundsätzlich für die Allgemeinheit zugänglich und nutzbar sind“ (vgl. Berding/Selle 2018: 1646). Er bildet den Raum öffentlicher Interessen und erfüllt vielschichtige Funktionen als kultureller und sozialer Begegnungsraum, als ökonomisches und politisches Forum sowie als ökologisch wertvoller Erholungs- und Freiraum. Mit der Digitalisierung sind mittel- und langfristig veränderte Funktionsabläufe und Nutzungsanforderungen an den öffentlichen Raum anzunehmen. Darauf deuten etwa Beobachtungen im Kontext des Onlinehandels (Letzte-Meile-Konzepte, hyperlokale Logistikzentren der Zehn-Minuten-Lieferdienste in Erdgeschoss etc.) oder im Bereich der Mobilität (intermodale Mobilitätspunkte, Sharing-Angebote etc.) hin (vgl. Mitteregger et al. 2021). Dabei ist zu beobachten, dass Digitalisierung auch zu einem graduelleren Verständnis öffentlicher und privater Räume beiträgt (vgl. Berding/Selle 2018: 1646), wobei auch neue Impulse für den öffentlichen Raum zu erwarten sind (ebd.: 1646-47). Für eine Annäherung an diese komplexen Zusammenhänge richtet die vorliegende Studie den Blick auf cyber-physische Systeme (CPS), die im öffentlichen Raum installiert oder in Bewegung sind.

Allgemein gefasst lassen sich CPS als Schnittstelle zwischen der physischen und der digitalen Umgebung beschreiben: Ihre physische Komponente kann an ein Leitungsnetz angeschlossen sein oder drahtlos einen u. U. beweglichen Knotenpunkt in der Dateninfrastruktur darstellen. Ihre digitale Komponente, also die Software, definiert das Protokoll für Wechselwirkungen zwischen realen und virtuellen Aktivitäten. Aus Sicht der Informatik eröffnen CPS die Möglichkeit, „völlig neuartige Systemfunktionen“ (Broy 2010: 21) zu entwickeln: „Das Zusammenspiel eingebetteter Systeme auf Basis leistungsfähiger Softwaresysteme, dedizierter Nutzungsschnittstellen mit der Einbindung in digitale Netze, schafft völlig neuartige Systemfunktionalitäten“ (ebd.: 21).

Im Kontext der Stadtplanung stellen Sensoren und Aktuatoren etwa eine wichtige Komponente für die Erarbeitung eines virtuellen Stadtmodells („Digitaler Zwilling“) dar, was derzeit als vielversprechendes Planungsinstrument diskutiert und bereits modellhaft erprobt wird.<sup>1</sup> Durch die Bündelung diverser bestehender Datensätze wie z. B. Kartengrundlagen und deren Überlagerung mit Datenprotokollen von CPS und weiteren Informationen kann diese Technologie zu einem verbesserten Verständnis für dynamische urbane Prozesse und Zusammenhänge beitragen. Zudem können Planende auf Grundlage des digitalen Zwillings städtebauliche Szenarien entwerfen und testen.

Das Nutzbarmachen der Daten und Informationen, die CPS im öffentlichen Raum potenziell generieren kön-

---

<sup>1</sup>Siehe z. B. das gemeinsame Projekt Connected Urban Twins der Städte Hamburg, Leipzig und München: Als Modellprojekt Smart Cities des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) entwickeln die drei Städte im Zeitraum 2021–25 digitale Zwillinge im Verbund (BSW o. J.).

nen, eröffnet der kommunalen Verwaltung also neue Zugänge zu Pflege, Unterhalt und Entwicklung des öffentlichen Raums.

Abgesehen von modellhaften Prototypen ist die Idee eines digitalen Zwillings in der Stadtentwicklung als übergeordnetes und integriertes CPS, welches diverse Teilsysteme einbettet und harmonisiert, eine Vision. In deutschen Städten und Gemeinden, speziell im öffentlichen Raum, sind CPS derzeit hauptsächlich als weitgehend autonome Systeme zu finden. Sie steuern Betriebsabläufe und Kommunikationswege in bestimmten Funktionsbereichen, jedoch i. d. R. nicht als Teil einer übergeordneten kommunalen Dateninfrastruktur wie z. B. einem digitalen Zwilling.

Um hier einen allgemeinen Überblick zu bekommen, nimmt diese Studie ein *exploratives Mapping cyber-physischer Systeme im öffentlichen Raum* vor. Durch diese Bestandsaufnahme werden CPS, die insb. im öffentlichen Raum zum Einsatz kommen, kartiert und kategorisiert. Ziel ist eine kartenbasierte Darstellung, die hypothetische Einschätzungen zu den räumlichen Auswirkungen der jeweiligen CPS auf den öffentlichen Raum formuliert. Nutzung, Gestaltung, Pflege und Funktionalität sind Aspekte und Bereiche des öffentlichen Raumes, in denen diese etwa zu beobachten sind.

## Zum Vorgehen

Grundlage für das Mapping (S. 8 f.) ist ein fiktives Raumbild, welches verschiedene Raumstrukturen zusammenführt: Die städtebauliche Dichte variiert (ländlich/urban), verschiedene Transportmodi sind dargestellt (Schiene, Bus/ÖPNV, PKW, Fahrrad, Fußverkehr u. a.) und die Gebäude weisen verschiedene Nutzungsprofile aus (Wohnen, Gewerbe, Mischnutzung). Im Zentrum dieses Raumbildes steht jedoch der öffentliche Raum mit Flächen für Freizeit und Sport, Verkehr und Transport, Grün- und Freiraum sowie Gastronomie und Gewerbe. Farblich hervorgehoben ist dabei eine Auswahl von CPS, die potenziell im öffentlichen Raum einer deutschen Kommune zu beobachten sein könnten. Die Kartierung der CPS auf dem fiktiven Raumbild ist explorativ und keinesfalls abschließend; sie ist vielmehr ein Mittel, um das oben beschriebene Interesse der Arbeit über den Zugang einer räumliche Repräsentation zu vertiefen.

Eine Auswahl von zwölf CPS, die in ihrer Gesamtschau möglichst vielfältige Facetten von CPS im öffentlichen Raum beleuchten, ist im Mapping durch eine Beschriftung gekennzeichnet und im Folgenden jeweils auf einem einseitigen Steckbrief in alphabetischer Reihenfolge dargestellt. Die Steckbriefe sind nach einer einheitlichen Struktur aufgebaut, welche eine Vergleichbarkeit der CPS untereinander gewährleisten soll. Sie umfassen Informationen und Ausführungen zu den folgenden Aspekten:

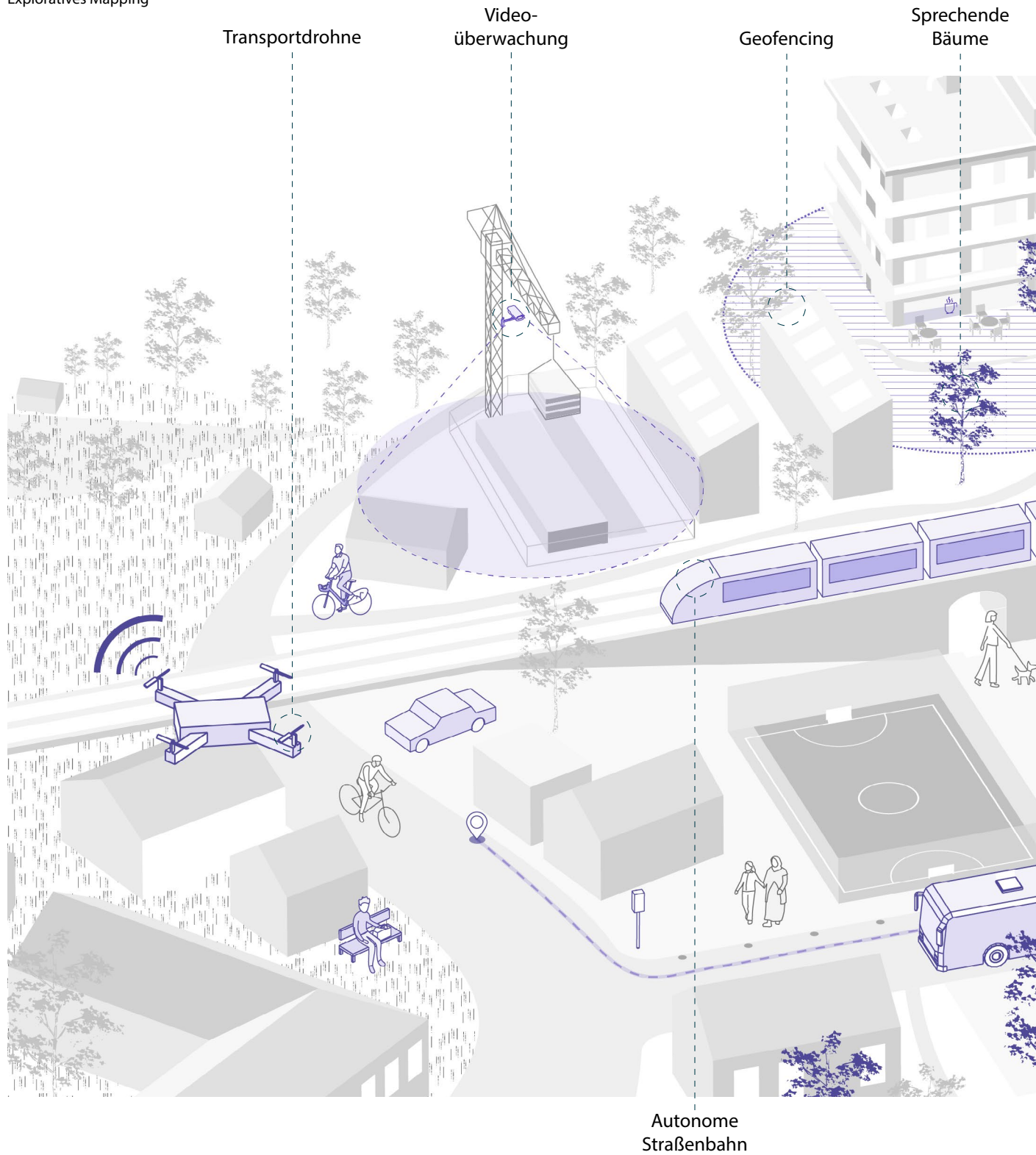
- Die *Übersicht* beinhaltet eine kurze Einführung der CPS inkl. räumlicher Visualisierung. Die Visualisierungen sind jeweils vergrößerte Ausschnitte des übergeordneten Mappings (S. 8 f.) und stellen dabei ausgewählte Details und Funktionsweisen der jeweiligen CPS dar.
- Der *Implementierungsstatus* ist im Steckbrief als ein Gradmesser angelegt, der darüber Auskunft gibt, ob die jeweiligen CPS zur Zeit eher als Prototyp entwickelt werden, sie bereits in verschiedenen Pilotprojekten zur Anwendung kommen oder schon als marktreifes Produkt in der Stadtentwicklung etabliert sind.
- Beobachtungen über die potenzielle *Raumwirkung* der jeweiligen CPS sind Gegenstand eines weiteren Abschnitts der Steckbriefe. Darin wird knapp beschrieben, wie CPS neue Muster und Formen der Interaktion zwischen Mensch und Technologie im öffentlichen Raum hervorbringen und damit eine Wirkung auf dessen Nutzung, Gestaltung, Pflege und Funktionalität entfalten können. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, geht es dabei zunächst darum, erste mögliche Wirkungen von CPS auf den öffentlichen Raum zu beschreiben.
- Ergänzend beinhaltet jeder Steckbrief einen *Blick in die Praxis*: Der Verweis auf jeweils ein ausgewähltes Anwendungsbeispiel liefert Bezüge zur Anwendung bzw. Nutzung der CPS in realen planerischen und stadträumlichen Zusammenhängen und kann Ausgangspunkt für vertiefende Recherchen durch die Lese-rin oder den Leser sein.

- 
- In der rechten Marginalspalte sind zusätzliche Informationen in Stichpunkten zusammengefasst, die die oben aufgeführten Aspekte zu den CPS abrunden:
    - » Sie geben Auskunft darüber, ob der *Betrieb* der CPS vorrangig privat und/oder öffentlich erfolgt,
    - » sie gehen auf potenzielle *Zielgruppen* ein,
    - » sie fassen zusammen, welche *Daten* dabei typischerweise relevant sind, und
    - » sie enthalten Angaben über typische Bereiche, in denen die Technologie zur *Anwendung* kommt.

Die folgenden Seiten beinhalten auf Grundlage der Übersichtskarte die Steckbriefe der zwölf ausgewählten CPS. Ein anschließendes Kapitel reflektiert diese Beobachtungen und Ergebnisse, um Perspektiven für die Nutzung, Gestaltung, Pflege und Funktionalität des öffentlichen Raums im Hinblick auf CPS zu entwickeln.

## 2 Exploratives Mapping cyber-physischer Systeme

Abbildung 1  
Exploratives Mapping



Quelle: Urban Catalyst GmbH





## Augmented Reality (AR)

Über eine Augmented-Reality-Brille wird das Sichtfeld in Echtzeit mit zusätzlichen digitalen Informationen überlagert.

### Implementierungsstatus

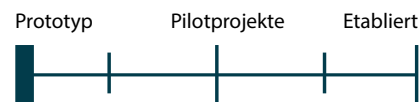
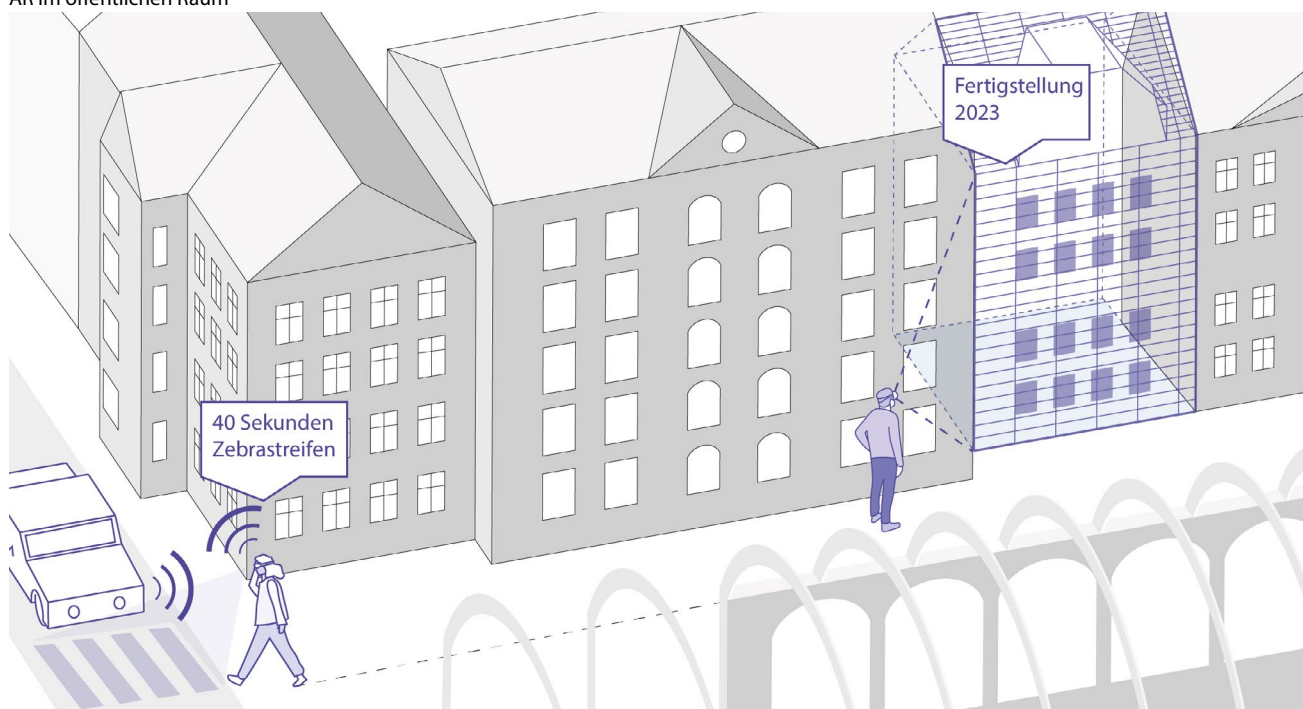


Abbildung 2  
AR im öffentlichen Raum



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Durch die Verschränkung von digitalen und physischen Informationen erweitern Augmented-Reality-Anwendungen die Umgebung um einen virtuellen Layer: Die Bürgerinnen und Bürger können die für ihren Standort relevanten Daten intuitiv abrufen, bspw. Informationen zu einem aktuellen Bauprojekt oder die Fahrplanauskunft des ÖPNV. Technische Voraussetzung für das Erfassen der Umgebung sind scanbare räumliche Bezugspunkte. Diese sind u. U. auch für Menschen sichtbar, die diese Technologie nicht nutzen, wie etwa QR-Codes.

### Blick in die Praxis

In der Stadt Luzern wurde im Herbst 2021 die geplante Neugestaltung der Bahnhofstraße mithilfe von AR-Technologie visualisiert. Bürgerinnen und Bürger können so die geplante Intervention intuitiv nachvollziehen und sich konstruktiv in den Planungsprozess einbringen (vgl. Hochschule Stadt Luzern 2021).

- » **Betrieb**  
privat oder öffentlich
- » **Zielgruppe**  
Bürgerinnen und Bürger mit entsprechendem digitalen Endgerät
- » **Daten**  
Kameradaten, georeferenzierte Daten
- » **Anwendung**  
Infrastruktur, Partizipation, Stadtplanung

[[Link zum Projekt](#)]

## Autonome Straßenbahn

Eine mit Kamera und Sensorik ausgestattete Straßenbahn erkennt die jeweilige Fahrsituation und bewegt sich autonom und führerlos durch das Liniennetz.

### Implementierungsstatus

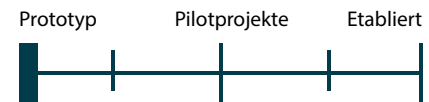
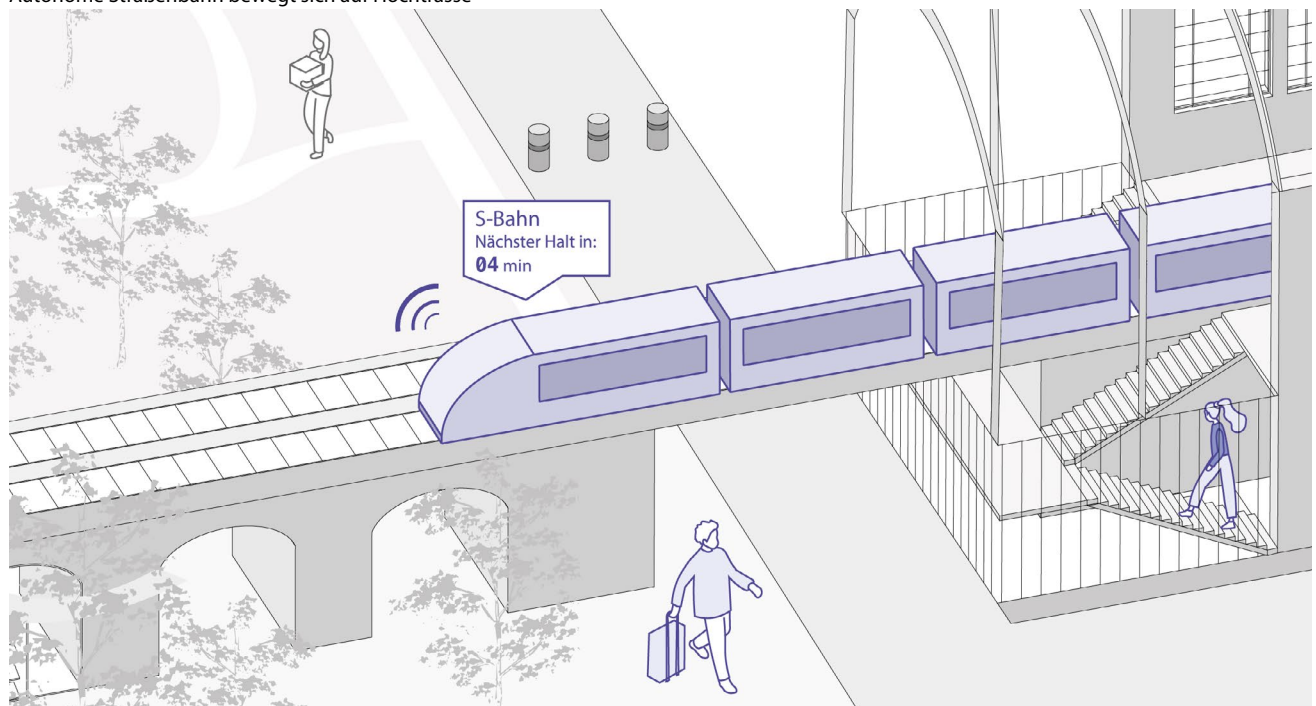


Abbildung 3  
Autonome Straßenbahn bewegt sich auf Hochtrasse



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Durch die Automatisierung ist eine umfassende Überwachung des Fahrbetriebs möglich, wodurch u. a. flexibel auf das Fahrgastaufkommen reagiert werden kann. So lassen sich Wartezeiten für die Mitfahrerinnen und Mitfahrer reduzieren, aber auch Leerfahrten vermeiden. Durch die Kommunikation der Bahnen untereinander ist zudem ein geringerer Sicherheitsabstand und damit eine engere Taktung möglich. Wartungsbedarfe können durch Sensorik frühzeitig erkannt und somit Störungsfälle vermieden werden.

### Blick in die Praxis

2018 realisierte Siemens Mobility gemeinsam mit der ViP Verkehrsbetrieb Potsdam GmbH eine erste Testfahrt einer autonomen Straßenbahn im realen Straßenverkehr. Ziel war es, die Herausforderungen unter realen Einsatzbedingungen zu erfassen, um Lösungsansätze für einen kommerziellen Einsatz der Straßenbahnen zu entwickeln (vgl. Siemens Mobility GmbH 2018).

[[Link zum Projekt](#)]

- » **Betrieb**  
öffentliche Verkehrsbetriebe
- » **Zielgruppe**  
Nutzerinnen und Nutzer des ÖPNV
- » **Daten**  
Kameradaten, georeferenzierte Daten, Erfassung von Auslastung und Nutzungsfrequenz
- » **Anwendung**  
Infrastruktur, Verkehrsplanung, ÖPNV

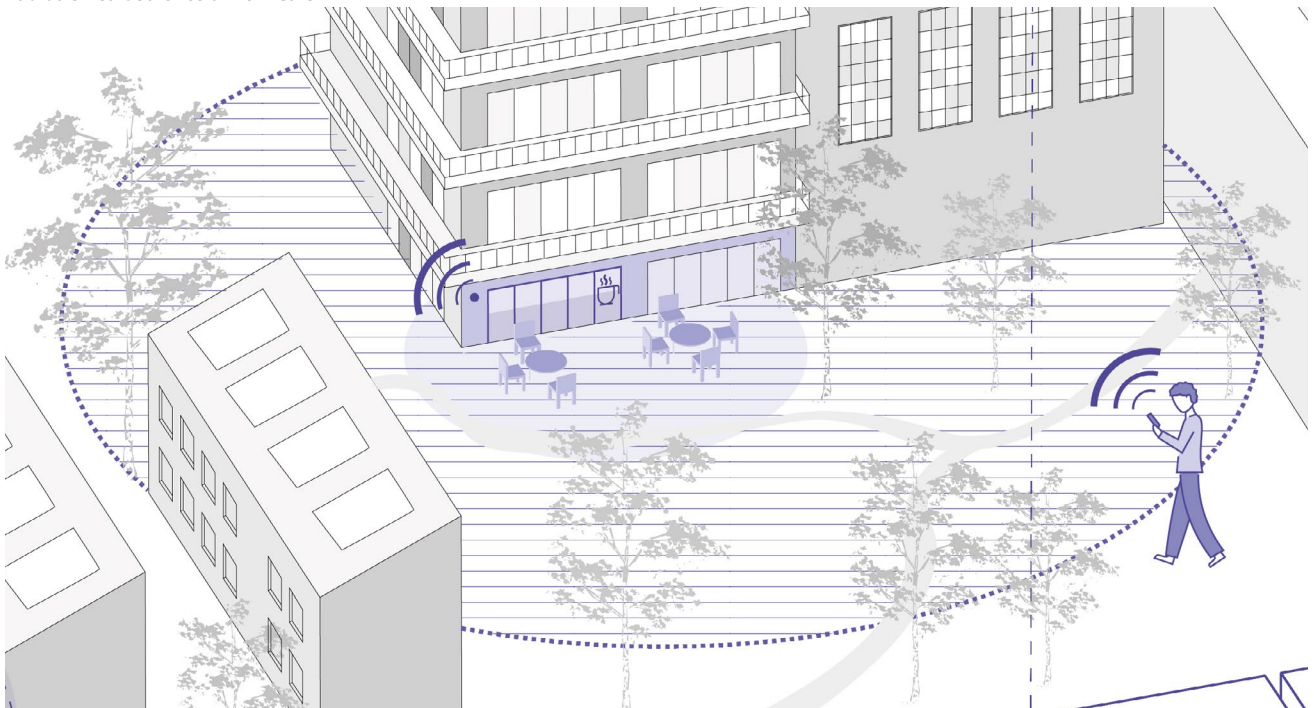
## Geofencing

Die Technologie des Geofencing löst durch das Betreten einer vordefinierten Zone eine Aktion auf registrierten digitalen Endgeräten aus, z. B. durch das Senden einer Benachrichtigung.

### Implementierungsstatus



Abbildung 4  
Radius eines Geofence um ein Café



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Durch diese Technologie können Gewerbetreibende ortsabhängig Werbung an das Smartphone von Kundinnen und Kunden versenden. Damit wird die digitale Präsenz mit der tatsächlichen physischen Umgebung verzahnt. Auch bei Sharing-Angeboten wie bspw. E-Rollern kann Geofencing eingesetzt werden, um die maximale Geschwindigkeit in bestimmten Straßenzügen oder Abstellzonen festzulegen. Hybridfahrzeuge können beim Einfahren in eine Umweltzone automatisch auf elektrischen Antrieb umschalten.

### Blick in die Praxis

Die Stadt Köln untersuchte in den Jahren 2019 bis 2021 gemeinsam mit einem Automobilhersteller den Einsatz von Geofencing zur Verbesserung der Luftqualität in Umweltzonen. Bei ausreichendem Ladezustand schalteten die Testfahrzeuge automatisch auf elektrischen Antrieb um (vgl. Smart City Cologne 2021).

- » **Betrieb**  
privat
- » **Zielgruppe**  
Kundinnen und Kunden mit entsprechendem Endgerät oder Fahrzeug
- » **Daten**  
Georeferenzierte Daten der Nutzerinnen und Nutzer
- » **Anwendung**  
Werbung, Mobilität, Logistik, Sicherheit

[[Link zum Projekt](#)]

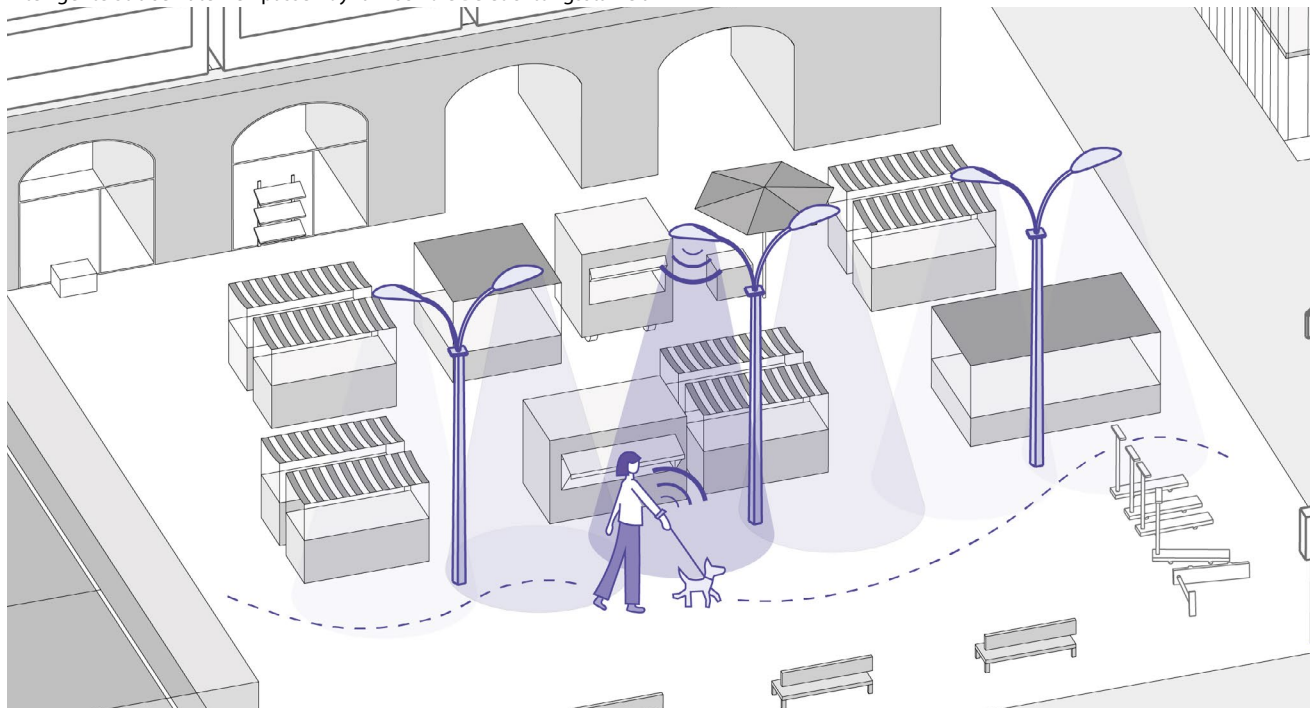
## Intelligente Straßenbeleuchtung

Die intelligente Verknüpfung einzelner Straßenlaternen führt zu einer bedarfsgerechten und damit energieeffizienten Straßenbeleuchtung. Die Laternenpfosten können zudem weitere Funktionen übernehmen.

### Implementierungsstatus



Abbildung 5  
Intelligente Straßenlaternen passen dynamisch die Beleuchtungsstärke an



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Beleuchtungselemente einer intelligenten Straßenbeleuchtung passen durch Sensoren die Lichtintensität dynamisch an den Bedarf an. Dadurch kann Energie eingespart und die umgebende Flora und Fauna von Lichtemissionen entlastet werden. Zusätzliche Daten wie bspw. Luftqualität und Lärmbelastung können ebenfalls aufgenommen und zentral ausgewertet werden. Die Schnittstelle zum Stromnetz ermöglicht zudem eine Lademöglichkeit für elektrische Fahrzeuge im öffentlichen Raum.

- » **Betrieb**  
öffentlich
- » **Zielgruppe**  
Personen im öffentlichen Raum
- » **Daten**  
Bewegung, Lärmemissionen, Luftqualität, Verkehrsaufkommen, Energieverbrauch
- » **Anwendung**  
Infrastruktur, Sensorik, Umweltdaten, Naturschutz

### Blick in die Praxis

Die Stadt Darmstadt rüstete vier Straßenlaternen rund um das Residenzschloss mit Sensoren auf, um Informationen über das Verkehrsaufkommen, die Luftqualität und den Geräuschpegel zu messen. Weitere 17 Straßenlaternen wurden entlang eines Fuß- und Radweges mit Sensoren zur Steuerung einer adaptiven Beleuchtung ausgestattet (vgl. Digitalstadt Darmstadt 2020).

[[Link zum Projekt](#)]

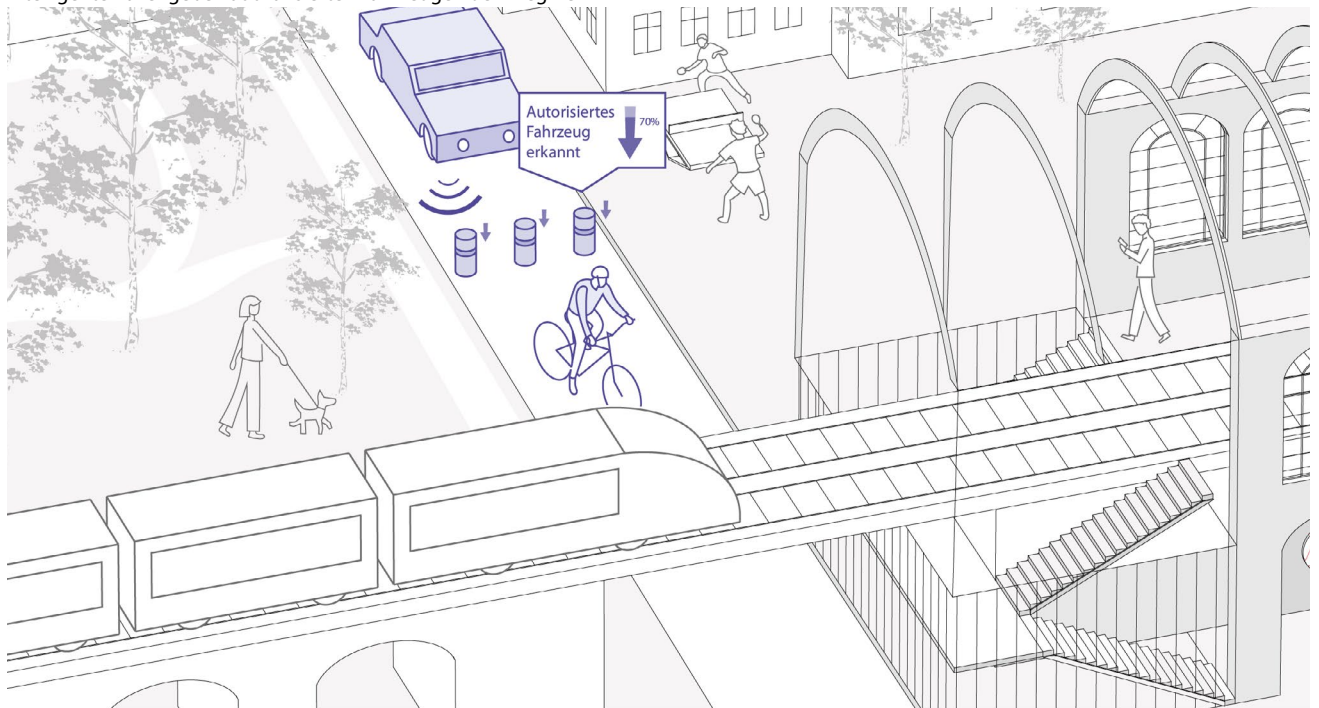
## Intelligente Verkehrsführung

Bewegliche Elemente zur Straßensperrung oder digitale Straßenschilder und teilautonome Verkehrszeichen machen die bedarfsgerechte Steuerung des Verkehrsflusses möglich.

### Implementierungsstatus



Abbildung 6  
Intelligente Poller geben autorisierten Fahrzeugen den Weg frei



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Mit Hilfe von intelligenten Pollern oder Schranken können berechnete und unberechtigte Fahrzeuge unterschieden und so (temporär) verkehrsberuhigte Bereiche realisiert werden. Die Poller oder Schranken bilden eine physisch trennende Barriere. Digitale Verkehrszeichen passen Geschwindigkeitsbeschränkungen auf aktuelle Situationen an und nehmen auf unterschiedliche Bedarfe Rücksicht. Der Einsatz dieser Technologie trägt dazu bei, Staus zu reduzieren, die Verkehrssicherheit zu erhöhen sowie die Lärm- und Emissionsbelastung zu senken.

### Blick in die Praxis

Aktuelle Anwendungsfälle von intelligenten Pollern als Lösungsansatz für die Durchsetzung verkehrsberuhigter Bereiche gibt es z. B. in Karlsruhe oder Berlin-Kreuzberg (vgl. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen 2018).

- » **Betrieb**  
öffentlich
- » **Zielgruppe**  
Verkehrsplanung,  
Verkehrsteilnehmerinnen  
und Verkehrsteilnehmer
- » **Daten**  
Verkehrsauslastung, Fahrzeugtypen, Zugangsberechtigung
- » **Anwendung**  
Straßenverkehr

[Link zum Projekt]

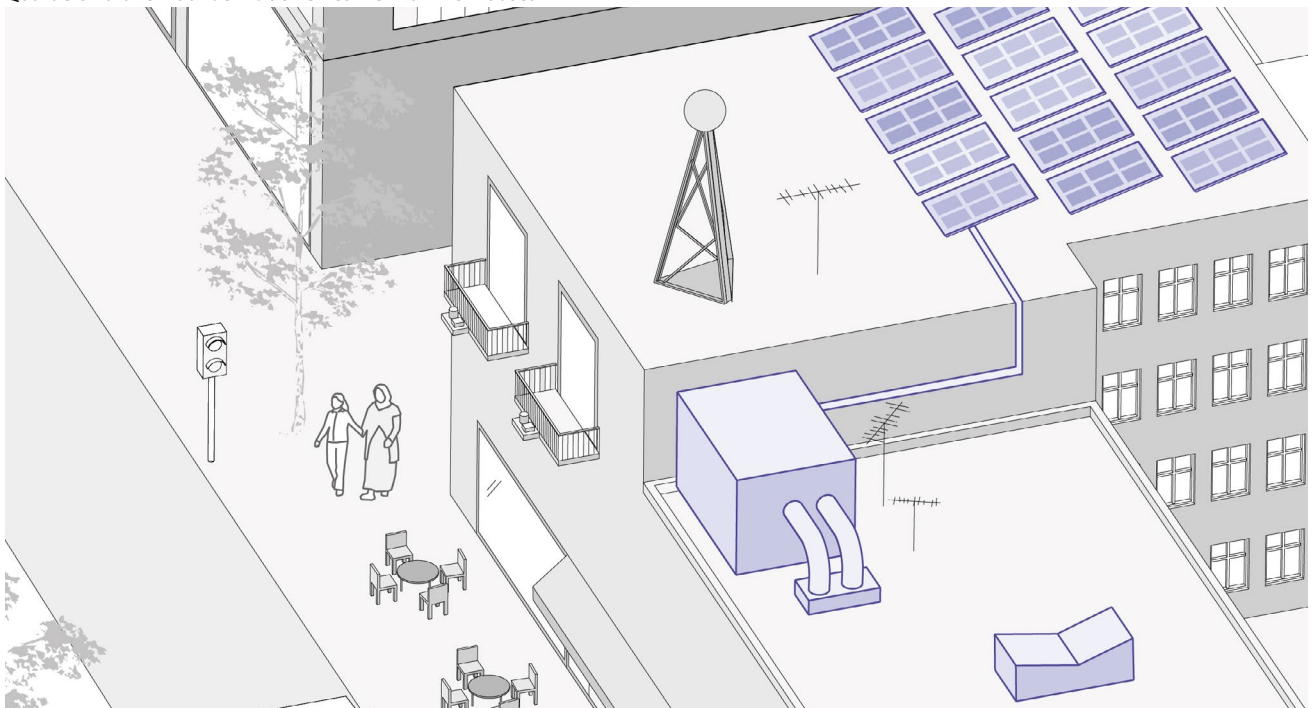
## Quartierskraftwerk

Das Quartierskraftwerk ist durch die Sektorenkopplung von Strom, Wärme und Mobilität eine dezentrale Versorgungseinheit im Stadtgefüge.

### Implementierungsstatus



Abbildung 7  
Quartierskraftwerk auf dem Dach eines Mehrfamilienhauses



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Über Quartierskraftwerke können einzelne Wohnkomplexe ihren Bedarf an Wärme und Strom weitgehend selbst generieren. Dies geschieht durch eigene Energieproduktion gekoppelt an ein Blockheizkraftwerk. Das Stadtbild prägend sind bspw. Solarpaneele, die sich meist auf den Dächern der Gebäude des entsprechenden Quartiers befinden. Ladestationen für Elektrofahrzeuge können in das Netzwerk integriert werden und für quartiersinterne Sharing-Angebote genutzt werden.

### Blick in die Praxis

Das Projekt „Enervator“ in der hessischen Stadt Kelsterbach kombiniert die Erzeugung und Nutzung von Strom und Wärme mit intelligenter Steuerungstechnik und Carsharing (vgl. Kelsterbach 2017).

- » **Betrieb**  
privat oder öffentlich
- » **Zielgruppe**  
Bewohnerinnen und Bewohner, Energieversorgung
- » **Daten**  
Strom- und Wärmebedarf
- » **Anwendung**  
Infrastruktur, Energieversorgung

[Link zum Projekt]

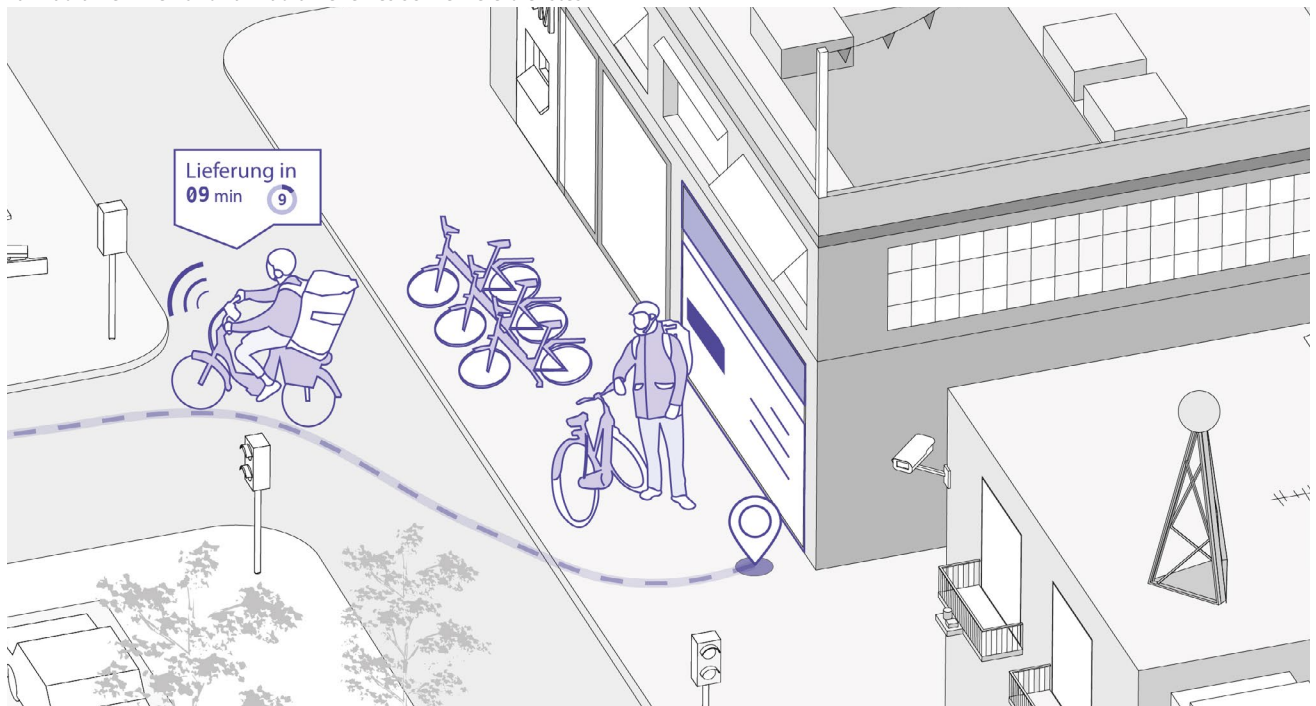
## Schnelllieferdienst

Dienstleisterinnen und Dienstleister übernehmen kurzfristig und schnell den Transport von Produkten und Lebensmitteln zu den jeweiligen Konsumentinnen und Konsumenten.

### Implementierungsstatus



Abbildung 8  
Fahrradfahrerinnen und Fahrradfahrer eines Schnelllieferdienstes



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Um schnelle Lieferzeiten garantieren zu können sind dezentrale Lagerräume, sog. Dark Stores, notwendig. Diese befinden sich meist in innerstädtischen Erdgeschossen und müssen mehrmals am Tag mit neuen Lebensmitteln bestückt werden. Die zunehmend bequeme Bedienung der Onlineportale und immer schnellere Zustellungen sorgen für einen starken Anstieg der Kundschaft sowie der Lieferantinnen und Lieferanten. Dies bedeutet auch einen hohen Nutzungsdruck auf den öffentlichen Raum, z. B. durch die hohe Frequenz von Lieferfahrzeugen im Umfeld der Dark Stores.

### Blick in die Praxis

Ein Großteil der Unternehmen setzt bei der Auslieferung auf Fahrräder, aber auch Roller, Lastenfahräder und Autos kommen zum Einsatz. Derzeit gibt es eine Vielzahl konkurrierender Unternehmen, die sich vorzugsweise auf Stadtgebiete konzentrieren (vgl. Behörde für Verkehr und Mobilitätswende o. J.).

- » **Betrieb**  
privat
- » **Zielgruppe**  
Konsumentinnen und Konsumenten im Lieferradius
- » **Daten**  
GPS-Daten, Adressdaten, Bestellungen
- » **Anwendung**  
Lieferservice, Nahversorgung, Onlinehandel



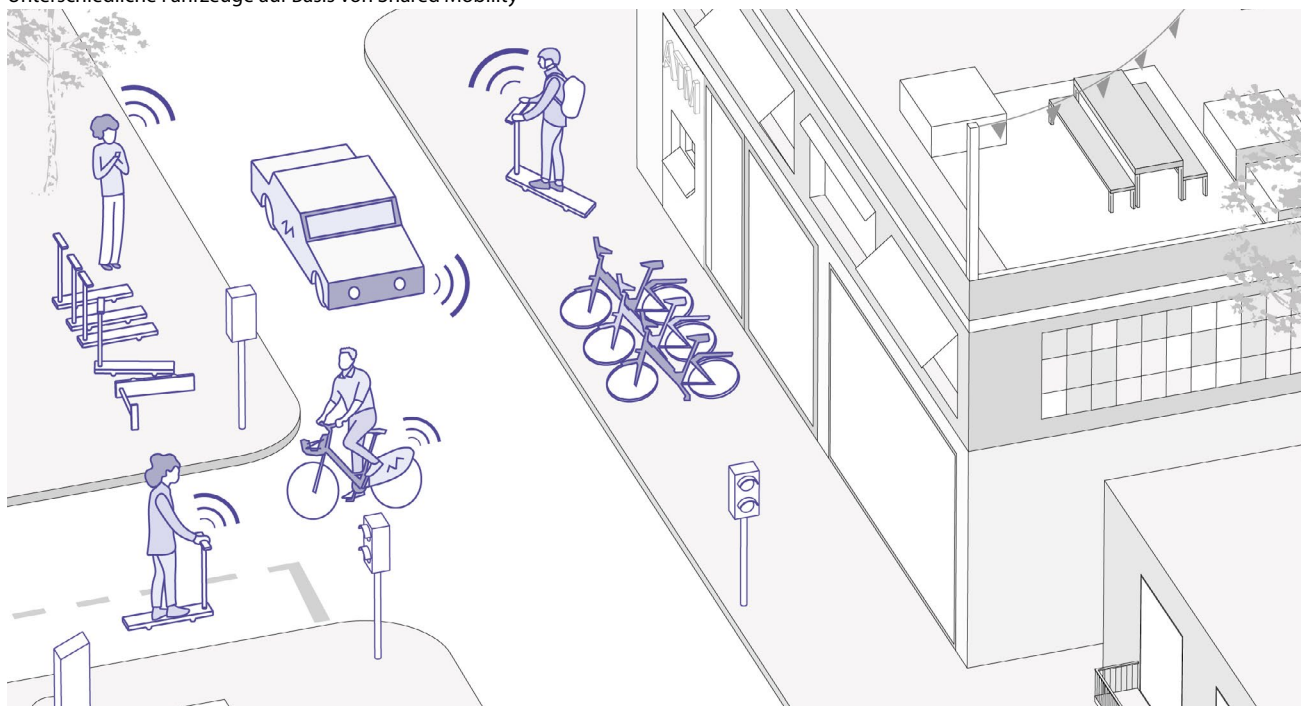
## Shared Mobility

Innerhalb einer vordefinierten Abstellzone können Mietfahrzeuge wie z. B. E-Roller, Fahrräder und Autos über eine digitale Plattform für einen bestimmten Zeitraum ausgeliehen und wieder abgestellt werden.

### Implementierungsstatus



Abbildung 9  
Unterschiedliche Fahrzeuge auf Basis von Shared Mobility



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Zur Ausleihe verfügbare Fahrzeuge sind mit meist auffälligen Farben Teil des öffentlichen Stadtbildes geworden. Bei einem Free-Floating-System wird eine Parkzone festgelegt, in welcher das Abstellen der Fahrzeuge erlaubt ist. Bei stationären Systemen sind die Abstellflächen an eine Mobilitätsstation gebunden. Diese liegen oft in innerstädtischen Bereichen. In ländlichen Räumen haben Angebote für Shared-Mobility-Fahrzeuge eine geringe Verbreitung. Die anonymisierten Daten der Nutzerinnen und Nutzer bieten perspektivisch eine wertvolle Ressource für die Stadtentwicklung.

### Blick in die Praxis

Fahrräder, Roller, E-Scooter, Lastenfahrräder und Autos sind die gängigsten Angebote der Shared Mobility. Einige Kommunen wie z. B. Hamburg bieten eigene leistungsstarke und flächendeckende Angebote an.

- » **Betrieb**  
überwiegend privat, aber auch kommunal/zivilgesellschaftlich getragene Angebote vorhanden
- » **Zielgruppe**  
Angebote adressieren spontane und flexible Mobilitätsbedarfe, oftmals auch Gäste und Reisende
- » **Daten**  
Bewegungsdaten, technische Daten, Nutzungsdaten (ID, Bezahlung)
- » **Anwendung**  
Abstellen auf öffentlicher Fläche, Nutzung der Radwege

[[Link zum Projekt](#)]

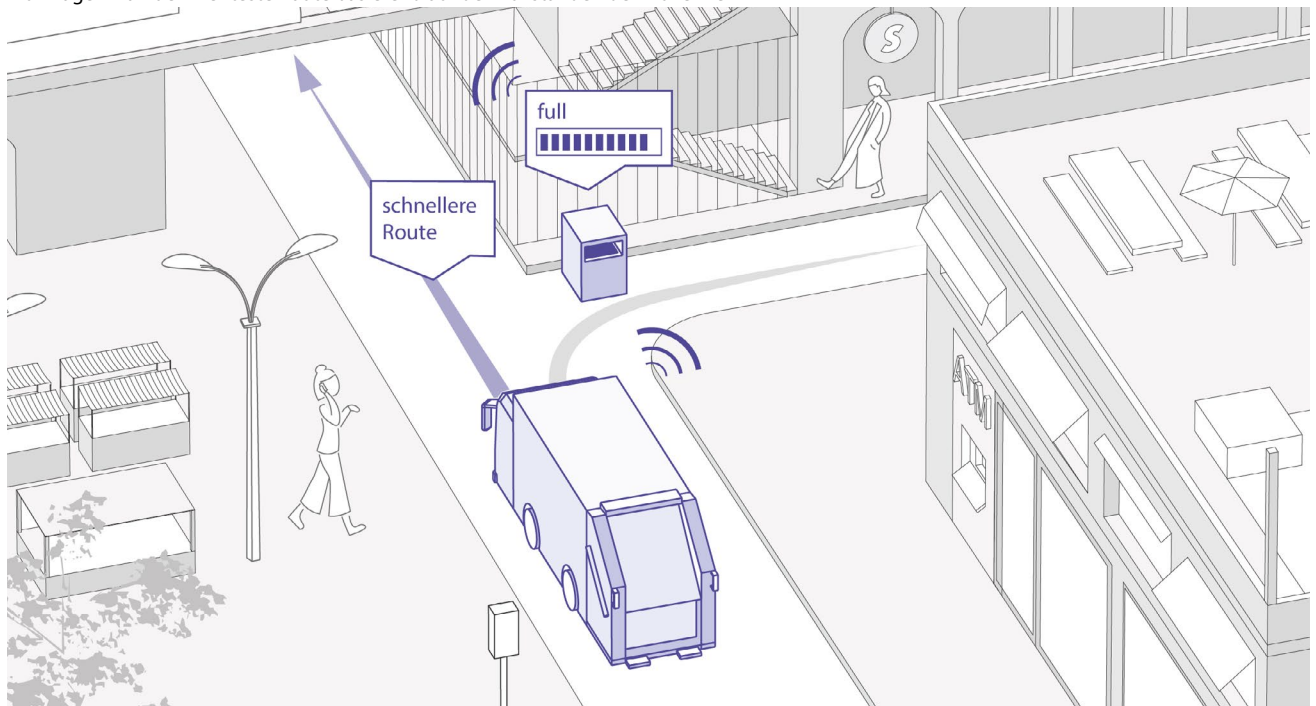
## Smarter Mülleimer

Mit Sensoren ausgestattete öffentliche Müllbehälter senden ihren Füllstand an die Entsorgungszentrale und werden nach Bedarf entleert. Die Technologie steigert die Effizienz im Abfallmanagement.

### Implementierungsstatus



Abbildung 10  
Müllwagen wählt effizienteste Route basierend auf den Füllständen der Mülleimer



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Mit der Echtzeitinformation über den Füllstand der öffentlichen Abfallbehälter fahren die Entsorgungsfahrzeuge bedarfsorientierte Routen. Sie vermeiden Umwege und entlasten Umwelt und öffentlichen Raum von Schadstoff- und Lärmemissionen. Die Daten lassen zudem Ableitungen für die mittel- und langfristige Standortplanung für öffentliche Abfallbehälter zu, was das Müllaufkommen im öffentlichen Raum zusätzlich reduzieren dürfte.

- » **Betrieb**  
öffentlich
- » **Zielgruppe**  
kommunale Stadtreinigung
- » **Daten**  
Sensordaten Füllstand,  
Entsorgungsrouten
- » **Anwendung**  
entlang des öffentlichen  
Entsorgungsnetzes

### Blick in die Praxis

Die Stadt Herrenberg in Baden-Württemberg setzt über 70 Unterflur-Mülleimer ein, die schrittweise mit Sensoren ausgestattet werden und über LoRaWAN vernetzt sind (vgl. Stadt Herrenberg 2019).

[Link zum Projekt]

## Sprechende Bäume

Sensoren messen kontinuierlich die biologischen Parameter eines Baumes und senden sie an eine zentrale Auswertungsstelle. Die Daten sind öffentlich zugänglich.

### Implementierungsstatus



Abbildung 11  
Mit Sensoren ausgestattete Bäume in einem städtischen Park



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Die Sensoren messen u. a. den Stammumfang, die Wasserverfügbarkeit und den Wassertransport des Baumes. Die Daten können zur besseren Überwachung des Stadtbaumbestandes verwendet werden und Bürgerinnen und Bürger dazu motivieren, aktiv bei dessen Pflege mitzuwirken. Zudem ermittelt die Technologie die Auswirkung auf das Stadtklima, wie bspw. Kühleffekte und die Speicherung von Kohlenstoffdioxid.

### Blick in die Praxis

Mit dem Forschungsprojekt „Talking Tree“ entwickeln das Institut für Systematische Botanik und Ökologie der Universität Ulm und der Botanische Garten der momo-Stiftung Sensorsysteme für Stadtbäume in Ulm (vgl. Stadt Ulm – Digitale Agenda 2021: 156).

- » **Betrieb**  
öffentlich
- » **Zielgruppe**  
Kommune, Zivilgesellschaft
- » **Daten**  
Sensordaten Wassertransport, CO<sub>2</sub>-Speicherung, Umfang, Bodenfeuchte
- » **Anwendung**  
Sensoren befinden sich am Stamm des Baumes

[Link zum Projekt]

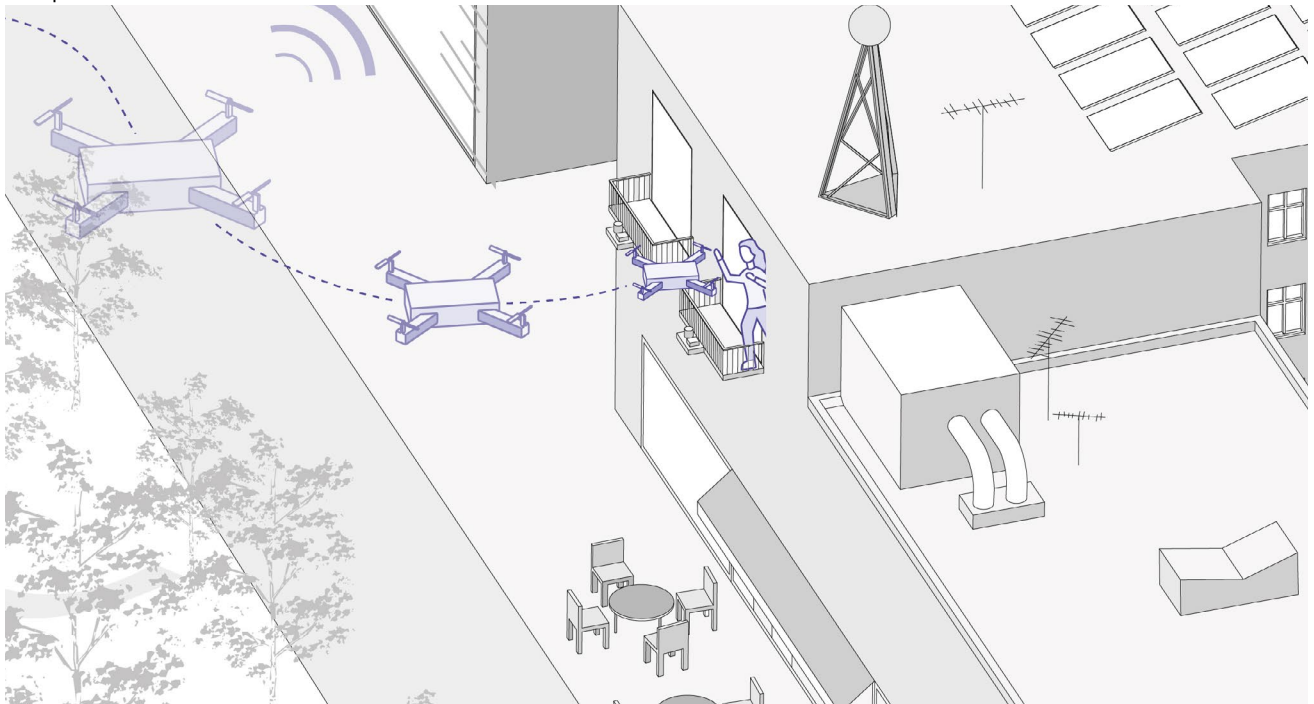
## Transportdrohne

Transportdrohnen sind unbemannte, ferngesteuerte Flugobjekte, die durch Rotoren in der Luft gehalten werden und dazu in der Lage sind, Objekte von Absenderinnen und Absendern zu Empfängerinnen und Empfängern zu transportieren.

### Implementierungsstatus



Abbildung 12  
Transportdrohne liefert Waren über den Luftraum aus



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Der Einsatz von Transportdrohnen ist im Luftraum visuell und akustisch bemerkbar und nur unter bestimmten Rahmenbedingungen möglich. Zur Erkennung von Flugbahn und Hindernissen ist die Drohne mit Sensorik und Kameras ausgestattet, was datenschutzrechtliche Fragen mit sich bringt. An Drohnenhäfen kann eine Beeinträchtigung der direkten Umgebung durch startende und landende Drohnen erwartet werden.

### Blick in die Praxis

In Ruanda liefern Drohnen medizinische Versorgungsmittel wie bspw. Blutkonserven aus. Auch in Hamburg soll mit dem Projekt „Medifly“ eine schnelle Belieferung von Krankenhäusern durch Drohnen getestet werden (vgl. Medifly Hamburg o. J.).

- » **Betrieb**  
privat und öffentlich
- » **Zielgruppe**  
Senderinnen und Sender/  
Empfängerinnen und Empfänger  
von Waren
- » **Daten**  
Kameradaten, GPS-Daten,  
Adressdaten
- » **Anwendung**  
Infrastruktur, Warentransport,  
medizinische Versorgung

[[Link zum Projekt](#)]

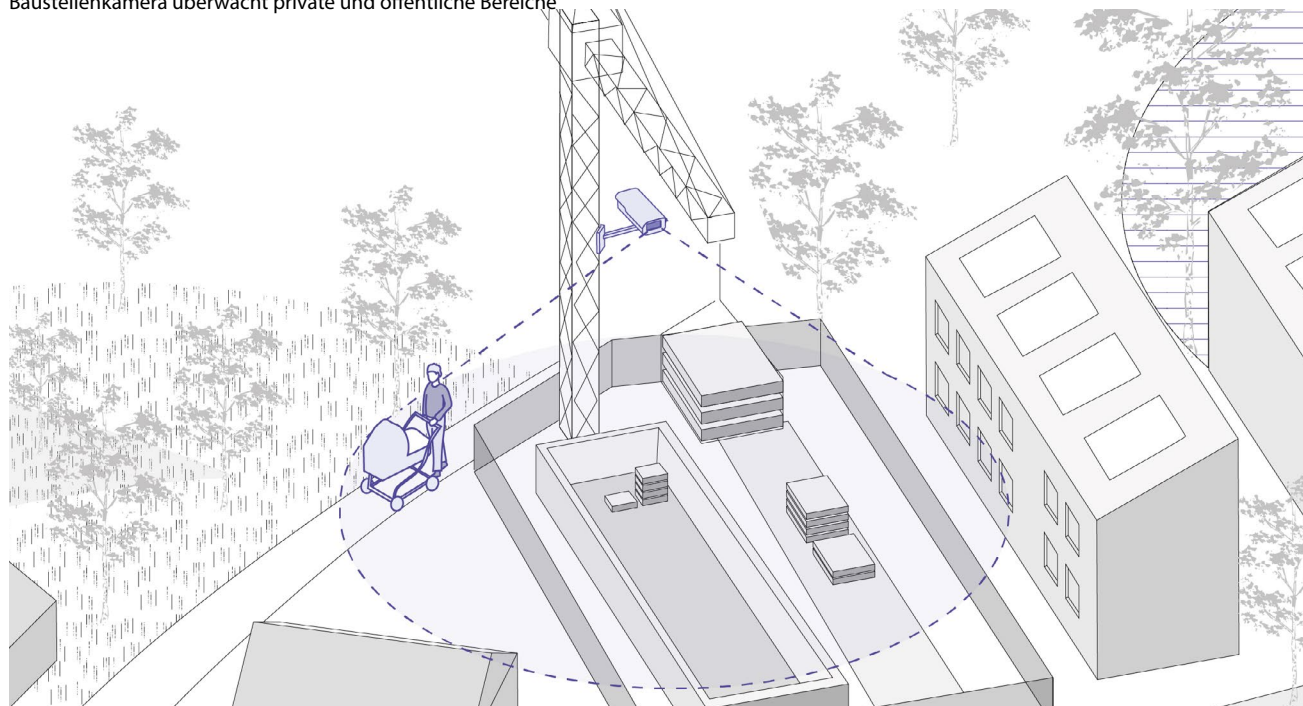
## Videüberwachung

Videüberwachung ist eine Technologie zur vorübergehenden Dokumentation des Geschehens im privaten oder öffentlichen Raum.

### Implementierungsstatus



Abbildung 13  
Baustellenkamera überwacht private und öffentliche Bereiche



Quelle: Urban Catalyst GmbH

### Raumwirkung

Der vermehrte Einsatz von Kameras bspw. an Baustellen, die zwar privat installiert werden, aber auch öffentliche Bereiche überwachen, sowie die zunehmende Vermessung durch Sensoren und Tracking-Kameras führt zu datenschutzrechtlichen Debatten. Derzeit unterliegen private Kameraaufnahmen im öffentlichen Raum der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO). Der überwachte Bereich ist kennzeichnungspflichtig und öffentliche Bereiche sind zu verpixeln.

### Blick in die Praxis

Das Projekt „Surveillance under Surveillance“ kartiert Überwachungskameras auf der ganzen Welt und nutzt dafür frei verfügbare Karten von „Open-Street-Maps“. Jeder und jede kann mitmachen und Überwachungskameras nach spezifischen Merkmalen kartieren (vgl. Surveillance under Surveillance o. J.).

- » **Betrieb**  
privat und öffentlich
- » **Zielgruppe**  
Kommunen, private Grundstückseignerinnen und Grundstückseigner
- » **Daten**  
Kameradaten, Bewegtbilder
- » **Anwendung**  
Sicherheit, bspw. Baustellenüberwachung

[Link zum Projekt]

### 3 Reflexion

Ziel der Erarbeitung des explorativen Mappings war es, eine möglichst facettenreiche Bestandsaufnahme von CPS, die im öffentlichen Raum Wirkung entfalten, vorzunehmen. Dabei geht es weniger um eine empirisch gesicherte, systematisierte und abschließende Erfassung der möglichen Wirkungen von CPS auf den öffentlichen Raum. Vielmehr verfolgt die Studie das Interesse, sich diesem Phänomen über das Mittel der räumlichen Repräsentation anzunähern und ein Bewusstsein für die Thematik zu entwickeln, um die resultierenden Beobachtungen offen zu reflektieren. Dabei bleibt zu diskutieren, welche Perspektiven sich für die Nutzung, Funktionalität, Pflege und Gestaltung des öffentlichen Raums durch die Präsenz von CPS ergeben könnten – diese vier Aspekte beschreiben potenzielle Wirkungsdimensionen, zu denen sich auf Grundlage der oben dargestellten CPS verschiedene theseartige Ableitungen denken lassen. Generell ist durch die kartierten CPS erkennbar, dass es sich um ein vergleichsweise junges Phänomen handelt. Während auf mittel- und langfristige Sicht verschiedene potenzielle Mehrwerte für die Stadtentwicklung denkbar sind, drängen sich gleichzeitig kritische Themen und Fragestellungen auf, die Kommunen bereits heute in den Blick nehmen bzw. nehmen sollten. Vor diesem Hintergrund versteht sich diese abschließende Reflexion in erster Linie als Grundlage für weitere und vertiefende Diskussionen.

#### Nutzung

Zunächst lässt sich beobachten, dass der Einsatz von CPS im öffentlichen Raum eine Reihe an speziellen Nutzungen möglich macht, die wiederum spezifische Aspekte des öffentlichen Raums in den Fokus rücken: → [Shared Mobility](#)-Angebote wie etwa Leihfahrräder oder E-Roller nutzen den öffentlichen Raum insbesondere als Stellfläche für die Mietfahrzeuge, teilweise in erheblichem Maße. Dies betrifft sowohl Gehwege, nicht definierte Freiflächen und Plätze also auch festgelegte Parkzonen stationärer Leihsysteme. Eine Möglichkeit, den Nutzungsradius solcher Angebote zu kontrollieren, ist das → [Geofencing](#). So lassen sich virtuelle Grenzen bzw. Möglichkeitsräume definieren, die bspw. das Abstellen von E-Rollern in öffentlichen Parkanlagen oder Fußgängerzonen verhindern bzw. zulassen. Solche Zonen festzulegen ist u. a. Gegenstand einer Vereinbarung zwischen Kommune und den privaten Anbieterinnen und Anbietern der E-Roller.<sup>1</sup> → [Schnelllieferdienste](#) hingegen greifen insbesondere auf die Radverkehrsinfrastruktur im öffentlichen Raum zurück, wobei sich in innerstädtischen, verdichteten Quartieren ein erhöhter Nutzungsdruck beobachten lässt, hauptsächlich durch die hohe Frequenz im Umfeld der sog. Dark Stores. CPS im öffentlichen Raum bedingen jedoch auch ganz andere Nutzungen: → [Quartierskraftwerke](#) holen bspw. Funktionen der Energieversorgung ins Quartier. Sie stärken damit die Resilienz des Quartiers, indem sie etwa die Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern erhöhen. Gleichzeitig leisten sie einen Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Sie nutzen dabei eher Nischen im (halb-)öffentlichen Raum, z. B. durch Photovoltaikanlagen auf Dächern, Fassaden oder Abstandsflächen. → [Transportdrohnen](#) nutzen den Luftraum, um Objekte zu transportieren – wobei es sich hier bisher eher um ein prototypisches als ein technologisch ausgereiftes CPS für die Anwendung im Stadtraum handelt.

CPS im öffentlichen Raum können auch einen Einfluss auf das Nutzungs- und Bewegungsverhalten allgemein haben: → [Augmented Reality](#) überlagert die physische Umwelt mit virtuellen Informationen und erweitert in gewisser Weise die persönliche Wahrnehmung. Dies wirkt sich letztlich auf die Art und Weise, wie wir den öffentlichen Raum nutzen, aus. Auch die → [Videoüberwachung](#) (halb-)öffentlicher Räume durch private Akteurinnen und Akteure und/oder die Sicherheitsbehörden kann sich auf das Sicherheitsempfinden auswirken, steht gleichzeitig aber auch im Zielkonflikt mit Interessen des Datenschutzes und verändert die Atmosphäre im urbanen Raum.

Die kleine Auswahl an Beispielen für (neue) Nutzungen des öffentlichen Raums durch CPS rückt eine Vielzahl an räumlichen Strukturen in den Fokus. Dies bedeutet zunächst eine Veränderung des öf-

<sup>1</sup> Siehe z. B. die freiwillige Vereinbarung, welche die Freie- und Hansestadt Hamburg (FHH) mit den dort aktiven Anbietern und Anbieterinnen von E-Rollern trifft (2019). Dort ist außerdem geregelt, dass die FHH Zugriff auf umfangreiche anonymisierte Daten über Nutzung und Wege der E-Roller bekommt.

fentliches Raums in bestimmten Teilbereichen, wie z. B. Verkehrsflächen oder Grün- und Freiräumen. Für Kommunen und die öffentliche Hand stellt sich die Frage, in welchem Maße sich dies mit übergeordneten Zielen der Stadtentwicklung verträgt und an welcher Stelle die Setzung regulativer Rahmenbedingungen erforderlich wird.

## Funktionalität

Während die Anwendungsfälle in den oben genannten Beispielen bestimmte Flächen und Bereiche des öffentlichen Raums für sich beanspruchen und mit neuen Nutzungen belegen, eröffnet eine Reihe an CPS neue Perspektiven auf die Funktionalität verschiedener Prozesse und Abläufe, die im öffentlichen Raum stattfinden. Im Bereich der Mobilität zeichnen sich z. B. Möglichkeiten für eine effizientere und bedarfsorientiertere Organisation ab. Ein System → [autonomer Straßenbahnen](#) würde das Angebot flexibel je nach Nachfrage anpassen. Auch aus sicherheitstechnischer Sicht wäre eine engere Taktung des Betriebs möglich, gleichzeitig ließen sich Leerfahrten vermeiden. Bisher sind in diesem Bereich jedoch zunächst prototypische Lösungen implementiert. Anwendungen für eine → [intelligente Verkehrsführung](#) hingegen sind schon etabliert. Hier lässt sich beobachten, wie Infrastruktur und Ordnungsprinzipien, die der Organisation des Verkehrsraumes dienen, durch CPS responsiver und differenzierter werden. So kann es z. B. gelingen, verkehrsberuhigte Zonen durch absenkbare Poller zu sichern und dennoch den Zugang für berechtigte Fahrzeuge offen zu halten.

Die beiden Beispiele aus dem Bereich Mobilität lassen die Schlussfolgerung zu, dass CPS ein Schlüssel sein können, Verkehrsräume effektiver und effizienter zu gestalten, was ihre Funktionalität letztlich verbessern dürfte. Eine Verbesserung der Funktionalität kommunaler Infrastruktur im öffentlichen Raum verspricht auch die Implementierung → [intelligenter Straßenbeleuchtung](#). Die Beleuchtung des öffentlichen Raums orientiert sich dabei am tatsächlichen Bedarf und ist daher sparsamer. Dabei geht es nicht nur um die Einsparung von Energie. Durch die Reduktion von Lichtemissionen tragen solche Beleuchtungssysteme u. a. zum Schutz von Insekten bei. Straßenlaternen lassen sich als öffentliche Infrastruktur zudem um weitere Funktionen ergänzen, wie z. B. Ladeinfrastruktur für E-Autos oder Sensoren zur Erhebung von Umweltdaten. Durch die Integration verschiedener CPS in einem Infrastrukturelement, das vormals mit einer singulären Funktion belegt war, kann es nun für verschiedene Zwecke genutzt werden.

## Pflege

Ob Straßenreinigung, Baumschnitt oder Winterdienst: Pflege und Unterhalt kommunaler Flächen und Infrastrukturen sind von entscheidender Bedeutung für die Qualität, Sicherheit und Zugänglichkeit des öffentlichen Raums. CPS können dabei einerseits Mittel sein, die Kommune in diesen Aufgaben zu unterstützen. Mit dem → [smarten Mülleimer](#) reduziert die kommunale Abfallwirtschaft bspw. Wege und Aufwand in der Entleerung der Abfallbehälter. Dabei ist dieses CPS eng in die Arbeit der kommunalen Abfallentsorgung eingebunden. In der Baumpflege unterstützen Sensoren im Projekt → [sprechende Bäume](#) das Monitoring der Baumvitalität. Sie lassen Schlüsse über notwendige Pflegemaßnahmen aus der Ferne zu, können aber auch weitere Umweltdaten bereitstellen.

Andererseits erfordern auch zahlreiche der oben genannten CPS selbst einen erheblichen Aufwand an Pflege und Instandhaltung. Das betrifft z. B. die Versorgung von E-Rollern mit frischen Akkus oder die Relokalisierung von → [Shared Mobility](#)-Leihfahrzeugen. Informationen über regulären Wartungs- und Unterhaltungsbedarf sind dabei in der Regel im Protokoll der CPS berücksichtigt: Ähnlich wie der smarte Mülleimer, der nur entleert wird, wenn er voll ist, werden die Akkus von E-Rollern nur dann ausgetauscht, wenn Bedarf besteht. Zu einem gewissen Grad sind CPS also in der Lage, Pflege- und Reparaturbedarfe zu melden. Für die marktfähige Durchsetzung der jeweiligen Technologien ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Fehleranfälligkeit außerhalb regulärer Pflege- und Wartungsarbeiten so gering wie möglich ist, besonders im Bereich der kritischen Infrastruktur.

## Gestaltung

Die Gestaltung des öffentlichen Raums im Kontext der zunehmenden Präsenz von CPS stellt einen abschließenden und übergreifend zu reflektierenden Aspekt der potenziellen Wirkung von CPS im öffentlichen Raum dar. Wie es z. B. die oben dargestellte Diskussion um die Abstellflächen für E-Roller im öffentlichen Raum veranschaulicht, steht dabei u. a. die Aushandlung von privaten und öffentlichen Interessen im Fokus: In welchem Maß überlässt die Kommune den öffentlichen Raum privaten Akteurinnen und Akteuren und ihren Geschäftsmodellen und welche Mittel hat sie in der Hand, um öffentliche Interessen durchzusetzen?

In Bereichen der kommunalen Daseinsvorsorge lässt sich zudem beobachten, dass CPS die Basis für eine Reihe innovativer Anwendungen im öffentlichen Raum bilden. Es zeichnet sich also ab, dass Kommunen in Zukunft stärker und flächendeckender auf CPS setzen können, um etwa die Funktionalität oder Pflege öffentlicher Infrastrukturen zu verbessern. An dieser Stelle rückt auch wieder die eingangs skizzierte Diskussion um den digitalen Zwilling in den Blick. Denn letztlich bestehen in der integrierten Zusammenführung der verschiedenen CPS im öffentlichen Raum und darüber hinaus erhebliche Potenziale für den Aufbau kommunaler Datenbestände, die z. B. verbesserte Grundlagen für die Planung darstellen können.



## Literaturverzeichnis

- Behörde für Verkehr und Mobilitätswende, o. J.: StadtRad Hamburg Fahrradverleihsystem. Zugriff: <https://www.hamburg.de/services-rund-ums-fahrrad/2986288/stadtrad-hamburg/> [abgerufen am 04.05.2022].
- Berding, U.; Selle, K., 2018: Öffentlicher Raum. In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. Hannover: 1639–1653.
- Broy, M. (Hrsg.), 2010: Cyber-Physical Systems – Wissenschaftliche Herausforderungen bei der Entwicklung. (Hrsg.): Cyber-Physical Systems: Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme, acatech DISKUTIERT. Berlin/Heidelberg: 17–32.
- Bruck, E. M.; Mitteregger, M.; Scheuven, R., 2021: Digitalisierung als Treiber räumlicher Transformationsprozesse. In: future.lab MAGAZIN 15: 1–2.
- BSW – Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, o. J.: Connected Urban Twins. Zugriff: <https://www.hamburg.de/stadtwerkstatt/15668060/connected-urban-twins/> [abgerufen am 24.03.2022].
- Digitalstadt Darmstadt, 2020: Smart Lighting. Intelligente Straßenlaternen regulieren ihre Leuchtstärke selbst und messen Luftwerte. Zugriff: <https://www.digitalstadt-darmstadt.de/projekte/smart-lighting/> [abgerufen am 04.05.2022].
- Freie und Hansestadt Hamburg, o. J.: SadtRAD Hamburg. Zugriff: <https://stadtrad.hamburg.de> [abgerufen am 1.06.2022].
- Freie und Hansestadt Hamburg, 2019: Vereinbarung zwischen E-Tretroller-Anbieter und der Freien und Hansestadt Hamburg. Zugriff: <https://www.hamburg.de/contentblob/12739712/7242056ae13651f702172cb-c2adb4281/data/%202019-06-20-plev-vereinbarung-hamburg-final.pdf> [abgerufen am 05.05.2022].
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen, 2018: Hessischer Staatspreis Energie. Forschungsprojekt Enervator – Digitalisierung der Energiewende. Zugriff: <https://www.hessischer-staatspreis-energie.de/preistraeger/2018/forschungsprojekt-enervator-digitalisierung-der-energiewende/> [abgerufen am 04.05.2022].
- Hochschule Luzern, 2021: Neugestaltung der Luzerner Bahnhofstrasse: HSLU entwickelt Augmented Reality-Visualisierung. Zugriff: <https://www.hslu.ch/de-ch/hochschule-luzern/ueber-uns/medien/medienmitteilungen/2021/08/19/ar-umgebung-bahnhofstrasse/> [abgerufen am 04.05.2022].
- Medifly Hamburg, o. J.: Medizinischer Luftfrachtdienst. Zugriff: <https://medifly.hamburg/> [abgerufen am: 04.05.2022].
- Mitteregger, M.; Bruck, E. M.; Gartner, F.; Miessgang, M.; Scheuven, R., 2021: Digitalisierung im Raum gestalten. In: future.lab MAGAZIN 15/2021: 3–13.
- Siemens Mobility GmbH, 2018: Siemens Mobility präsentiert erste autonom fahrende Straßenbahn der Welt. Zugriff: <https://press.siemens.com/global/de/pressemitteilung/siemens-mobility-praesentiert-erste-autonom-fahrende-strassenbahn-der-welt> [abgerufen am 04.05.2022].
- smart city colgone, 2019: Geofencing - Smart City Cologne. Zugriff: <https://www.smartcity-cologne.de/index.php/Geofencing.html> [abgerufen am 04.05.2022].
- Soike, R.; Libbe, J.; Konieczek-Woger, M.; Plate, E., 2019: Räumliche Dimensionen der Digitalisierung - Handlungsbedarfe für die Stadtentwicklungsplanung. Ein Thesenpapier. Difu-Sonderveröffentlichungen. Berlin: 30.
- Stadt Herrenberg, 2019: Erste Schritte auf dem Weg zu „Smart Herrenberg“. TUG - Amt für Technik und Grün. Zugriff: <https://tug-herrenberg.de/blog/erste-schritte-auf-dem-weg-zu-smart-herrenberg/> [abgerufen am 04.05.2022].
- Stadt Karlsruhe, 2021: Zirkel: Smarter Poller. Intelligentes System regelt die Durchfahrt und lernt stetig dazu. Zugriff: [https://presse.karlsruhe.de/db/stadtzeitung/jahr2021/woche25/zirkel\\_smarter\\_poller.html](https://presse.karlsruhe.de/db/stadtzeitung/jahr2021/woche25/zirkel_smarter_poller.html) [abgeru-

fen am 04.05.2022].

Stadt Ulm - Digitale Agenda, 2021: Smart City Strategie der Stadt Ulm. Zugriff: [https://smartcitystrategie.ulm.de/wp-content/uploads/2021/12/2021-12-13\\_Strategie\\_Ulm4CleverCity\\_Langfassung.pdf](https://smartcitystrategie.ulm.de/wp-content/uploads/2021/12/2021-12-13_Strategie_Ulm4CleverCity_Langfassung.pdf) [abgerufen am 04.05.2022].

Surveillance under Surveillance, o. J.: What this is about. Zugriff: <https://sunders.uber.space/#what> [abgerufen am 04.05.2022].

Thierstein, A., 2018: Digitale Transformation im urbanen Raum: drei Beobachtungen. *Bauwelt*, 19/2018: 32–35.