

# Die Zukunft des Straßenraums im Quartier – an der Schnittstelle von Technologieinnovation, Mobilität und Ressourceneffizienz

*Felix Stroh, Constanze Heydkamp, Angela Wendnagel-Beck*

(M.A. Felix Stroh, Fraunhofer IAO, Nobelstraße 12, 70563 Stuttgart, [felix-fabian.stroh@iao.fraunhofer.de](mailto:felix-fabian.stroh@iao.fraunhofer.de))

(M.A. Constanze Heydkamp, Fraunhofer IAO, Nobelstraße 12, 70563 Stuttgart, [constanze.heydkamp@iao.fraunhofer.de](mailto:constanze.heydkamp@iao.fraunhofer.de))

(M.A. Angela Wendnagel, IREUS Uni Stuttgart, Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart, [Wendnagel.Angela@gmx.de](mailto:Wendnagel.Angela@gmx.de))

## 1 ABSTRACT

Urbane Straßen erfüllen neben der bedeutsamen und offensichtlichen verkehrstechnischen Verbindungs- und Erschließungsfunktion weitere wichtige Funktionen für die Stadt: Sie sind Wirtschaftsraum, soziokultureller Aktionsraum und ökologischer Puffer für den Temperatur-, Wasser- und Schadstoffhaushalt. Aufgrund dieser vielfältigen Bedeutung wirken sich aktuelle Trends und Entwicklungen in den unterschiedlichen Bereichen maßgeblich auf den Straßenraum aus und fordern neue Konzepte hinsichtlich Planung, Umsetzung und Instandhaltung. Wie die Entwicklung von zukunftsfähigen Straßen mit Blick auf gegebene Herausforderungen gestaltet werden kann und wie dabei Technologieinnovationen Eingang finden können, wird im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts „Straße der Zukunft“ durch die beiden Fraunhofer-Institute IAO und IGB gemeinsam mit dem Praxispartner Drees & Sommer Infra Consult und den Kommunen Ludwigsburg und Erlangen erforscht. Im Projekt werden zwei Musterstraßen in den Partnerkommunen baulich umgesetzt. Dabei fließen wissenschaftliche Erkenntnisse aus dem Projekt in den Prozess ein, um vor Ort den Einsatz innovativer Lösungen zu erproben.

In diesem Beitrag wird zunächst ein Überblick über die Entwicklung und Bedeutung der vielschichtigen Dimensionen der Straße gegeben. Neben einer historischen Einordnung werden dafür die Funktionen beleuchtet, die Straßen im Stadtgefüge erfüllen sowie aktuelle Trends diskutiert, die auf die Straße der Zukunft einwirken. Abschließend werden zwei im Forschungsprojekt erarbeitete Extremszenarien für den Straßenraum 2030 „Highway of Data“ und „Grüne Lunge“ vorgestellt und ein Ausblick für deren Integration gegeben. Das übergeordnete Forschungsinteresse für den weiteren Projektverlauf ist es zu verstehen wie Digitalisierung und Nachhaltigkeit in einer gemeinsamen Planungsperspektive integriert werden können.

## 2 EINLEITUNG

Dieses einleitende Kapitel widmet sich den Fragen: Wie hat sich der Straßenbau historisch entwickelt? Welche unterschiedlichen Funktionen vereint der Straßenraum? Welche sich abzeichnenden Trends mit Blick auf technische Innovationen, Mobilitätsverhalten und Ressourceneffizienz prägen die Zukunft der Straße und ihre Entwicklung?

### 2.1 Historische Innovationsphasen im Straßenbau

Über Jahrtausende waren Straßen in Form von Wasserwegen oder Landverbindungen für Menschen das bedeutendste Kommunikationsmittel. Sie dienten dem Güter- und Warenaustausch, als Heerwege oder in Form von Prozessionsstraßen auch religiösen Zwecken (Grewe 2003, Köpp 2012). Dennoch schritt ihre Entwicklung nicht kontinuierlich voran, sodass auf eine Phase des Fortschritts meist ein Bedeutungsverlust folgte.

In Mitteleuropa erfuhr der Straßenbau einen immensen Fortschritt im Zeitalter des Römischen Reichs, indem das größte Verkehrsnetz der Antike mit einer Länge von 80.000 Kilometern entstand. Die Verkehrswege dienten dazu militärischen Truppen zu verlagern sowie Nachrichten und darüber hinaus die römische Kultur, Religion, Werte, Ideologie und Lebensweisen zu verbreiten. In friedlichen Zeiten bildeten Straßen die Basis für den (über-)regionalen Handel (Andrikopoulou 2012). Die hohe Ingenieurskunst des römischen Straßenbaus verdeutlicht beispielsweise die Berücksichtigung von Entwässerung durch Quergräben, die durch Gewölbebautechnik optimierten Brücken und die Verwendung eines eigenen Betons für die oberste Fahrbahnschicht, den Opus Caementitium (Chevallier 1972, Füsser 1997, Grimm 2014). Mit dem Untergang des Römischen Reichs verfiel der Großteil des überregionalen Straßennetzes aufgrund fehlender Wartung und mangelndem straßenbaulichem Wissen. Im Mittelalter verlor es zusätzlich an Bedeutung, da Europa in zahlreiche Ländereien aufgeteilt war. Die Handelswege bestanden zu diesem Zeitpunkt vorrangig aus unbefestigten naturbelassenen Erdwegen, die abschnittsweise mit quer- und längsgelegten Hölzern ausgebessert wurden (Kappel 2016). Eine systematische Optimierung der Straßen mit Holz, Sand und Steinpflasterungen begann erst im 13. Jahrhundert (Szabó 2007).

Bis hin zum Spätmittelalter waren die meisten innerstädtischen Straßen gepflastert. Besserungen und Wartungen beschränkten sich auf urbane Zentren und das unmittelbare städtische Umfeld (vgl. ebd). Der qualitativ schlechte Zustand der Verkehrswege sowie die begrenzte Kapazität und Reichweite der Verkehrsmittel Fuß und Fuhrwerk hemmten das Städtewachstum zu diesem Zeitpunkt (Füsser 1997).

Mit dem Beginn der Postbeförderung im 16. und 17. Jahrhundert wuchs erneut die Wichtigkeit von überregionalen Straßenverbindungen (vgl. ebd). Auch die stabilen politischen Bedingungen im 18. Jahrhundert waren förderlich für den Straßenbau. Begünstigt durch die Gründung der französischen „École Nationale des Ponts et Chaussées“ im Jahr 1760 erarbeiteten Ingenieure aktuellere und bessere Methoden, um die Wirtschaftlichkeit und Stabilität der Straßen zu steigern. Seitdem wurde der Straßenbau in Europa wieder systematisch weiterentwickelt (Kappel 2016).

Die Entwicklung pausierte Mitte des 19. Jahrhunderts aufgrund des starken Ausbaus des Schienennetzes. Passenderweise wurde die damalige „Straße der Zukunft“ auf der Pariser Weltausstellung im Jahr 1900 als rollender Fußweg erbaut, der die Besucher auf einer 3,5 km langen Strecke durch die Stadt beförderte.

Ab den 1920er Jahren veränderte sich der Straßenbau durch das Automobil zu Ungunsten des Schienenverkehrs. Mit dem steigenden motorisierten Fahrzeugbestand kristallisierten sich die Nachteile der Schotterstraßen heraus. Die oberste Schotterschicht wurde durch den von den Autos erzeugten Unterdruck aufgewirbelt und folglich erodierte das Fahrdeckenmaterial wodurch es zu einer starken Staubeentwicklung kam. Die Vermischung der Schotterschicht mit dem Bindemittel Teer entstaubte die Straßen und es etablierte sich ein neuer Straßendeckentyp - der Vorläufer der gegenwärtig überwiegenden Asphaltstraßen. Seit den 1970er Jahren werden diese statt mit Teer mit aus Erdöl gewonnenem Bitumen gebunden (vgl. Grimm 2014). Der Einsatz von Beton gewann im 20. Jahrhundert vor allem beim Bau von Straßen mit starker Verkehrsbelastung, wie Autobahnen, wieder eine größere Bedeutung (vgl. ebd). Auf die Ausbreitung des Automobils reagierte die Verkehrsplanung mit breiteren Straßen und schnellerer Linienführung, um ein fließendes Vorankommen zu ermöglichen. Dafür wurden ab Mitte der 50er Jahre Straßenbahnlinien und Radwege sowie Baubestand abgerissen. Aufgrund der veränderten Prioritäten der Verkehrsplanung und der höheren Geschwindigkeit des Automobils im Vergleich zu vorherhigen Transportmitteln, dehnten sich Städte räumlich weiter aus und rückten funktional näher zusammen, da größere Distanzen nun in kürzerer Zeit zurückgelegt werden konnten.

Die Spürbarkeit der durch den Verkehr entstandenen Umweltbelastungen schärfte in den 70er Jahren das Umweltbewusstsein der Menschen. Hauptgegenstand der wachsenden Kritik an der autogerechten Stadt waren die ungenügende städtebauliche Integration der Straßenräume, die mangelhafte Rücksichtnahme auf nicht-motorisierte Bevölkerungsgruppen und soziale Aspekte im Straßenraum (Füsser 1997). Der in England veröffentlichte Buchanan-Report schlussfolgerte, den Verkehr auf Hauptachsen zu konzentrieren und aus beruhigenden Stadtquartieren möglichst zurückzuhalten. Interdisziplinäre Planungsansätze und die Bereitschaft in fachübergreifenden Expertengruppen Planungskonzepte zu erarbeiten, bildeten die Grundlage, um neue Interessen umzusetzen. Die Besinnung von der vorwiegend monofunktional-technischen Planung der Straßenräume auf interdisziplinäre Planung veranschaulicht der stattgefundenen Fokuswechsel hin zu integrierten multifunktional-städtebaulichen Regelwerken (Haller & Stieger 2019).

Diese Regelwerke sollen der Funktionsvielfalt der Straße gerecht werden. Denn im Gegensatz zu Autobahnen oder Landstraßen sind Straßen in urbanen Räumen als Bestandteile jeder Stadt, in der Menschen arbeiten, leben, sich fortbewegen, Handel betreiben und interagieren alles andere als monofunktional (Ross 2018): Neben dem Transport von Menschen und Gütern dienen sie als Orte vielfältigen Nutzungs- und Funktionsmustern. Dennoch ist die Realität vieler Städte heute weiterhin dominiert von den Auswirkungen autogerechter Stadt- und Verkehrsplanung der Vergangenheit. Schließlich sind die Lebens- und Entwicklungszyklen der Straßeninfrastruktur äußerst lang. Vor dem Hintergrund von sich abzeichnenden Trends, die Anforderungen hinsichtlich erhöhter innerstädtischer Aufenthaltsqualität, Teilhabe, Digitalisierung, dem Einsatz neuer technischer Lösungen, Ressourceneffizienz und Klimawandelanpassungen stellen, steht ein neuer Entwicklungszyklus in Straßenbau und Verkehrsplanung an, der unsere heutigen Verkehrswege zukunftsfähig machen soll, indem den Funktionen neben der verkehrlichen Nutzung der Straße eine wichtigere Bedeutung zukommt.

## 2.2 Verkehrstechnische Funktion der Straße

Die wohl offensichtlichste Funktion des öffentlichen Straßenraums ist die Nutzung als Verkehrsweg. Die gute Erreichbarkeit verschiedener Ziele mittels eines flächendeckenden Wegenetzes (**Verbindungsfunktion**) mit möglichst geringem Zeitaufwand gehört dabei zu den Hauptanforderungen an eine Straße. Da diese Anforderung für alle Fortbewegungsformen gleichermaßen gilt, entstehen naturgemäß Konflikte zwischen

den Straßennutzungen – sowohl hinsichtlich der Priorisierung im Straßenverkehr als auch der Flächenverteilung. Die autogerechte Stadt ist in dieser Hinsicht für den Autoverkehr optimiert und ermöglicht eine kontinuierliche schnelle Fortbewegung für den MIV. Mancherorts birgt das rasche Durchschleusen von Fahrzeugen Vorteile, weil dadurch die lokale Lärm- und Abgasbelastung für das direkte Straßenumfeld reduziert werden. Werden jedoch Ziele hinsichtlich eines nachhaltigeren Modal Split angestrebt, d.h. weniger Pkw-Verkehr, müssen die anderen Fortbewegungsformen attraktiver werden. Vorrangschaltung bei Ampeln, ebenerdige Fußgängerquerungen, ausreichende Fahrbahnbreiten beispielsweise für den zweispurigen Radverkehr, Sicherheitsvorkehrungen wie freie Sichtbeziehungen, Vorfahrt für den ÖV auf öffentlichen Straßen etc. können beispielhaft als Anreize genannt werden, die auf Bestandsstraßen meist nur auf Kosten des Autofahrens umgesetzt werden können. Auch Planungsmodelle wie „Livable Streets“, „Shared Space“ oder „Complete Streets“, welche gleichwertigen Zugang für alle Nutzer des Straßenraums fordern und versuchen gleiche Rechte herzustellen (Randelhoff 2017), stellen den lange Zeit bevorteilten Pkw-Nutzer schlechter als bisher.

Nicht zu vernachlässigen ist bei der Diskussion der verkehrstechnischen Funktion der Straße der ruhende Verkehr. Seine Bedeutung liegt in der Erreichbarkeit von Zielen im Sinne der **Erschließungsfunktion**. Gleichzeitig bilden Parkflächen eine wichtige Ressource zur Neugestaltung des Straßenraums, denn in vielen Städten werden Fahrradwege, neue Aufenthaltsbereiche oder Lieferzonen nur aufgrund der Flächenreduktion der Kfz-Stellplätze möglich. Dies birgt großes Konfliktpotenzial, wie die öffentliche Diskussion um die temporär in Stuttgart installierten Parklets im Rahmen des Reallabors für nachhaltige Mobilitätskultur zeigte (RNM 2018). Doch eine modernisierte Flächenverteilung verspricht Vorteile wie eine positivere Gesamtwahrnehmung des Straßenraums (Umweltbundesamt 2017), eine menschenorientierte Flächennutzung (Braun et al. 2019, Acatech 2018), die bessere Berücksichtigung von Barrierefreiheit, eine Verbesserung von Nachbarschaftsverhältnissen (Sauter & Hüttenmoser 2006) und einen nachhaltigeren Modal Split. Schließlich sind Menschen motiviert zu Fuß zu gehen, wenn sie ein attraktives Umfeld mit kurzen und direkten Wegen, breiten Gehflächen und guten Querungsmöglichkeiten vorfinden (Verkehrsclub Österreich 2015). Ergänzend wird seit geraumer Zeit die 3D-Mobilität diskutiert, d.h. die Verlagerung des Verkehrs in die vertikale Dimension, um der knappen Ressource Raum in urbanen Regionen gerecht zu werden. Vernetzte, automatisierte und elektrische Fluggeräte stehen dabei zentral in der Forschung und Entwicklung. Die Anwendungsfelder sind vielfältig und reichen von persönlichen Flugautos über On-Demand-Flugtaxis und Krankentransporte bis hin zu Pannenservice, Müllentsorgung, landwirtschaftlicher Überwachung und Instandhaltung großflächiger Anlagen wie Solarparks aus der Luft (Werner et al. 2019). Im weiteren Sinne umfasst diese Funktion der Straße auch den Austausch von Daten und Informationen, Messungen von Luftwerten oder die Bereitstellung von Verkehrsinformationen und die Kommunikation von Infrastruktur Verkehrsträgern. Daher ist die Straße der Zukunft auch von absehbaren Trends in diesen benachbarten Feldern tangiert.

Eine Balance zwischen den Mobilitätsbedürfnissen der Individuen und den gesamtgesellschaftlichen Zielen zu finden, stellt die zuvor genannten Anforderungen an den Straßenraum hinsichtlich einer hohen Fahrgeschwindigkeit, der Direktheit der Wege und der Erreichbarkeit von Zielen in ein neues Licht. Dies fordert kommunale Strategien hinsichtlich der Flächenverteilung und Priorisierung – nicht nur mit Bezug zu unterschiedlichen Fortbewegungsarten im Straßenverkehr, sondern auch zu den anderen Funktionen der Straße und ihren Bedarfen – bei gleichzeitiger Berücksichtigung der individuellen lokalen Gegebenheiten.

## 2.3 Wirtschaftliche Funktion der Straße

Wie in der Einleitung skizziert besitzen Straßen seit jeher ebenfalls wirtschaftliche Funktionen. Dabei handelt es sich vorrangig um die Erreichbarkeit von Zielen. Die wirtschaftliche Funktion der Straße kann in vier Bereiche unterteilt werden: Erstens sind Straßen Transitraum, d.h. Güter und Waren werden auf ihnen von A nach B transportiert. Dabei ist ein fließender Verkehr zentral für die Wirtschaft. Regelmäßig errechnet INRIX die wirtschaftlichen Einbußen durch im Stau feststehende Waren und bieten beeindruckende Zahlen (INRIX 2016).

Zweitens dienen Straßen und Zuwege der Anlieferung bzw. Abholung von Gütern. Be- und Entladeflächen v.a. für größere Fahrzeuge und regelmäßige Lieferungen müssen je nach Standort zur Verfügung gestellt werden und Kommunen definieren Regeln für die Belieferung, um Lärmbelästigung und Barrieren für andere Nutzungen durch Lkw und Transporter zu vermeiden. Während derartige Flächen an Wirtschaftsstandorten meist Berücksichtigung finden, werden neue Logistikkonzepte für Paket- und Warenzustellungen zunehmend auch für Wohngebiete benötigt – ausschlaggebend ist der wachsende Online-Handel. Mit Blick auf die Ressourcenschonung, der eine Dematerialisierung, also die merkliche Reduktion von Stoffströmen, zugrunde liegt (FutureManagementGroup AG 2016), sollen urbane Güterströme zukünftig

restrukturiert werden. Die Entlastung der Städte soll mithilfe von Logistik-Hubs in Außenbereichen, gebündelten Auslieferungen und einem Anbieter als Zusteller auf der letzten Meile (Acatech 2018), autonomen Lieferfahrzeugen, hauseigene Packstationen in Wohngebäuden, Kofferraumlieferung und Drohnenanlieferung erreicht werden (Heß & Polst 2017).

Drittens nutzen die Menschen Straßen, um einerseits ihren Arbeitsplatz zu erreichen und dadurch wirtschaftlich aktiv zu werden, und andererseits, um Geschäfte und Dienstleistungsanbieter zu erreichen. Viertens werden Straßenflächen unmittelbar als Wirtschaftsraum genutzt, beispielsweise gastronomische Außenbereiche von Restaurants. Insbesondere die beiden zuletzt genannten Aspekte bauen eine Brücke zur soziokulturellen Funktion der Straße. Anschauliche Beispiele bieten zum einen die Terrasse eines Cafés als sozialer Aufenthaltsraum in welchem Menschen sitzen und das Treiben auf der Straße beobachten und zum anderen die sozialen Interaktionen auf einem Wochenmarkt. Soziokulturelle und wirtschaftliche Funktionen des Straßenraums sind damit eng verzweigt und dienen einander. So stimulierte die Flächenkonversation einer Autostraße in San Francisco zu Fußgänger- und Fahrradnutzung die Verkäufe des ansässigen Einzelhandels um 60% (National Complete Streets Coalition, o.J.).

#### **2.4 Soziokulturelle Funktion der Straße**

Kaum ein Raum ist so handlungsreich und heterogen wie die Straße. Als öffentlicher Raum ist sie für jeden zugänglich und wird somit auf vielfältige Weise beeinflusst und mitgestaltet. Sie ist kultureller Aktionsraum in dem komplexe, teilweise konfliktreiche Raumaushandlungs- und Aneignungsprozesse stattfinden. Die Straße kann zudem als Bildungs- und Lernraum verstanden werden, da vielerlei Tätigkeiten der Menschen auf der Straße vollzogen und beobachtet werden können. Als die minimale Form des sozialen Austauschs auf der Straße kann wohl der Sichtkontakt mit einem Fremden im Vorbeigehen genannt werden. Sich aus dem Weg zu gehen, um einen Zusammenstoß zu vermeiden, ist ein Beispiel für einen alltäglichen Aushandlungsprozess. Auch die Kommunikation mithilfe von Gesten im Straßenverkehr ist eine Art der sozialen Interaktion. So wird bspw. mittels Handbewegung signalisiert, wenn Vorfahrt gewährt wird. Auch durch Lichtzeichen oder die Betätigung von Hupe und Fahrradklingel kann die Aufmerksamkeit anderer Verkehrsteilnehmer erzeugt werden. Je schneller die Fortbewegung der Menschen auf der Straße, desto weniger soziale Interaktion kann erwartet werden und desto anonym wird die wenige Interaktion. Demnach geschieht die bedeutsamste Form des sozialen Austauschs auf dem Bürgersteig sowie verbindenden Elementen wie Plätzen. Jacobs (1963) bezeichnet Bürgersteige und Straßen sogar als wichtigste öffentliche Orte eines urbanen Raums.

Insgesamt sind die soziokulturellen Funktionen des Straßenraums bestimmt durch die Begegnungs- und Aufenthaltsqualität, das Maß an Identität, die Orientierung und das Sicherheitsgefühl. Durch diese Variablen wird deutlich, dass öffentlicher Raum „nicht die Restfläche zwischen den Gebäuden [ist], sondern [...] als Gestaltungsaufgabe verstanden werden“ muss (Lee 2012). Für die Gestaltung der Straße als öffentlicher Raum ist es wichtig, ihre Qualitäten und Potentiale sowie die prägende Kraft dahinter einzuschätzen und zu nutzen (Geschke 2009). Die soziokulturelle Funktion spielt eine zentrale Rolle darin, wie eine Straße erlebt wird: als vielfältig, bunt, langweilig, laut, sicher, einladend oder abweisend.

Doch lebhaftige Straßenzüge lassen sich nicht nur top-down planen und umsetzen. Stattdessen entstehen sie durch eine enge Symbiose aus gebauten Anreizen für vielfältige Nutzungsmöglichkeiten und Freiräumen für die bottom-up Mitgestaltung der Flächen. Eine unbewusste Form der Mitgestaltung manifestiert sich im Raum bspw. durch Trampelpfade abseits der vorgesehenen Fußwege auf Grünflächen während „Verschönerungsaktionen“ durch Graffiti oder andere Do-It-Yourself Kunstwerke bewusst im öffentlichen Raum durchgeführt werden. Doch die demokratischen Qualitäten des öffentlichen Raumes gehen über die Grenzen der Straße hinaus: Seit jeher dient der Straßenraum als Demonstrations- oder Protestfläche, aktuell beispielsweise für Versammlungen wie „Critical Mass“ und „Fridays for Future“. Die Kritik an bestehenden Machtverhältnissen erstreckt sich dabei über nahezu alle Lebensbereiche und betrifft selbstverständlich auch die Straße als öffentlichen Raum selbst.

Mobilität, das heißt die grundsätzliche Fähigkeit mobil zu sein, ist seit jeher auch ein Ausdruck von Status. Die Verkehrsmittelnutzung, das heißt die gewählten Mobilitätsdienstleistungen, Fahrzeugtypen und -marken, dienen der Statusmanifestierung. In Zukunft wird erwartet, dass die Nachfrage nach Dienstleistungen und Produktion immer individueller und von einem zunehmenden Umweltbewusstsein geprägt sein wird (Ahrens et al. 2011). Dies zeigt sich auch in der soziokulturellen Funktion der Straße, die den steigenden Ansprüchen der Nutzer gerecht werden muss: Sie fordern mehr Mobilität, mehr Flexibilität und vielfältige Mobilitätsformen (ADAC 2017). Gleichzeitig sollen sich aufgrund eines größeren ökologischen Verantwortungsbewusstseins Konsumwünsche und Verhaltensweisen dem Nachhaltigkeitsprinzip anpassen, wodurch vermehrt alternative Mobilitätsangebote nachgefragt werden (Rammler 2014). Neben einer starken

Sharing Economy werden der erweiterten Angebotsauswahl des ÖPNV, dem vermehrten Einsatz von aus regenerativen Energien betriebenen e-Autos und der Mikromobilität (Heß & Polst 2017) zukünftig große Bedeutung zugeschrieben. Mobilitätsvermeidung ist ein Ansatz, jedoch gilt die Entwicklung und der Einsatz sauberer Technik auf Unternehmensseite als vielversprechender (Hertelendy et al. 2016), wie beispielsweise die nächste Generation von Biofuels (Phelps et al. 2015).

Neben der Gesundheit des Planeten steht auch die menschliche auf dem Spiel: So priorisieren vor dem Hintergrund aktueller Volkskrankheiten wie Übergewicht, Bluthochdruck und Herz-Kreislauf-Erkrankungen die durch Bewegungsmangel entstehen, Planungsansätze wie "Healthy Streets" in London bereits heute gesundheitsfördernde Bewegungsformen wie Gehen, Fahrradfahren und ÖPNV-Nutzung (Saunders 2017). Darüber hinaus weisen mehrere Studien auf einen statistischen Zusammenhang zwischen Depression und Selbstmordraten sowie Luftverschmutzung hin (Braithwaite et al. 2019).

## 2.5 Ökologische Funktion der Straße

Ökologische Aspekte haben einen direkten Einfluss auf die Lebensqualität der unmittelbaren Anwohner, die Aufenthaltsqualitäten für temporäre Straßennutzer, auf das Stadtklima sowie den lokalen Wasserhaushalt und die Biodiversität vor Ort. Die Qualitäten des Straßenraums werden beispielsweise durch Verkehrsemissionen in Form von Lärm, Abgasen und Feinstaub herabgesetzt. Auch die auf die monofunktionale verkehrliche Nutzung ausgelegte Versiegelung und dabei die Verwendung bestimmter Materialien schaden der Aufenthaltsqualität von Straßenräumen: Das Hitzeinsel-Phänomen und die Folgen für den lokalen Wasserhaushalt bzw. die Grundwasserneubildung durch geringe Verdunstungsraten, den oberflächlichen Abfluss von Regenwasser und die in diesem Zuge verursachten Schäden bei Starkregenereignissen werden im Zuge der Klimawandelmitigation immer häufiger diskutiert. Die aktive Nutzung des Straßenraums als Puffer für unterschiedlichste ökologische Vorgänge gewinnt in diesem Zusammenhang zunehmend an Relevanz: Einen wesentlichen Beitrag zu einem angenehmeren Stadtklima leistet beispielsweise das Konzept der „Green Streets“, das die Begrünung des Straßenraums vorsieht. Das strategische und schematische Pflanzen von Bäumen, krautartigen Pflanzen, Gras und die Begrünung von Fassaden bedingen die Akkumulation von atmosphärischen Partikeln. Es wird zum einen die Schadstoffausbreitung minimiert, zum anderen werden Versickerung und Verdunstung von Niederschlägen begünstigt. Ebenso werden „Green Streets“ oft mit der äußerlichen Aufwertung des Raums in Verbindung gebracht und folglich mit der Verbesserung der Aufenthaltsqualität (Shaneyfelt et al. 2017). Des Weiteren wird durch schattenspendende Elemente, wie beispielsweise Bäume, der Hitzeinseleffekt in Städten reduziert (Napoli et al. 2016). Ebenso positiv im Sinne von abkühlend wirkt sich die Transpiration der Blätter auf das urbane Mikroklima aus (Kotzen 2018). Nicht zuletzt soll durch die Auswahl geeigneter Pflanzen die Artenvielfalt von Flora und Fauna in unseren Städten gefördert werden. Darüber hinaus transportiert die Straße Energie, Wasser- und Abwasser, für die unterhalb der für den Verkehr genutzten Straßenoberfläche Leitungen verlegt sind und die bei Bau und Instandhaltung Berücksichtigung finden müssen.

## 2.6 Zukünftige Funktion: Die Energieproduzierende Straße

Ein aktueller internationaler Forschungszweig lässt zukünftig eine völlig neue Funktion für den Straßenraum vermuten: Die Energiegewinnung aus der Straße.

Die **Gewinnung thermaler Energie durch die Sonnenwärme** hat einerseits die lokale Erzeugung erneuerbarer Energie zum Vorteil und andererseits die Verstärkung der plastischen Resistenz des Asphalt (Kisgyörgy & Plesz 2014). Denn im Sommer erreichen die Oberflächentemperaturen von Asphaltbelägen bis zu 65 Grad Celsius, was zur plastischen Deformation, beispielsweise in Form von Spurrillen, führen kann. Bei der Umsetzung solarer Energie in thermale Energie werden thermale Kollektoren in die Straßenoberfläche eingebettet. Forschungen von De Bondt und Jansen (2006) stellen beispielsweise ein solares Kollektorsystem für den Asphalt vor, welches die Vorteile der wärmeabsorbierenden Eigenschaften nutzt und die Fahrbahndecke und andere Infrastrukturen kühlen und erhitzen kann. Die Wärme kann darüber hinaus beispielsweise zur Beheizung von umliegenden Schwimmbädern genutzt werden.

Bei der **Umsetzung von kinetischer in elektrische Energie** gilt es, die durch die Bewegung von Menschen oder Fahrzeugen freigesetzte kinetische Energie im Untergrund in elektrische Energie zu konvertieren. Piezoelektrische Platten der Firma Pavegen werden bspw. genutzt, um die kinetische Energie von Fußritten der Menschen festzuhalten und in elektrische Energie umzusetzen, indem eine geringe Verlagerung in der vertikalen Achse (bis zu 5mm) registriert wird. Die Platten können in hoch frequentierten urbanen Gebieten, wie Fußgängerzonen, angebracht werden, um bspw. die Energie für die Straßenbeleuchtung vor Ort zu erzeugen. Prototypen werden aktuell an verschiedenen Standorten und unter unterschiedlichen Wetterbedingungen getestet (Duarte et al. 2013).

Um **elektrische Energie aus solarer Energie** zu gewinnen wird Photovoltaik bereits heute auf einem Radweg in Erfstadt als Fahrbahnbelag eingesetzt. Das beteiligte Start-up Unternehmen Solmove plant auf versiegelten Flächen wie Straßen horizontale Photovoltaik Module anzubringen, die aus großen Glasfliesenteppichen mit integrierten Solarzellen bestehen und miteinander vernetzt sind. Ein Vorteil besteht darin, dass die Straßen bei der Anbringung nicht aufgerissen werden müssen. Ziel ist es, nach den erfolgreichen Tests auf Geh- und Radwegen, die Module auch auf von Pkw befahrene Straßen zu übertragen. Weiterführend soll auch die e-Mobilität gefördert werden, wenn die Glasfliesen als Fahrbahnuntergrund dienen. Denn der erzeugte Strom könnte induktiv an die Fahrzeuge während der Fahrt übertragen werden. Weitere Vorteile sind die Nutzung der Energie für die Beheizung der Straße im Winter oder auch für ihre Beleuchtung (Schmidt 2017).

## 2.7 Technologieinnovationen für drei zentrale Herausforderungen

### 2.7.1 Digitalisierung der Straße

Sämtliche Studien zur Zukunft der Mobilität sind sich einig: Die Digitalisierung unserer Lebensumwelt ist eine unumgängliche Entwicklung mit zentraler Bedeutung auch für den zukünftigen Straßenbau. Grundsätzlich wird eine digitale Straße als eine mit Sensoren ausgestattete Straße bezeichnet, die Daten sammelt, diese drahtlos mit einem Kommunikationsnetzwerk teilt, sodass sie anschließend in aussagekräftige Informationen umgewandelt werden, um idealerweise ad-hoc und automatisiert angepasste Maßnahmen zu treffen. Derartige Sensoren können zudem in den Fahrbahnbelag integriert werden und müssen nicht manuell angebracht werden. Zu den erfassten Daten zählen unter anderem lokale Verkehrscharakteristika, wie Fahrzeugtypen, Intensität oder Dichte, aber auch meteorologische Merkmale, wie Temperatur, Nebel, Geräusche oder Niederschlagswerte. Weiterhin können einzelne Verkehrsteilnehmer gezählt, Emissionen erfasst, Hindernisse bestimmt, die Parkraumverfügbarkeit geprüft, der Straßenzustand gemessen und die Instandsetzung durch Predictive Maintenance kosteneffizient verwirklicht werden (Bundesanstalt für Straßenwesen 2016). Straßenlaternen stellen bis dato ein geeignetes Trainingselement für die Ausstattung des Straßenraums mit Sensoren dar (Jehle 2017). Neben der bedarfsgerechten Straßenbeleuchtung gibt es Lösungen zum Laden von Elektrofahrzeugen an Straßenlaternen, der Nutzung als WLAN-Hotspot oder der Anbringung von Umwelt- und weiteren Sensoren. In Karlsruhe wurde in diesem Zusammenhang gemeinsam mit EnBW eine Straßenlaterne technisch so aufgerüstet, dass Stauwarnungen automatisch generiert werden können. Dafür ist die Messung des Verkehrsaufkommens, ein Stromanschluss und eine Anbindung an die städtische Datenplattform notwendig.

Von digitalen, vernetzten Systemen und der Nutzung der Daten in Echtzeit profitiert im Straßenraum hauptsächlich der Mobilitätssektor. Die Staureduktion durch Routenplanung in Echtzeit (Van Audenhove et al. 2018) sowie telematische Verkehrsflussoptimierung (Rammler 2014) sind beispielhaft zu nennen. Ebenso sind individuellere und flexiblere Angebote, digital dynamische Verkehrsbeschilderung oder On-Demand Haltestellen, die für die Vernetzung von Mobilitätsangeboten und damit Seamless Mobility eine Rolle spielen, nur durch die digitale Vernetzung möglich (Acatech 2018, Blanck et al. 2017, Rammler 2014).

Auch für die Verwirklichung des autonomen Fahrens ist die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur ausschlaggebend (FutureManagementGroup 2016, Hertelendy et al. 2016, Příbyl & Příbyl 2015). Hierzu dient bspw. die A9 in Bayern als Testfeld, deren Brücken und Masten mit Radarsensoren ausgestattet sind. Spezielle Landmarkenschilder auf der Teststrecke dienen der selbstständigen exakten Standortbestimmung des vernetzten, automatisierten Fahrzeuges (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2016). Durch vernetztes autonomes Fahren vor Allem im nicht-MIV-Verkehr und die digitale Integration aller Mobilitätsangebote, entstehen Mobilitätsketten (Heß & Polst 2017), d.h. die Multimodalität wird gefördert, innerhalb derer situativ, ad hoc und gepoolt Mobilität abgerufen werden kann. Verkehrsmittel konkurrieren nicht länger untereinander, sondern vereinigen sich zu integrierten Mobilitätskonzepten (ADAC 2017). Die Digitalisierung verspricht neben Prozessen im eigenen Zuhause auch jene aus der Arbeitswelt zu erleichtern, was in einem gewissen Rahmen Ortsunabhängigkeit schafft und Wege reduziert.

### 2.7.2 Ressourcenschonung im Straßenbau

Ein Ziel im Rahmen der Ressourcenschonung ist die Verbesserung der Langlebigkeit von Straßenbelägen, um Instandsetzungsmaßnahmen zu reduzieren und dadurch auch baustellenbedingte Staus zu verringern. Insbesondere Schäden durch extreme Wetterereignisse und veränderte Klimabedingungen stellen die Straßeninfrastruktur und den Verkehr heute und zukünftig vor Herausforderungen. Annehmbar ist, dass die Häufigkeit hitzebedingter Schäden deutlich zunehmen wird und die Infrastrukturelemente je nach Zustand,

Alter, Verkehrsbelastung und Bauweise unterschiedlich stark in Mitleidenschaft gezogen werden (Korn et al. 2017). Während Beton wenig von Klimaveränderungen beeinflusst wird, zeigt sich bei Asphaltbefestigungen ein nicht unerhebliches Verbesserungspotenzial durch gezielte thermophysikalische Mischgutoptimierung (Wellner et al. 2017). Innovationen bezüglich der Ressourcenschonung betreffen u.a. das Kühlen und Heizen des Straßenbelags durch Erdwärme. Die Bundesanstalt für Straßenwesen erprobt im Testgebiet „duraBAST“ im Autobahnkreuz Köln-Ost eine Form der geothermischen Straßenheizung bzw. -kühlung und deren Auswirkungen auf den Straßenbelag. Erdwarmes Wasser wird aus der Tiefe hochgepumpt und in Röhren geleitet, die unter dem Asphalt verlegt sind. Die Temperatur des Belages soll damit im Winter nicht unter fünf Grad Celsius fallen und im Sommer nicht über 35 Grad Celsius ansteigen. Die Straßen sollen nicht flächendeckend, sondern erstmal innerhalb gefährdeter Bereiche, wie Steigungsabschnitte, Brücken oder Tunnelportale, temperiert werden (Seher 2019, Trialog Publishers Verlagsgesellschaft 2017).

Außerdem soll polymermodifiziertes Bitumen den hohen Anforderungen an die Langlebigkeit gerecht werden. Während traditionelle Bindemittel oft an ihre Leistungsgrenzen stoßen, optimiert der Einsatz von Polymeren Eigenschaften wie die Verformungsbeständigkeit, Lärmabsorption, Risswiderstand und geringe Sprühhahnenbildung des Fahrbahnbelags. Allerdings sind die Herstellung teurer und anspruchsvoller als herkömmliche Verfahren (Styrelf 2010).

Ein weiterer Schwerpunkt der Ressourcenschonung liegt auf der Wiederverwertung der verwendeten Materialien im Straßenbau. Aufgrund der begrenzten Anzahl an Recyclingzyklen des Asphalts, beschäftigen sich aktuelle Forschungen damit bisherige Recyclingquote von 83% weiter zu steigern (Bundesanstalt für Straßenwesen 2016). Extrahiertes Bitumen wird dabei mit Rejuvenatoren (Verjüngungsmitteln) versetzt und die Eigenschaften des alten Bindemittels werden verbessert. Eine Art von Rejuvenatoren sind Öl-Wachsgemische, die eine Steigerung der Recyclingquote auf 99% bei schichtweise gefrästen Belägen ermöglichen soll. Begleitend zu Asphaltuntersuchungen wird eine Prüfungsmethode aus den Resultaten aus allen chemischen und physikalischen Bindemitteluntersuchungen entwickelt, die regelmäßig die Qualität des Asphalts kontrolliert und den Alterungsgrad des Bindemittels ableiten kann (Nytus 2018).

Ein anderer Ansatz betrifft den Einsatz von Recyclingplastik im Straßenbau, wobei Plastik als Bindemittel das teure aus Erdöl gewonnene Bitumens ersetzen soll. Die niederländische Straßenbaufirma KWS mit ihrem Projekt ‘Plastic Road’ testet mit dem 30 Meter langen errichteten „Plastikradweg“ in Zolle und Giethoorn, die Beständigkeit und Effizienz. Der Wegabschnitt soll so viel Plastik enthalten wie 500.000 Plastikschaubdeckel. Kritik an der Idee einer „Plastikstraße“ äußert sich in der möglichen Einschränkung der Wiederverwertbarkeit aufgrund des Plastikanteils im Bitumen, den unterschiedlichen Qualitätsmerkmalen des Plastiks und in der Belastbarkeit der Straße durch Schwerverkehr (Mau 2019). Auch Lignin, das in Holz, Stroh oder Pflanzen enthalten und eines der am häufigsten vorkommenden natürlichen Polymere ist, wurde bereits erfolgreich als Ersatz für Bitumen eingesetzt (Pérez et al 2019; Van Vliet et al. 2016). Eine weitere Innovation stellt Bio-Asphalt dar: Speisereste werden, durch beispielsweise Hinzugabe von Flugasche, als Abfallprodukt aus Kohlekraftwerken, in eine Art Bitumen-Bindemittel für den Asphalt umgewandelt (You et al. 2011). Eine Vielzahl von Studien beschäftigt sich nun mit der Frage, wie Bio-Asphalt langlebiger und weiter optimiert werden kann (Hill et al., 2018; Zhang, et al. 2017).

### 2.7.3 Emissionsreduzierende Fahrbahnbeläge

Neben der bereits erwähnten Begrünung von Straßenzügen zur Verbesserung der lokalen Luftqualität, werden photokatalytische Oberflächen in Straßen eingebaut, um Stickoxidanteile (NO<sub>x</sub>) zu mindern. Herkömmlich wird hierfür Titandioxid mit in die Straßenoberfläche verarbeitet oder an unterschiedliche Straßenbauwerke angebracht. Die Stadt Kiel setzt seit geraumer Zeit auf mit Titandioxid vermischten Asphalt, um die EU-Grenzwerte der Luftreinhaltung einzuhalten. Bei der Photokatalyse kommt es durch Lichteinwirkung zu einer Beschleunigung des chemischen Oxidationsprozesses und somit werden Stickoxide schneller zersetzt. Während des Prozesses wird das Titandioxid nicht verbraucht und die Reaktion ist beliebig wiederholbar (Wang et al. 2014). Die Wirksamkeit konnte nicht nur im Labor, sondern auch in Verkehrsnähe belegt werden (Bundesanstalt für Straßenwesen 2016).

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt in der Weiterentwicklung des offenporigen Dränasphalt (OPA) zum Flüsterasphalt. Als Flüsterasphalt soll der herkömmlich zur Wasserabführung eingesetzte OPA anhand des Hohlraumgehalts und der Teilabsorption und Verschiebung der Frequenzen, eine Lärminderung um 4 Dezibel erzielen (Gary 2004).

## 3 ZWEI SZENARIEN IM JAHR 2030

Während das Kapitel 2 das Untersuchungsfeld Straße thematisiert hat, werden in diesem Kapitel zwei Zukunftsszenarien für die Straße im Jahr 2030 vorgestellt. Sie entstammen dem BMBF-geförderten Projekt

„Straße der Zukunft“ und wurden mittels Szenariotechnik entwickelt. Die Wissenschafts- und Praxispartner des Projekts beschlossen, zwei Extremszenarien auf Basis der beiden dringlichsten Herausforderungen für den Straßenbau zu erstellen: Die Anforderungen hinsichtlich Digitalisierung und Nachhaltigkeit in Planung und Umsetzung weitestgehend zu berücksichtigen. Im weiteren Projektverlauf gilt es, die beiden Extreme in einem Synthese-Szenario zusammenzuführen und die teilweise konträren Anforderungen zu integrieren. Die Extremszenarien „Highway of data“ und „Grüne Lunge“ werden mit Berücksichtigung von Funktionserfüllung, Auswirkungen auf die verfügbare Fläche und möglicher Konflikte verschiedener Nutzergruppen sowie der Befriedigung der Nutzeransprüche nachfolgend präsentiert.

### 3.1 Szenario 1: „Highway of Data“

Die Mobilitätssysteme im Szenario „Highway of Data“ sind digitalisiert, vernetzt, und elektrisch. Ein Betrachtungsschwerpunkt liegt auf dem technologischen Fortschritt in den Bereichen Digitalisierung, Automatisierung, Vernetzung, cyberphysische Systeme, Open Data und Datenverfügbarkeit. Abbildung 1 visualisiert beispielhaft eine Stadtszene aus dem Szenario. Es ist ersichtlich, dass der Erfüllung der verkehrlichen Funktion des Straßenraums größte Priorität zukommt. Die gute Erreichbarkeit von Zielen für alle Menschen ist gegeben und kann mit wenig Zeitaufwand erfüllt werden. Die Flächenverteilung fällt zugunsten des Verkehrs aus. Automatisierte Fahrzeuge, Mikromobile, 3D-Mobilität und der Fußverkehr finden dabei Berücksichtigung. Der Straßenraum ist vorrangig effizienter Transitraum auf technologisch neuestem Stand mit viel Komfort für die mobilen Menschen. Vorteile für die Stadtgesellschaft ergeben sich durch die Reduktion von Lärm-, Abgas- und Feinstaubemissionen aufgrund von technologischen Maßnahmen auf Fahrzeugseite. Auch die Zeiteffizienz mit der die Fortbewegung inkl. Reiseplanung und Zugang zu den Angeboten verwirklicht wird, bietet einen Mehrwert für die Menschen. Nutzerbedürfnisse wie beispielsweise Individualität, Schnelligkeit und Flexibilität sind durch die vernetzten Angebote und die situative Auswahl gestillt.



Abbildung 1: Szenario im Jahr 2030: Die Straßenraum ist vernetzt, digitalisiert und der Verkehr nachlos und intermodal.

Die Transportmittel sind aufgrund des rasanten technologischen Fortschritts zu Mehrheit vollautomatisiert und fahrerlos. Gleichzeitig wird durch die Integration unterschiedlicher Mobilitätssysteme, ein gut ausgebautes Netz (5G) und die Nutzung digitaler Echtzeitdaten das Mobilitätssystem hochaktuell abgebildet und es werden vielfältige bedarfsgerechte Mobilitäts Optionen angeboten. Zentral für diese Zukunftsvision sind daher dezentrale Hubs, über welche Angebote gebündelt abgerufen werden können. Durch einheitliche Datenstandards, die hohe Datenverfügbarkeit, die Nutzung dynamischer Informationen und die intelligente Vernetzung unterschiedlicher Datenquellen verzeichnen die Menschen einen Zugewinn an Komfort, wenn

beispielsweise bei der individuellen Reiseplanung das Wetter, die Einkaufsliste oder den Trainingsplan berücksichtigt werden. Durch derartige Vorteile sind die Nutzer neuen Technologien gegenüber grundsätzlich positiv eingestellt, was sich auch in ihrem Mobilitätsverhalten äußert. Die Nachhaltigkeitsverantwortung wird großenteils in die Hände der Anbieter gelegt; es wird auf technologische Lösungen gesetzt. Durch die vermehrte Nutzung alternativer, v.a. geteilter Mobilitätsangebote, reduziert sich anteilig der Pkw-Besitz. Der private Fahrzeugbestand auf den Straßen verringert sich. Sowohl durch die geteilte Mobilität als auch das autonome Fahren werden Park- und Stellplatzflächen in geringerem Umfang benötigt als bisher. Im Szenario werden Parkierungsflächen durch Mobilitätshubs sowie Drop-Off- bzw. Pick-Up-Stationen ersetzt. Zugleich perfektioniert die Vernetzung der Fahrzeuge den Verkehrsfluss. Attraktive Verkehrsmodelle und ein verbessertes Informationsangebot durch die Nutzung dynamischer Informationen stärken die Multimodalität. Alle Verkehrselemente vernetzt, sodass die Nutzer ein optimales Erleben der Mobilität über den gesamten Weg von Tür zu Tür haben.

Mit den genannten Entwicklungen geht die Verlagerung von Dienstleistungen und Aktivitäten auf die Straße einher. Die Nutzung des automatisierten Fahrzeugs als Third Place verändert die räumliche Struktur von menschlicher Aktivität und Interaktion.

Eine Flächenreduktion beim fahrenden Verkehr wird erzielt, indem die dritte Dimension des Stadtraums im Jahr 2030 bereits teilweise erschlossen ist. Die Mobilität von Personen und Gütern findet immer mehr Anwendungsfälle im urbanen Luftraum. Während Drohnen bereits zum Transport von Gütern und der Auslieferung von Paketen durch Roboter auch in Deutschland schon seit einigen Jahren genutzt werden, fliegen in vereinzelt Metropolen weltweit bereits autonome Taxis durch die Lüfte. Durch die breite Akzeptanz von Mobility as a Service (MaaS) erhalten auch Flugtaxis einen Aufschwung. Diese on-demand Drohnen bieten Kapazitäten für ein bis zwei Personen mit Handgepäck und operieren zwischen Landepunkten in einem Radius von 15 bis 50 km. Zusätzlich haben sich in manchen Städten bereits Drohnen als Shuttles zwischen Knotenpunkten wie Flughäfen für maximal vier Personen und einer Streckenabdeckung bis zu 50 km etabliert. Drohnen verkehren zwischen Städten in bis zu 250 km Entfernung, die nicht vom regulären Flugbetrieb abgedeckt werden mit einer maximalen Kapazität von ebenfalls vier Personen inklusive Gepäck. Durch die 3D-Mobilität und die gute Erschließung des urbanen Raums wird vor Allem die ökonomische Funktion im Szenario „Highway of Data“ erfüllt.

Die soziokulturelle sowie die ökologische Funktion der Straße ist in diesem Szenario unterrepräsentiert. Zwar werden durch technische Innovationen Emissionen durch den Verkehr gemindert, doch die vorrangige Flächenzuteilung zu verkehrlichen Zwecken und die aus diesem Grund gewählten infrastrukturellen Ausprägungen der Straße sind nicht förderlich für ein gutes Stadtklima. Fehlende Versickerungs- und Verdunstungsflächen hindern eine natürliche Temperaturregulierung und Extremwetterereignisse haben große Auswirkungen auf den Stadtraum. Fehlt beispielsweise Beschattung, macht es den Aufenthalt an heißen Tagen für einige Bevölkerungsgruppen unangenehm bis unmöglich. Starke Regenfälle werden in der Konstruktion der Straße zwar berücksichtigt, doch der Verkehr wird durch den oberflächlichen Abfluss zeitweise eingeschränkt. Vor diesem Hintergrund fällt die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum gering aus. Selbst wenn ehemalige Verkehrsflächen umgewidmet werden zum Beispiel in gastronomische Außenbereiche oder Flächen für kulturelle Veranstaltungen, lässt die Aufenthaltsqualität zu wünschen übrig. Dies birgt Nutzungskonflikte, denn der Bedarf nach öffentlichen Begegnungs- und Aufenthaltsflächen sowie Orten des sozialen Austauschs sind unverändert hoch. Ebenso mindert der geringe Grünflächenanteil die Ästhetik des Raums.

### 3.2 Szenario 2: “Grüne Lunge”

Das Szenario “Grüne Lunge” stellt ein umweltbewusstes Nachfrageverhalten nach ressourcenschonenden Fortbewegungsmitteln auf individueller Ebene und eine hohe Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum in den Vordergrund. Ein Fokus im Straßenbau liegt auf der Klimawandeladaption. Öffentlicher Raum bedeutet Raum für Biodiversität. Prägend für den Mobilitätssektor sind eine starke Sharing Economy und die Implementierung alternativer Mobilitätskonzepte nach dem MaaS-Prinzip, ein Schwerpunkt auf Mikromobilität sowie die Etablierung eines leistungsstarken, kostengünstigen und vielseitigen ÖPNV. Dies fördert Multimodalität und führt dazu, dass der MIV-Anteil am Modal Split im Szenario deutlich sinkt. Die vorgesehene Fläche für den Autoverkehr wird demnach zugunsten von ÖV-, Fahrrad-, Fuß- und Aufenthaltsflächen reduziert. Abbildung 2 stellt eine mögliche visuelle Variante des Szenarios dar. Auffällig ist dabei der hohe Grünanteil im Straßenraum und der Einsatz verschiedener Oberflächenmaterialien. Außenflächen werden im Szenario 2 dahingehend gestaltet, dass sie nicht nur das Stadtklima positiv bedingen, sondern auch Aufenthaltsqualitäten bieten und dadurch den sozialen Austausch im öffentlichen Raum fördern. Nutzerbedürfnisse wie Individualität, Flexibilität und eine ressourcenschonende

Fortbewegung werden im Szenario „Grüne Lunge“ durch die vernetzten, energieeffizienten und kostengünstigen Angebote des ÖV und der Mikromobilität adressiert.

Die verkehrstechnische Funktion wird erfüllt, indem v.a. Mikromobilität und Sharing-Angebote Berücksichtigung finden. Durch den geringen Platzbedarf für diese Angebote und den reduzierten MIV-Anteil im Straßenraum verringert sich die Verkehrsfläche im Allgemeinen. Die Mobilitätsangebote des ÖV sind ausgebaut, vollständig in das Netz integriert und an die heterogenen Bedürfnisse der Nutzer angepasst. Durch die Implementierung alternativer Mobilitätskonzepte und die Entstehung von Mobilitätsketten, ist die Mobilität kostengünstig und energieeffizient. Der Verkehr ist zwar vernetzt, doch entschleunigt und aufgrund der Straßengestaltung mit Ausrichtung auf aktive Mobilität wird das Szenario von Nutzergruppen als „Wohlfühlraum“ wahrgenommen – ob sie unterwegs sind oder sich auf öffentlichen Plätzen aufhalten. Auch blaue Stadtelemente wie Teiche und Wasserläufe finden sich häufiger wieder. Es steigt nicht nur die Umweltqualität, sondern auch das Sicherheitsgefühl. All diese Aspekte führen dazu, dass trotz eines diversifizierten Nachfrageverhaltens und heterogenen Nutzerbedarfen die Entschleunigung und die saubere Luft als Gewinn für die Lebensqualität verstanden werden. Ein Konfliktrisiko besteht, falls die vorhandenen Mobilitätsangebote der hohen Nachfrage nicht gerecht werden und größere Distanzen mit Fortbewegungsmitteln der Mikromobilität nicht zu meistern sind. Hier ist die nahtlose Integration aller vorhandenen Angebote zentral für die Befriedigung der Nutzerbedarfe.



Abbildung 2: Szenario im Jahr 2030: Kultivierte Biodiversität und blaugrüne Straßen dienen als „grüne Lungen“ der Städte

Die wirtschaftliche Funktion ist in diesem Szenario in Teilen berücksichtigt. Auch Güter und Waren werden im Innenstadtbereich vorrangig mittels Fahrzeugen der Mikromobilität transportiert. Die Anlieferung bzw. der Abtransport mit großen Fahrzeugen geschieht auf vereinzelt Routen, an deren Endpunkten strategisch günstig gelegene Verteilhubs eingerichtet sind. Aufgrund des geringeren Flächenbedarfs für den Verkehr dienen zugewonnene Flächen der Gastronomie oder kulturellen Veranstaltungen im öffentlichen Raum. Die Gestaltung der Flächen für eine vielfältige Nutzung ist ausschlaggebend für deren Attraktivität. Grundsätzlich verbessern Verdunstungs- und Versickerungsflächen sowie schattenspendende Elemente die Luftqualität bzw. generell die messbare Umweltqualität. Diese sind nicht auf Freiflächen reduziert, sondern erstrecken sich in die vertikale Dimension, beispielsweise an Hauswänden, und über den gesamten öffentlichen Raum. So werden auch beim Straßenbau Bodenmaterialien eingesetzt, die die Durchlässigkeit von Wasser priorisieren und damit eine Pufferfunktion übernehmen. Auch die Vielfältigkeit der verwendeten Materialien nimmt zu, sodass der Raum durch deren Verwendung strukturiert und ästhetisch wirkt und zu einer Bandbreite an Nutzungen einlädt. So kann farbiger Asphalt für Radwege, piezoelektrische Platten zur

Energiegewinnung auf Fußwegen, Holzbohlen in Aufenthaltsbereichen und Kopfsteinpflaster in den Übergängen zwischen Grünflächen und Verkehrs- bzw. Aufenthaltsflächen verwendet werden.

Hinsichtlich der ökologischen Funktionen, deckt das Szenario durch die hohe Umweltqualität anhand der Begrünung und der vielen Versickerungs- und Verdunstungsflächen und der Nutzung alternativer Mobilität, die insgesamt ein positives urbanes Mikroklima verursachen, alle Kriterien ab.

Soziokulturell gesehen, existieren ausreichend soziale Begegnungsräume im öffentlichen Raum, die einladend sind und rege genutzt werden. In diesem Szenario spielt sich daher das Leben im öffentlichen Raum ab, dieser wirkt belebt und in vielerlei Hinsicht vertraut.

#### 4 AUSBLICK

Vor dem Hintergrund von Klimawandel, Digitalisierung und Partizipationsforderungen von Bürgern bei der Stadtentwicklung, verändert sich die Straße der Zukunft in ihrer Planung, Umsetzung, Nutzung und Instandhaltung, d.h. über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Die Trends für den Straßenbau bedeuten gleichermaßen Herausforderungen; so soll der Straßenraum in der Zukunft gleichermaßen ressourcenschonend, klimaneutral, digital und nutzerfreundlich zu sein. Ob dies schon bis zum Jahr 2030 gelingen kann ist nur in geringen Maße vorhersehbar. Wie den Herausforderungen im Rahmen bestehender Planungs- und Umsetzungsprozesse umfänglich zu begegnen ist, wird im Projekt „Straße der Zukunft“ thematisiert. Hierbei werden die drei Aspekte Technologieinnovationen, Ressourceneffizienz und die Erfüllung von Mobilitätsbedarfen besonders herausgestellt. Um potenzielle Entwicklungspfade für die Straße der Zukunft in diesem neuen Entwicklungszyklus aufzuzeigen, wurden zwei Extremszenarien erarbeitet, welche die zwei zentralen Herausforderungen Digitalisierung und Nachhaltigkeit im Straßenbau behandeln. Die Vergangenheit hat allerdings gezeigt, dass die monofunktionale Ausrichtung im Straßenbau nicht sinnvoll ist. Deshalb gilt es, die Erkenntnisse aus den beiden vorgestellten Extremszenarien für das Jahr 2030 zu vereinen. Ein Syntheszenario „klimagerecht-&-digital“ greift die Stärken beider vorgestellten Szenarien auf und reduziert mögliche Risiken. So wird sichergestellt, dass alle Funktionen der Straße zukünftig gleichwertig Berücksichtigung finden können bei der Flächenverteilung aber auch bei der Auswahl, welche Anforderungen jeweils in Planung und Umsetzung priorisiert werden.

Einige erste Erkenntnisse für die Zusammenführung können bereits angerissen werden: Das Szenario „Highway of Data“ zeigt bspw. den enormen Flächenverbrauch für Mobilitätshubs auf und regt zur Weiterentwicklung des Ansatzes an, die einen Fokus auf free-floating Angebote legen könnte, für die das Abstellen entlang des gesamten Platzes als home-zone ermöglicht wird. Außerdem könnten die Verwendung verschiedenster Materialien und die Fassadenbegrünung als Anreize aus dem Szenario „Grüne Lunge“ übernommen werden, um die Aufenthaltsqualität und die Ästhetik des Raumes im Digitalszenario zu verbessern. Gleichzeitig helfen Aspekte der 3D-Mobilität, die wirtschaftliche Funktion im Szenario „Grüne Lunge“ besser zu erfüllen. Beide Szenarien zeigen zudem auf, dass die Vernetzung von Angeboten ausschlaggebend für ein erfolgreiches Mobilitätserlebnis ist – für die Verwirklichung eines leistungsfähigen Verkehrssystems mit einem geringen MIV-Anteil aber insbesondere. Das bedeutet, das Szenario 2 wird ohne Digitalisierung nicht möglich sein.

Wie die konkrete Ausgestaltung der urbanen Räume in den Partnerkommunen ausfällt, ist abhängig von den standortspezifischen Gegebenheiten und Bedürfnissen, die sich in einen gesamtstädtischen Kontext einfügen. Die vorgestellten Szenarien sollen Anreize im Projekt schaffen, die Musterstraßen mit Blick auf alle Straßenfunktionen und unter Berücksichtigung der jeweils in den Extremszenarien vorgestellten Mehrwerte und Risiken zu entwickeln und umzusetzen.

#### 5 REFERENCES

- ACATECH: Neue autoMobilität II. Kooperativer Straßenverkehr und intelligente Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft.
- ADAC: Die Evolution der Mobilität. München, 2017.
- AHRENS WIELAND, G.; KABITZKE, U.; BÄKER, B.; FRICKE, H.; KÖRFGEN, R.; SCHLAG, B.; STEPHAN, A.; STOPKA, U.; WIELAND, B.: Zukunft von Mobilität und Verkehr. Auswertung wissenschaftlicher Grunddaten, Erwartungen und abgeleiteter Perspektiven des Verkehrswesens in Deutschland. Dresden, 2011.
- ANDRIKOPOULOU, N.: Straßen der Geschichte, Geschichte der Straßen. In: Archäologie in Deutschland, Heft 6, S. 8-13. 2012.
- BLANCK, R.; HACKER, F.; HEYEN, D.; ZIMMER, W.; BERGMANN, T.; GRIEBHAMMER, R.; KIRCHWEGER, T.; SCHÖNAU, M.; SCHUHMACHER, K.; DEFFNER, J.; GÖTZ, K.; SUNDERER, G.; STEIN, M.; STIELER, S.; CACILO, A.; ERNST, T.: Mobiles Baden-Württemberg – Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität. Stuttgart, 2017.
- BRAUN, S.; SCHATZINGER, S.; SCHAUFLEDER, C.; RUTKA, C.; FANDERL, N.: Autonomes Fahren im Kontext der Stadt von morgen. Stuttgart, 2019.

- BRAITHWAITE, I., ZHANG, S., KIRKBRIDE, J. B., OSBORN, D. P., & HAYES, J. F.: Air Pollution (Particulate Matter) Exposure and Associations with Depression, Anxiety, Bipolar, Psychosis and Suicide Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 127(12), 126002, 2019.
- BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN: Fünf Jahre Forschung 2011 bis 2015. Bonn, 2016.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR: Teststrecke auf der A9 erhält neue Schilder für das automatisierte Fahren. 2016. Online unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2016/199-dobrindt-neue-schilder-dta.html> (abgerufen am: 06.10.2019).
- CHEVALLIER, R.: Die Römerstrassen. In: *Antike Welt*, Vol. 3, Heft 4, S. 43-52. 1972.
- DE BONDT, A.H. & JANSEN, R.: Generation and Saving of Energy via Asphalt Pavement Surfaces. Avenhorn, 2006.
- DUARTE, F.A.; CASIMIRO, F.; CORREIA, D.; MENDES, R.; FERREIRA, A.: Waynergy people: a new pavement energy harvest system. In: *Municipal Engineer Vol. 166*, Issue 4, pp. 250-256. University of Coimbra, 2013.
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN: Arbeitsgruppe Straßenentwurf: Empfehlungen zur Straßenraumgestaltung innerhalb gebauter Gebiete. Köln, 2011.
- FÜSSER, K.: Stadt, Straße und Verkehr. Ein Einstieg in die Verkehrsplanung. Wiesbaden, 1997.
- FUTUREMANAGEMENTGROUP: Future Urban Mobility. Integration und Disruption: Städte als Zentren der Neuordnung des Mobilitätsmarktes. Eltville, 2016.
- GARY, G.: Innovative Konzepte für Straßenbeläge. In: *Österreichische Bauzeitung Vol. 38*, Heft 4, S. 37-39, Wien 2004.
- GESCHKE, M.: Straßen als kultureller Aktionsraum. Wiesbaden, 2009.
- GREWE, K.: Die Genese einer Straße: Von der Römerstraße zur Bundesstraße – oder zum Trampelpfad. In: *Antike Welt*, Vol. 34, Heft 2, S. 151-159. 2003.
- GRIMM, R.: Die Geschichte des Straßenbaus. 2014. Online unter: <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/gartenlandschaftsbau-tiefbau/strassenbau-geschichte-trampelpfad-asphaltdecke/> (abgerufen am 08.10.2019).
- HALLER, W. & STIEGER, S.: Innerstädtische Straßen. In: *Zilch, K.: Handbuch für Bauingenieure*. Wiesbaden, 2019.
- HEB, A. & POLST, S.: Mobilität und Digitalisierung. Vier Zukunftsszenarien. Gütersloh, 2017.
- HERTELENDY, T.; PRÖSSL, K.; WIERSING, S.; HUTHER, P.; SCHULTHEIS, J.: Logistik und Mobilität in Hessen 2035. Ein Zukunftsbild. Frankfurt, Dortmund, 2016.
- INRIX: Verkehr kostet deutsche Wirtschaft 33 Milliarden Euro im Jahr 2030. Online unter: <http://inrix.com/press/verkehr-kostet-deutsche-wirtschaft-33-milliarden-euro-im-jahr-2030/> (abgerufen am: 28.03.2016).
- JACOBS, J.: Tod und Leben großer amerikanischer Städte. Braunschweig, 1963.
- JEHLE, C.: Smart Streets. 2017. Online unter: <https://www.heise.de/tp/features/Smart-Streets-3907130.html> (abgerufen am: 06.10.2019).
- KAPPEL, M.: Angewandter Straßenbau. Wiesbaden, 2016.
- KISGYÖRGY, L. & PLESZ, B.: Thermal Energy of Asphalt Pavements. *Magyar Építő*. Vol. 64, Issue 1, pp. 3-7. Budapest, 2014.
- KÖPP, H.: Reisen zur Zeit der Pharaonen: Mobilität, Transport und Verkehr im Alten Ägypten. In: *Antike Welt*, Heft 3, S. 8-14. 2012.
- KORN, M.: RIVA" Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels. 2017.
- KOTZEN, B.: Economic Benefits and Costs of Green Streets. In: *University of Greenwich: Nature Based Strategies for urban and Building Sustainability*, S. 319-331. Greenwich, 2018.
- LEE, Y.: Die Stadt als Sequenzerlebnis Analyse und Entwurf stadtgestalterischer Raumsequenzen, 2012.
- MAU, K.: Können Straßen aus Plastik unser Entsorgungproblem lösen? 2019. Online unter: <https://www.zeit.de/mobilitaet/2019-09/recycling-plastik-strassenbau-wiederverwertung-umweltschutz-nachhaltigkeit> (abgerufen am 11.11.2019).
- NAPOLI, M.; MASSETTI, L.; BRANDANI, G.; PETRALLI, M.; ORLANDINI, S.: Modeling Tree Shade Effect on Urban Ground Surface Temperature. In: *Journal Environment Quality*, Vol. 45, Issue 1, pp- 146-156. 2016.
- NATIONAL COMPLETE STREETS COALITION: Complete Streets Stimulate the Local Economy, o.J. Online unter: <https://www.smartgrowthamerica.org/app/legacy/documents/cs/factsheets/cs-economic.pdf> (abgerufen am 24.01.2020).
- NYTUS, N.: Einsatz von Revunjenatoren bei der Wiederverwendung von Asphalt. 2018. Online unter: <http://www.lvw.ruhr-uni-bochum.de/forschung/projekte/rejuvenatoren.html.de> (abgerufen am: 02.10.2019).
- PÉREZ, I. P., PASANDIN, A. M. R., PAIS, J. C., & PEREIRA, P. A. A.: Use of lignin biopolymer from industrial waste as bitumen extender for asphalt mixtures. *Journal of Cleaner Production*, 220, 87-98, 2019.
- PHELPS, P.; FEIGE, I.; ZAPP, K.: Die Zukunft der Mobilität. Szenarien für Deutschland in 2035. München, 2015.
- PRIBYL, P. & PRIBYL, O.: Definition of a Smart Street as Smart City's building element. *Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*, 2015.
- RAMMLER, S.: Nachhaltige Mobilität: Gestaltungsszenarien und Zukunftsbilder. Braunschweig, 2014.
- RANDELHOFF, M.: Straße als Räume für Mobilität und menschliche Interaktion. 2017. Online unter: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/165000/urbane-mobilitaet/strassenraum-interaktion-bausteine-wandel-mobilitaet-foerderung/#fnref-165000-1> (abgerufen am: 06.12.2019).
- RNM – REALLABOR FÜR NACHHALTIGE MOBILITÄTSKULTUR: Stuttgart in Bewegung. JOVIS, Berlin, 2018.
- ROSS, J.I.: Refarming urban street culture: Towards a dynamic and heuristic process model. In: *Coty, Culture and Society*, Vol. 15, S. 7-13. 2018.
- SAUNDERS, L.: Healthy streets. *Urban Design Group Journal*, 142, 35-36, 2017.
- SAUTER, D. & HÜTTENMOSER, M.: Integrationspotenziale im öffentlichen Raum urbaner Wohnquartiere, Zusammenfassung der Ergebnisse. Zürich, 2016.
- SCHMIDT, J.: Auf der Straße zur Sonne(nenergie). Online unter: <https://reset.org/blog/der-strasse-zur-sonnenenergie-07032017> (abgerufen am: 19.01.2020).
- SEHER, D.: Nie mehr Blitzeis? NRW testet Asphaltheizung auf Autobahn. 2016. Online unter: <https://www.waz.de/region/rhein-und-ruhr/nie-mehr-blitzeis-nrw-testet-asphalt-heizung-auf-autobahn-id12053253.html> (abgerufen am: 18.10.2019).
- SHANEYFELT, K.; ANDERSON, A.; KUMAR, P.; HUNT, W.: Air quality considerations for stormwater green street design. In: *Environmental Pollution*, Vol. 213, Issue 17. 2017.
- STYRELF: Polymermodifizierte Bitumen für Asphaltanwendungen. 2010. Online unter: [http://www4.total.fr/Europe/Austria/Bitumes/Partie%201/Polymermodifiziertes%20Bitumens-STYRELF/Produkttheft\\_STYRELF\\_2010.pdf](http://www4.total.fr/Europe/Austria/Bitumes/Partie%201/Polymermodifiziertes%20Bitumens-STYRELF/Produkttheft_STYRELF_2010.pdf) (abgerufen am: 25.10.2019).

- SZABÓ, T.: Die Straßen in Deutschland und Italien im Mittelalter. In: Straßen- und Verkehrswesen im hohen und späten Mittelalter, Bd. 66, S. 71-118. 2007.
- TRIALOG PUBLISHERS VERLAGSGESELLSCHAFT: DuraBAST eröffnet: Innovatives Testgelände für den Straßenbau. 2017. In: Internationales Verkehrswesen Online. Online unter: <https://www.internationales-verkehrswesen.de/durabast-eroeffnet/> (abgerufen am: 13.10.2019).
- UMWELTBUNDESAMT: Straßen und Plätze neu denken. Dessau-Roßlau, 2017.
- VERKEHRSCLUB ÖSTERREICH: Wie Wohnbau gesunde Mobilität fördern kann. 2015. Online unter: <https://fgoe.org/sites/fgoe.org/files/2017-10/2015-10-23%202.pdf> (abgerufen am: 11.12.2019).
- VAN AUDENHOVE, F.; BETTATI, A.; SMITH, A.; ROMINGER, G.; STEYLEMANS, N.; HAON, S.; KORN, A.; ZINTEL M.: The Future of Mobility 3.0. Reinventing mobility in the era of disruption and creativity. Wiesbaden, 2018.
- VAN VLIET, D., SLAGHEK, T., GIEZEN, C., & HAAKSMAN, I.: Lignin as a green alternative for bitumen. Paper presented at the Proceedings of E&E congress. 2016.
- WANG, D.; HÜBEN, M.; OESER M.; STEINAUER, B.: Umweltfreundlicher Straßenbelag mit photokatalytischem Stickstoffoxidabbau. In: Bautechnik, Vol. 91, Heft 10, SW. 720-727. Berlin, 2014.
- WELLNER, F.; KAYSER, S.; CLAUB, M.: Projizierter Klimawandel und Dimensionierung von Strassenbefestigungen. 2017.
- WERNER, M.; DUWE, D.; BUSCH, C.: Zukunftsstudie E-Fliegen. Stuttgart, 2019.
- YOU, Z., MILLS-BEALE, J., FINI, E., GOH, S. W., & COLBERT, B.: Evaluation of low-temperature binder properties of warm-mix asphalt, extracted and recovered RAP and RAS, and bioasphalt. Journal of materials in Civil Engineering, 23(11), 1569-1574. 2011.
- ZHANG, R., WANG, H., YOU, Z., JIANG, X., & YANG, X.: Optimization of bio-asphalt using bio-oil and distilled water. Journal of Cleaner Production, 165, 281-289. 2017.