



# Neue Nachhaltigkeits- infrastrukturen

Digitale Luftqualitätsmessung  
für ein umweltsensitives  
Verkehrsmanagement

# Inhalt

01	Beitrag digitaler Netz- und Mobilitätsinfrastrukturen zu Nachhaltigkeit	3
02	Digitale Nachhaltigkeitsinfrastrukturen	4
03	Sensorbasierte Luftqualitätsmessung für ein umweltsensitives Verkehrsmanagement	8
03.1	Status quo und Bedarf	8
03.2	Lösungsansatz	10
03.3	Nutzen und Anwendungen	12
03.3.1	Transparenz über Umweltdaten	13
03.3.2	Umweltsensitives Verkehrsmanagement	14
03.3.3	Nachhaltige Urbane Verkehrsentwicklung	17
03.3.4	Informationssystem Umweltqualität	18
03.4	Beitrag zur Nachhaltigkeit	21
04	Handlungsbedarfe und Ausblick	24
05	Mitwirkende	25

## 01

## Beitrag digitaler Netz- und Mobilitätsinfrastrukturen zu Nachhaltigkeit

**Digitale Netz- und Mobilitätsinfrastrukturen** sind essenzielle Grundlagen einer innovativen ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit. Wie die Corona-Krise vor Augen führt, ist ein nachhaltiges „Funktionieren“ von Städten, Regionen und der Wirtschaft und Gesellschaft als Ganzes ohne **Digitale Netze** nicht mehr vorstellbar. Sie sind damit zu unverzichtbaren Säulen einer digital ertüchtigten Resilienz geworden. Auch außerhalb krisenhafter Situationen sind Digitale Netze längst das Fundament ressourcenschonender Anwendungen in den verschiedensten Sektoren sowie tragfähiger, souveräner Geschäftsmodelle und gesellschaftlicher Teilhabe.

**Intelligente Mobilitätsanwendungen und -plattformen** sind ihrerseits die unverzichtbare Basis eines nachhaltigen Verkehrsmanagements. Intelligente Mobilität ermöglicht eine Verkehrsabwicklung mit geringem Ausstoß an Treibhausgasen, geringer Lärm- und Schadstoffbelastung sowie geringem Flächen- und Ressourcenverbrauch. Die damit verbundenen Geschäftsmodelle sind im Idealfall wirtschaftlich nachhaltig (d. h. unternehmerisch und für die öffentliche Hand tragfähig sowie gesunden Wettbewerb ermöglichend) und begünstigen gesellschaftliche Teilhabe (z. B. bezahlbares, alltagstaugliches und sicheres Mobilitätsangebot überall).<sup>1</sup>

Beide Perspektiven vereint die Plattform „Digitale Netze und Mobilität“ des nationalen Digital-Gipfels. Grundlage ihrer Arbeiten im Gipfeljahr 2020 waren insbesondere die Agenda 2030 der Vereinten Nationen mit ihren 17 Zielen für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals – SDGs) sowie das allgemein anerkannte Dreieck der Nachhaltigkeitsdimensionen ökologisch, ökonomisch und sozial.

Selbstverständlich sind sowohl digitale Infrastrukturen als auch der Mobilitätssektor nicht nur in Bezug auf ihre positiven Nachhaltigkeitswirkungen zu betrachten, sondern immer auch auf ihre Nachhaltigkeitsbelastungen – ihren eigenen Ressourcenverbrauch und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen (THG). In diesem Zusammenhang veröffentlicht die Fokusgruppe „Digitale Netze“ der Plattform „Digitale Netze und Mobilität“ zum Digital-Gipfel 2020 grundlegende Empfehlungen und Good Practices für den nachhaltigen Betrieb digitaler Infrastrukturen.<sup>2</sup> Zusätzlich haben die Expertinnen und Experten die verschiedenen Aspekte eines nachhaltigen und effizienten Ausbaus von Breitband-Netzen in den Fokus mehrerer Publikationen gestellt. So wurden Beschleunigungspotenziale im Rahmen kommunaler Genehmigungsprozesse identifiziert und die Umsetzung zentraler telekommunikations- und baurechtlicher Empfehlungen der Gruppe aus dem Jahr 2019 analysiert. Zudem wurden erstmals Empfehlungen für eine verbesserte Inhouse-Glasfaservernetzung erarbeitet sowie für die Nutzung von Satellitenkommunikation für schwer erschließbare Randlagen.<sup>3</sup>

Das vorliegende Papier fokussiert auf den Beitrag digitaler Luftqualitätsmessung zu einem umweltsensitiven Verkehrsmanagement. Es offenbart signifikante, noch nicht gehobene Nachhaltigkeitspotenziale direkt an der Schnittstelle von digitaler Netzinfrastruktur und intelligenter Mobilität.

1 Plattform Digitale Netze und Mobilität / Fokusgruppe Intelligente Mobilität: „Intelligente Mobilität und Nachhaltigkeit – Mit intelligenten Mobilitätslösungen zu einem nachhaltigen Verkehrsmarkt“, 2020

2 Plattform Digitale Netze und Mobilität / Fokusgruppe Digitale Netze: „Nachhaltigkeit in der digitalen Infrastruktur“, 2020

3 Alle genannten Publikationen der Fokus- und Arbeitsgruppen der Plattform „Digitale Netze und Mobilität“ zum Digital-Gipfel 2020 sind verfügbar unter <https://plattform-digitale-netze.de/publikationen/>.

## 02

## Digitale Nachhaltigkeitsinfrastrukturen

Die Bezeichnung „Digitale Infrastrukturen“ wird gemeinhin als Oberbegriff für Netze, Rechenzentren und Endgeräte verwendet, die als technische Grundeinrichtungen der Digitalisierung erforderlich sind. Sie sind ihrer technischen Ausprägung und Nutzung nach zumeist anwendungsunabhängig. Das heißt, sie können für gänzlich unterschiedliche Zwecke genutzt werden. Im Zuge der Entwicklung digitaler Lösungen für mehr Nachhaltigkeit entsteht darauf aufbauend eine neue Klasse digitaler Infrastrukturen, welche dedizierten Nachhaltigkeitszielen dienen. Diese können daher als „digitale Nachhaltigkeitsinfrastrukturen“ bezeichnet werden.

Die bekannteste derartige Nachhaltigkeitsinfrastruktur ist die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. Diese baut zwar auf bestehenden Energie- und Telekommunikationsnetzen auf, erfordert jedoch den umfangreichen und breitflächigen Neuaufbau von Hard- und Softwarekomponenten zu einem neuen Gesamtsystem. Gemeinsam haben die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge und viele andere Nachhaltigkeitsinfrastrukturen, dass die erhobenen und verarbeiteten Statusdaten (z. B. Verkehrslage, Energieverbräuche, Luftqualität) einen ausgeprägten Raumbezug aufweisen (Geodaten). Aufgrund ihrer Struktur, Semantik und Topologie stellen sie besondere Anforderungen an Datenmanagement, -analyse und -visualisierung.

In ähnlicher Weise macht die flächendeckende Messung der Luftqualität als Grundlage eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements den Aufbau eines gänzlich neuen

digital vernetzen Sensornetzes, inklusive neuer Hardware- und Softwarekomponenten, Schnittstellen und cloudbasiertem Backend, erforderlich. Die Plattform Digitale Netze und Mobilität hat hierzu ein Multi-Stakeholder-Projekt initiiert, dessen erstes Ergebnis die hier vorliegende Publikation zum Digital-Gipfel 2020 konstituiert.

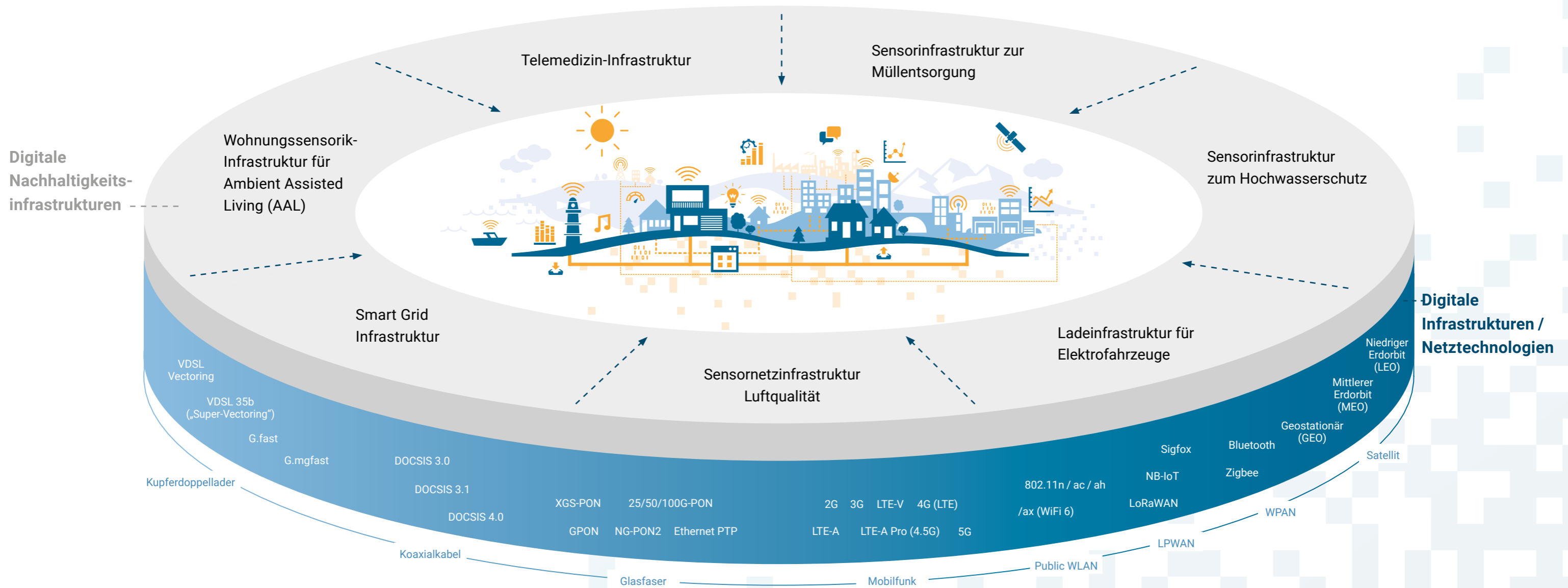
Der Aufbau solcher neuer Nachhaltigkeitsinfrastrukturen erfordert oft auch neue Formen der Zusammenarbeit zwischen bislang getrennt agierenden Stakeholdern sowie ein besonderes Augenmerk auf der Umsetzung einer konsequenten Standardisierungsstrategie. Hinzu kommen ggf. gesetzgeberische Maßnahmen zur Ausgestaltung passender rechtlicher Rahmenbedingungen, monetäre Maßnahmen zur Förderung/Finanzierung sowie strategische und koordinierende Maßnahmen für einen flächendeckenden Aufbau und Multi-Stakeholder-Prozesse.

Durchaus differenziert muss betrachtet werden, ob der Aufbau der neuen Nachhaltigkeitsinfrastrukturen durch die öffentliche Hand oder privatwirtschaftlich erfolgen sollte. Wo immer eine bedarfsgerechte Versorgung markgetrieben möglich ist, sollte dies durch die freien Kräfte der Wirtschaft erfolgen. Dort, wo dies nicht möglich ist, bzw. wo der Aufbau und Betrieb als hoheitliche Aufgabe einzuordnen ist, sind öffentliche Auftraggeber gefordert. Unabhängig davon, ob privatwirtschaftlich oder öffentlich realisiert, ist grundsätzlich dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit Rechnung zu tragen und Investitions- und Planungssicherheit eine wesentliche Voraussetzung.

## Beitrag ausgewählter digitaler Nachhaltigkeitsinfrastrukturen zu den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit

	Ökologisch	Ökonomisch	Sozial
Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge	Grundlage zur Substitution des Verbrennungsmotors; Verringerung der CO <sub>2</sub> -Ausstöße	Investitionsimpulse für weitere Innovationen im Mobility-/Automotive-Kontext	Erhöhte Lebensqualität durch Lärm- und Feinstaubreduktion
Sensornetzinfrastruktur Luftqualität	Grundlage für wirksame umweltsensitive Verkehrsgriffe	Grundlage eines digitalen Umweltdaten-Ökosystems	Transparente Umweltqualitäts-Daten als Entscheidungsgrundlage für alle Bürger*innen
Sensorinfrastruktur zur Müllentsorgung	Verringerte Anzahl an Fahrten (CO <sub>2</sub> -Ausstoß) und Entleerungsfahrzeugen (Ressourcenverbrauch)	Gesteigerte Auslastung der (verkleinerten) Entleerungsflotte (Kostenreduktion / Effizienz)	Verlässliche Entsorgungsleistung bei reduzierter Lärm- und Schadstoffbelastung (Versorgungssicherheit/ Lebensqualität)
Sensorinfrastruktur zum Hochwasserschutz	Grundlage für die Errichtung naturnaher Anlagen zum Rückhalt bzw. Versickerung von Regenwasser (datenbasierte Gefahrenanalysen)	Überwachung und Schutz gefährdeter Bauwerke und Lagen; Alarmierung bei Starkregen	Benachrichtigung und Schutz der Bürger*innen bei Extremwetter-Ereignissen
Smart Grid Infrastruktur	Grundlage zur Integration regenerativer Energiequellen; Verringerung der Schadstoff- und CO <sub>2</sub> -Emissionen (Umweltverträglichkeit)	Stabile Netzsituation bei volatiler Erzeugungintensität (Versorgungssicherheit); Strukturelle Attraktivität des Industriestandorts Deutschland (Wettbewerbsfähigkeit)	Gewährleistung einer kontinuierlichen und stabilen Stromversorgung (Versorgungssicherheit)
Telemedizin-Infrastruktur	Ersetzen aufwändiger Krankentransporte und Patientenfahrten	Zugriff auf Spezial-Expertise größerer Krankenhäuser zur Kostenreduktion und Verbesserung der Behandlungsqualität	Vernetzung mit größeren Krankenhäusern zur Versorgung strukturschwacher Regionen
Wohnungssensorik-Infrastruktur für Ambient Assisted Living (AAL)	Vermeidung von Unfällen, Krankentransporten und Patientenfahrten	Teilweise Substitution kostenintensiver stationärer Pflege; ggf. beschleunigte Genesung und bessere Behandlungsqualität in vertrautem Umfeld	Teilhabe pflegebedürftiger Menschen am gesellschaftlichen Leben in ihrer vertrauten (Wohn-)Umgebung

Eine neue Klasse digitaler Infrastrukturen



## 03

## Sensorbasierte Luftqualitätsmessung für ein umweltsensitives Verkehrsmanagement

## 03.1

### Status quo und Bedarf

#### Luftqualität im Spannungsfeld gesellschaftlicher Bedürfnisse und politischer Weichenstellungen

Der Einfluss von Luftqualität auf die menschliche Gesundheit ist wissenschaftlich eindeutig und global belegt.<sup>4</sup>

In jüngsten Studien wurde der positive Zusammenhang zwischen Feinstaub-Konzentration und der Mortalität im Zusammenhang mit Covid-19-Erkrankungen nachgewiesen.<sup>5</sup> Schlechte Luftqualität wirkt sich signifikant auf den Kostenanstieg im Gesundheitswesen aus und mindert die Arbeitsproduktivität und das Bruttoinlandprodukt.<sup>6</sup> Neue Studien adressieren die hohen monetären (z. B. medizinische Behandlungskosten) und nicht-monetären (z. B. Kindersterblichkeit; Häufigkeit chronischer Bronchialerkrankungen) gesamtgesellschaftlichen Kosten schlechter Luft in Großstädten.<sup>7</sup> Luftqualität ist damit ein maßgeblicher Faktor für die urbane Entwicklung und Lebensqualität in Städten. Sie bestimmt mit, wohin Menschen reisen und wo sie wohnen wollen.

Vor dieser Ausgangslage hat der politische Druck mit Blick auf eine Verbesserung der Luftqualität insbesondere in stark betroffenen Städten und Regionen in den letzten Jahren stetig zugenommen. Das „Sofortprogramm Saubere Luft 2017–2020“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) sowie die daraus resultierenden Green-City-Pläne seien exemplarisch für eine Vielzahl an politischen Initiativen genannt. Regelmäßig gemessene Grenzwert-Überschreitungen für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) zogen in den vergangenen Jahren in vielen Städten Diesel-Fahrverbote nach sich, der Abgasskandal hat zudem zu

einer weiteren Sensibilisierung hinsichtlich des Einflusses von PKW-Emissionen auf die Luftqualität beigetragen.

Eine solide datenbasierte Entscheidungsgrundlage für Luftqualität in Deutschland erscheint vor diesem Hintergrund dringend notwendig. Wichtige Attribute einer umfassenden Luftqualitätserfassung, die mit bestehenden Ansätzen nicht oder nur teilweise adressiert werden, sind Feingranularität (engmaschige Messung anstelle von „weißen Flecken“ und ersatzweiser Modellierung), Aktualität (Echtzeit-Erfassung vs. diskontinuierliche Mittelwerte) und flächendeckende Verfügbarkeit. So bestehen im Status quo noch zahlreiche „weiße Flecken“, etliche davon in Städten, deutlich mehr jedoch in ländlichen Regionen, wo mit Blick auf eine umfassende Luftqualitätstransparenz Gleichbehandlung erreicht werden sollte.

#### Mess-Ansätze im Status quo

Derzeit gibt es zwei unterschiedliche Typen von Messgeräten für ortsfeste und orientierende Luftgütemessungen. Sog. Passivsammler, die leicht angebracht werden können und diskontinuierliche Mittelwerte liefern (meist 14-tägige oder monatsweise), werden vor allem für Messungen in der Fläche eingesetzt. Auf der anderen Seite gibt es dauerhaft installierte, ortsfeste Messstationen in Containern, die präzise kontinuierliche Stundenmittelwerte liefern. Letztere werden aufgrund der sehr hohen Anschaffungs- und Unterhaltskosten sowie ihrem großen Platzbedarf meist nur an wenigen Brennpunkten aufgestellt. Sowohl die Messcontainer als auch die Passivsammler erlauben

4 Vgl. <https://www.mpg.de/14551647/gesundheitsrisiko-luftverschmutzung>

5 Vgl. <https://airqualitynews.com/2020/09/14/exposure-to-pm2-5-leads-to-an-increase-in-covid-19-mortality-new-study/>

6 Vgl. The economic consequences of outdoor air pollution, OECD, Juni 2016, S. 22/OECD (2015)

7 Vgl. [https://changing-cities.org/wp-content/uploads/2020/10/FINAL-EMBARGOED-until-21-Oct-0.01-AM-CE\\_Delft\\_190272\\_Health\\_costs\\_of\\_air\\_pollution\\_in\\_European\\_cities\\_and\\_the\\_linkage\\_with\\_transport\\_Def.pdf](https://changing-cities.org/wp-content/uploads/2020/10/FINAL-EMBARGOED-until-21-Oct-0.01-AM-CE_Delft_190272_Health_costs_of_air_pollution_in_European_cities_and_the_linkage_with_transport_Def.pdf)

heute nur zeitlich bzw. örtlich punktuelle Messungen für  $\text{NO}_2$  und ggf. weitere Luftschadstoffe (z. B.  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_3$ , Feinstaub). Diese Messungen sind dabei mit großem manuellem Aufwand verbunden (z. B. regelmäßige Kalibrierung der Container, manuelles Auf- und Abhängen der Passivsammler sowie deren Auswertung im Labor). Die so ermittelten hochgenauen Messwerte dienen der amtlichen Überprüfung der Grenzwerte und werden zur Ermittlung der weiteren räumlichen Verteilung durch Modellberechnungen flankiert. Eine (pro)aktive Steuerung von Umweltmaßnahmen auf Basis ausschließlich dieser Messwerte ist kaum möglich (Verkehrslenkung, Vermeidung von Fahrverboten).

### **Elektrochemische Sensorik zur Messung der Luftqualität**

Neben den heute in behördlichen Messnetzen betriebenen Messeinrichtungen werden immer öfter sogenannte „Sensorsysteme“ für die Messung von Umweltschadstoffen propagiert. Bei diesen Sensorsystemen handelt es sich um Einrichtungen, die eine Umweltgröße in ein Messsignal umwandeln und elektronisch in eine Schadstoffkonzentration umrechnen. Diese Sensorsysteme sind häufig sehr einfach aufgebaut und damit im Verhältnis zu den aktuell in den behördlichen Messnetzen eingesetzten professionellen Messgeräten sehr preisgünstig. Erkauft wird dies mit deutlich höheren Messunsicherheiten.

In der Öffentlichkeit stoßen diese Sensorsysteme zur Messung der Luftqualität auf großes Interesse. Sie werden häufig abseits der behördlichen Messstationen in der Fläche eingesetzt, um dort ortsbezogen die Luftqualität zu ermitteln, aber auch direkt neben behördlichen Stationen zum Vergleich der Ergebnisse. So kann mit Sensorsystemen in der Regel eine deutlich größere räumliche und zeitliche Auflösung erzielt und die Luftqualität damit anschaulich visualisiert werden. Ebenso sind Bedarfsmessungen gezielt möglich. Zudem können in (mobilen) Sensornetzwerken erweiterte Optionen der Signalverarbeitung realisiert werden.

Ein Sensor soll auf chemische oder physikalische Eigenschaften der Luft reagieren und diese anschließend in elektrische Signale umwandeln. In den meisten Sensorsystemen werden verschiedene Sensoren verwendet, um parallele Messungen verschiedener Parameter durchzuführen. Durch Multisensordatenfusion können so auch Probleme einzelner Sensorelemente, z. B. im Hinblick auf Querempfindlichkeiten, durch entsprechende Modellbildung oder Kalibrierung korrigiert werden. In Sensorsystemen zur Messung der Luftqualität kommen zunehmend elektrochemische Sensoren zum Einsatz, die auf einer chemischen Reaktion zwischen den in der Luft vorhandenen Gasen und der in einer Flüssigkeit getauchten Elektrode im Inneren des Sensors basieren. Daneben wird eine Reihe weiterer Sensorprinzipien eingesetzt, darunter Metalloxid-Sensoren, Photoionisationsdetektoren sowie optische Partikelzähler

Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchte können mit verhältnismäßig preiswerten Sensoren (ab wenigen Euro bis zu mehr als 100 €) bereits gut gemessen werden. Die Messung von Luftschadstoffen mit günstigen Sensoren ist derzeit jedoch nur mit gewissen Einschränkungen möglich. Dies gilt beispielsweise für die Messung von Ozon ( $\text{O}_3$ ), Kohlenstoffmonoxid ( $\text{CO}$ ), Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ), Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), der Gesamtanteil flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC) und Feinstaub.

### **Regulatorischer Hintergrund und föderale Zuständigkeiten der Luftqualitätsmessung**

Die Luftmessnetze in Deutschland sind entsprechend ihren Zielsetzungen auf unterschiedlichen föderalen Ebenen angesiedelt und ergänzen sich in ihrer Ausrichtung gegenseitig. Das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes bezieht seine Messaufträge aus internationalen Abkommen sowie der EU-Gesetzgebung. Überwacht werden großflächige Veränderungen der Luftqualität und ferntransportierte Luftverunreinigungen, weswegen die Messstationen außerhalb von Ballungsgebieten, Städten und Schadstoffquellen wie Industriestandorten oder Kraftwerken betrieben werden.<sup>8</sup> Im Gegensatz hierzu betreiben die Bundesländer eine Vielzahl an Messstationen in Städten, Ballungsräumen, Gebieten mit hoher Verkehrsdichte und

8 Vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/messenbeobachteneuberwachen/luftmessnetz-des-umweltbundesamtes#aufgabe-des-umweltbundesamtes>



ländlichen Regionen. So überwachen sie die Luftqualität und insbesondere die Einhaltung vorgegebener Grenzwerte. Aktuelle Luftqualitätswerte werden auf den Internetseiten der zuständigen Landesämter bereitgestellt.<sup>9</sup> Daneben besteht eine zunehmende Anzahl an Messnetzwerken auf kommunaler Ebene.<sup>10</sup>

Von herausragender Bedeutung für die Luftqualitätsmessung in der Bundesrepublik ist die Europäische Vorgabe RL 2008/50/EG („Luftqualitätsrichtlinie“). Diese wird durch die Länder umgesetzt und ist durch die 39. BImSchV in nationalem Recht verankert. Diese Durchführungsverordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz legt Immissionsgrenzwerte fest und regelt u. a. die Beurteilung und Messung der Luftqualität. Um die Anzahl, Orte und Art der Messungen festzulegen, bestimmen die zuständigen Landesbehörden gemeinsam mit den Städten und Gemeinden für die gesamte Fläche ihres Landes dauerhaft zu überwachende Gebiete und Ballungsräume. Maßgeblich für die Einrichtung ortsfester Messungen sind Schwellwertüberschreitungen, die bei temporären Messungen ermittelt werden. Die 39. BImSchV definiert sowohl die Mindestanzahl an Probenahmestellen als auch Kriterien zur Standortauswahl. Darüber hinaus legt die 39. BImSchV eine Erweiterung durch orientierende Messungen und Modellrechnungen nahe, um angemessene Informationen über die räumliche Verteilung der Luftqualität zu erhalten. Mehr Stationen verbessern die Datengrundlage, was im Sinne eines proaktiven Gesundheitsschutzes sicherlich förderlich ist.

Mit Blick auf sensorbasierte Luftqualitätsmessung wird auf europäischer Ebene eine Prüfvorschrift zur Auswertung von Sensorsystemen mit einem strukturierten messtechnischen Ansatz erarbeitet, der die Rückführbarkeit zu nationalen und internationalen Standards gewährleisten kann. Eine solche Prüfvorschrift ermöglicht die Bewertung der Qualität von Sensorsystemen und ist ein erster wichtiger Schritt, um Messungen mit Sensorsystemen in Zukunft in die Überwachung der Luftqualität für regula-

torische und nicht-regulatorische Zwecke einzubeziehen. Die Einhaltung qualitativer Mindeststandards der verwendeten Sensorik im Sinne einer solchen Prüfvorschrift ist essentielle Voraussetzung des im Folgenden vorgestellten Lösungsansatzes und aller sich daraus ergebenden Anwendungs- und Nutzenpotenziale.

## 03.2 Lösungsansatz

### **Bundesweit einheitliches flächendeckendes Netzwerk mit standardisierten Schnittstellen**

Um möglichst schnell eine einheitliche datenbasierte Entscheidungsgrundlage für Luftqualität in Deutschland realisieren zu können, ist der flächendeckende Rollout eines übergreifenden Netzwerks von Echtzeitmessgeräten mit einheitlicher Güte in Deutschland notwendig. Verzögerungen der Installation durch sequenzielle, individuelle Verhandlungen mit einzelnen Kommunen würden dabei vermieden. Ein bundesweiter von den einzelnen Kommunen möglichst unabhängiger und einheitlicher Prozess der Installation erscheint hierfür der effizienteste Weg. Die vom Sensornetzwerk erhobene Daten sollten allen Kommunen über standardisierte Schnittstellen und mit diversen Auswertungsmöglichkeiten initial möglichst kostenfrei zur Verfügung gestellt werden. Die Kommunen bekommen so direkt ein klares Bild über ihre individuelle Situation und mögliche lokale Luftqualitäts-Hotspots und können sich direkt auf die Verbesserungsmaßnahmen fokussieren. Zusätzlich ermöglichen diese qualitativ hochwertigen, aktuellen und gut beschriebenen offenen Daten – im Sinne der gesetzlichen Open-Data-Regelung – die Entwicklung innovativer Lösungen bzw. Geschäftsmodelle durch Dritte, insbesondere im Bereich Verkehr und Mobilität, aber auch im Bereich des Klimaschutzes.

<sup>9</sup> Vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/messenbeobachteneuberwachen/luftmessnetze-der-bundeslaender>

<sup>10</sup> Beispielsweise in Darmstadt, vgl. <https://www.fr.de/rhein-main/darmstadt/telekom-nutzt-verteilerkasten-darmstadt-sensoren-feinstaub-12303485.html>, oder im Großraum München, vgl. <https://hawadawa.com/de/2019/06/groesstes-staedtisches-messnetzwerk-in-deutschland/>

### **Ergänzung der bisherigen Messansätze des Bundes und der Länder**

Die Zielsetzung des vorgeschlagenen bundesweiten flächendeckenden Sensornetzwerks besteht dabei nicht darin, eine Konkurrenzsituation zu bisherigen Messnetzen zu schaffen. Ziel ist es, diese zu erweitern. Im Gegensatz zur amtlichen Überprüfung der Grenzwerte durch die Netze des Bundes und der Länder soll das vorgeschlagene flächendeckende Sensornetzwerk zur Identifikation geeigneter lokaler Maßnahmen (z. B. umweltsensitives Verkehrsmanagement) und zum Monitoring der Wirksamkeit von Luftreinhalteplänen und anderen Maßnahmen eingesetzt werden. Eine situationsgerechte Steuerung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen bedarf zwingend einer flächendeckenden Messung. Deutschland braucht über Ressort- oder Landesgrenzen hinweg gemeinsam getragene Lösungen. Der Mehrwert des vorgeschlagenen digitalen Messnetzwerks liegt dabei in der Möglichkeit einer engmaschig, standardisiert und nahezu in Echtzeit erfolgenden Messung und Validierung von Maßnahmen und deren Auswirkung im Einklang mit Anforderungen an die Luftreinhaltung, die bislang nicht möglich ist. Das heutige Messnetz kann – aufgrund seiner Weitmaschigkeit – allenfalls punktuelle Erkenntnisse über lokal und zeitlich begrenzte Schadstoffkonzentrationen liefern (und diese ggf. durch Modellberechnungen zur weiteren räumlichen Verteilung flankieren). Damit sind die dort erhobenen Daten als Grundlage für beispielsweise ein umweltsensitives Verkehrsmanagement nicht geeignet.

### **Skalierbare Echtzeit-Sensorik mit kostengünstigem Betrieb**

Um eine Messung von Luftqualität an vielen Stellen mit hinreichender Qualität zu ermöglichen, haben die Robert Bosch GmbH, die T-Systems GmbH und andere Anbieter jeweils unabhängig voneinander neuartige Sensoreinheiten entwickelt. Diese stellen ihre Messdaten in digitaler Form (in der Cloud) bereit und erlauben durch Einsatz von elektrochemischen Sensoren einen kostengünstigen Betrieb. Sie sind zudem von ihren Dimensionen so konstruiert, dass sie bestehende Infrastruktur (z. B. Multifunktionsgehäuse (MFG) der Telekom, aber auch andere geeignete Standorte) nutzen und einfach in die Netzwerkinfrastruktur eingebunden werden können. Messdaten zur Luftqualität können so ohne komplizierte Abstimmungen über Aufstellort und Einbindung dauerhaft ohne großen manuellen Aufwand erhoben werden. Diese

in Echtzeit übertragenen Daten werden sicher in einer privaten IoT-Cloud zusammengeführt und ermöglichen es, effiziente überwachungsraum-übergreifende Luftgütekarten sowie weitergehende Umweltqualitätsübersichten (z. B. unter Berücksichtigung von Lärmkartierungen) zu schaffen. Sie bilden zudem die Basis für intelligente Vorhersagemodelle der Luft- und Umweltqualität bis hin zur Simulation von Maßnahmen. Die von diesem Ansatz ausgehenden Einsparungen vor allem im Personaleinsatz führen dabei zu einer vergleichsweise attraktiven Kostenstruktur. Nach ersten Schätzungen könnten Städte einen Messcontainer durch etwa 15 Sensoren ersetzen.



Abbildung 1: Ansatz eines flächendeckenden Sensornetzwerks basierend auf erprobter, innovativer Luftgütemessung

## 03.3

### Nutzen und Anwendungen

Der Ansatz eines bundesweit einheitlichen, flächendeckend ausgerollten Netzwerks mit skalierbarer digitaler Echtzeit-Luftqualitätssensorik würde die Erfassung der Umweltqualität in Deutschland auf ein neues Level heben. Mit der erstmals realisierten (1) flächendeckenden Transparenz über Luftqualitäts- und andere Umweltdaten ließe sich auf regionaler und überregionaler Ebene ein (2) umweltsensitives Verkehrsmanagement umsetzen, das die Mitigation von Immissionen zum Ziel hat und zu diesem Zweck eine dynamische, minimal-invasive und datenbasierte Steuerungslogik anwendet. Perspektivisch können Erweiterungen um verwandte Systeme zum Einsatz kommen, die beispielsweise durch kamera- und laserbasierte Systeme fahrzeug-individuell Emissionswerte messen und Fahrstreckensteuerung ermöglichen. Mittelfristig bilden Umwelttransparenz und dynamische Verkehrssteuerung die Grundlage für eine (3) nachhaltige urbane

Verkehrsentwicklung, die beispielsweise ein kontinuierlich lernendes Verkehrsmanagement und ein erhöhtes Maß an Resilienz und Sicherheit im Umgang mit verkehrlichen Ausnahmesituationen ermöglicht. Die Bereitstellung und Verwaltung der Daten unter Einhaltung aller Regeln des Datenschutzes kann – sofern personenbeziehbare Daten ausgetauscht werden – beispielsweise durch einen Trust Center erfolgen. Die offene Ausgestaltung des Sensornetzwerks, der zugrundeliegenden Infrastruktur (Standorte, Konnektivität, Cloud Backend, Data APIs etc.) sowie aufsetzender Anwendungen und Geschäftsmodelle ermöglicht mittel- bis langfristig zudem die Etablierung eines (4) „Informations-/Ökosystems Umweltqualität“ mit zahlreichen übergreifenden Anwendungspotenzialen weit über den Mobilitätssektor hinaus.

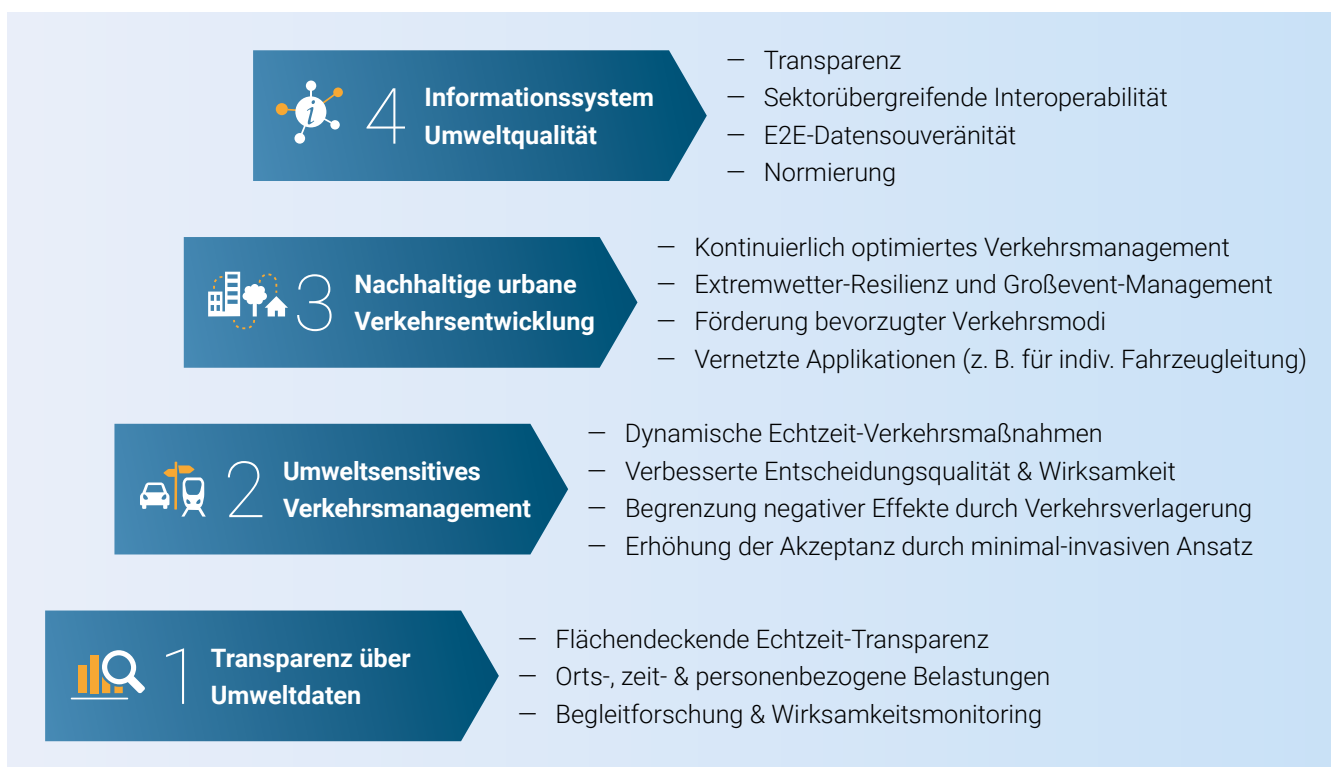


Abbildung 2: Nutzen und Potenziale des Sensornetzwerks Luftqualität

### 03.3.1 Transparenz über Umweltdaten

Für die Herstellung flächendeckender und zeitkritischer Umwelttransparenz und die Realisierung darauf basierender Anwendungen und Dienste sind Echtzeitdaten zwingend erforderlich. Der derzeit verfolgte Ansatz weniger teurer Passivsammler ermöglicht lediglich das rückblickende Auslesen der Messergebnisse. Für eine **proaktive Steuerung** und einen Beitrag zur dauerhaften **Verbesserung der Luftqualität** sind hingegen in Echtzeit übertragene Messdaten erforderlich.

#### Monitoring der Wirksamkeit von Luftverbesserungsmaßnahmen

In Ergänzung der in den folgenden Abschnitten beschriebenen vielfältigen Anwendungspotenziale stellt die grundlegende **Umweltdaten-Transparenz** an sich bereits einen Mehrwert zum Status quo dar. So würde eine flächendeckende Erhebung von Echtzeit-Messdaten die **wissenschaftliche Begleitung eines Monitorings der Wirksamkeit von Verbesserungsmaßnahmen** zur Luftqualität ermöglichen: „Die Überprüfung und das Monitoring der Wirksamkeit der Maßnahmen mit Blick auf die NO<sub>x</sub>-Reduktion sind derzeit sehr unterschiedlich. Hier könnte der Bund durch eine einheitliche und wissenschaftlich begleitete Evaluation der Maßnahmenumsetzung unterstützen.“<sup>11</sup> So formuliert es das BMVI in seiner Evaluation der Green-City-Pläne. Noch einen Schritt weiter gedacht wäre es empfehlenswert, die Grundlagen für ein bundesweit einheitliches und nachhaltiges Monitoringsystem basierend auf einem Messnetz und auf Simulationen zu schaffen. Die Kommunen würden in die Lage versetzt werden, die Wirksamkeit ihrer Maßnahmen vorab zu prognostizieren und im Rahmen der Umsetzung zeitnah und aktuell zu bewerten und damit Eingriffe in die Handlungsfreiheit von Wirtschaft und Bürgern zu verhindern. Die Bundesrepublik könnte so im Bereich Luftqualität eine Vorreiterrolle in Europa einnehmen und dem Führungsanspruch in der nachhaltigen Mobilität nachkommen Gegenstand der wissenschaftlichen Begleitforschung oder eines operativen Monitorings von Luftverbesserungsmaßnahmen mittels flächendeckender Sensorik kann beispielsweise sein:

- Messtechnische Ermittlung von Belastungsschwerpunkten
- Überprüfung von Ergebnissen flächenhafter Simulationen (Modell- und Ausbreitungsrechnungen)
- Ermittlung der Maßnahmeneffektivität bzgl. Reduktion von Luftschadstoffen in einem abgegrenzten Straßenabschnitt oder Gebiet (z. B. Prüfung der Wirksamkeit eines Tunnelbelüftungssystems an Tunnellein- und Tunnelausgängen)
- Zeitlich vergleichende Betrachtungen zur Belastungsveränderung an einem Ort im Tagesverlauf
- Informationen zur personenbezogenen Luftbelastung via Smartphone/App
- Einsatz und Vernetzung mobiler Sensorik zur Erhöhung der Aussagekraft von Messdaten bei sehr hoher Anzahl

In allen genannten und nachfolgend vorgestellten Szenarien und Anwendungsfällen kommt der Kalibrierung der Sensorsysteme eine Schlüsselrolle zu. Erste Sensorsystem-Ansätze sind mitunter bereits ausreichend, um zum Beispiel durch gekoppelte Apps die Luftqualität grob in „gut“, „mittel“ oder „schlecht“ zu klassifizieren. Eine deutlich höhere Genauigkeit ist bereits bei jüngeren Sensormodellen abzusehen. Sie erreichen bisher nicht die Messgenauigkeit der Referenzverfahren (Container), erzielen jedoch immer bessere Ergebnisse, was in ersten Pilotversuchen unter anderem im Projekt „Sensor Station“ mit der Digitalstadt Darmstadt und durch begleitende Labortests und Referenzmessungen des TÜV Rheinland aufgezeigt werden kann. Es ist zudem zu berücksichtigen, dass bei der Verwendung im Rahmen von Consumer-Apps (Anwendungen ohne behördlichen oder wissenschaftlichen Hintergrund) Messwerte mit einer leicht reduzierten Genauigkeit im Vergleich zu amtlichen Messungen meist völlig ausreichen. Es sollte jedoch stets erkennbar und nachvollziehbar sein, auf welcher Grundlage Aussagen oder Bewertungen getroffen wurden.

<sup>11</sup> BMVI: Zusammenfassung der 64 Green-City-Pläne, 2018, S. 11, verfügbar unter: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/Masterplaene-Green-City/ergebnispraesentation-green-city-plaene.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/Masterplaene-Green-City/ergebnispraesentation-green-city-plaene.pdf?__blob=publicationFile)

### 03.3.2 Umweltsensitives Verkehrsmanagement

Luftqualität – und der Einfluss des Verkehrs darauf – ist in den letzten Jahren zunehmend in das Bewusstsein der Öffentlichkeit und Politik gerückt. Seit vielen Jahren schon werden kontinuierlich Maßnahmen zur Verbesserung der verkehrsbedingten Luftqualität entwickelt und umgesetzt, jedoch haben insbesondere die Fahrverbote in Umweltzonen und Innenstädten der letzten Jahre dem Thema zu breiter Sichtbarkeit verholfen. Fahrverbote sind jedoch nur die Spitze des Eisbergs und Ultima Ratio. Sie sollten möglichst vermieden werden. Für eine nachhaltige Verbesserung von Luftqualität haben sich drei wesentliche Bereiche als wirksam herauskristallisiert:

1. Schon seit den 1980er-Jahren wird an der stetigen Verringerung der Fahrzeugemission – ggf. auch nur lokal in den Innenstädten – gearbeitet, mit dem Ziel, den kompletten Fahrzeugbestand langfristig über low- zu no-emission vehicles zu modernisieren. Diese Modernisierung ist jedoch ein eher langfristiger Prozess, da im Durchschnitt die Haltedauer von Fahrzeugen in Deutschland bei etwa 9–10 Jahren liegt und die kosteneffiziente Entwicklung diesbezüglicher Technologien sehr aufwändig ist und sich daher über Jahrzehnte hinzieht.
2. Mit der EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG wurde dann das Fundament gelegt, das eine verbindliche, einheitliche und rechtssichere Messung von Luftqualität in Städten regelt. Mit der Einführung von Messstationen konnte nun punktuell und überwiegend retrospektiv die Überschreitung von Grenzwerten überwacht und geahndet sowie wirksame Gegenmaßnahmen angestoßen werden.
3. Bleibt noch die Beeinflussung des Verkehrs und individuellen Fahrverhaltens durch sog. „umweltsensitives Verkehrsmanagement“ (UVM). Im Unterschied zum herkömmlichen Verkehrsmanagement wird beim UVM der Verkehr dahingehend optimiert, dass nicht nur die Transportleistung, Erreichbarkeit von Zielen und Sicherheit als Optimierungskriterien für verkehrliche Planungen und Maßnahmen herangezogen werden, sondern auch umweltorientierte Faktoren (überwiegend Luftqualität) eine Rolle spielen. In Abhängigkeit dieser Faktoren werden dann die Luftqualität begünsti-

gende Maßnahmen umgesetzt. Um dies zu erreichen, wird die Verkehrssteuerung um ein Umweltmodul erweitert, welches die aktuelle und prognostizierte Luftqualität in den Regelkreis einspeist, wobei Emissionen durch entsprechende Modelle errechnet werden. Die grundsätzliche Funktionsweise eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Die Bundesregierung fördert den Ausbau umweltsensitiver Verkehrsmanagement-Systeme im Rahmen des Sofortprogramms „Saubere Luft 2017–2020“. UVM-bezogene Maßnahmen sind Bestandteil der diesbezüglichen Masterpläne von 53 deutschen Städten.

Dank konsequenter Handlungen der Akteure in Politik und Wirtschaft sowie dem technischen Fortschritt konnte die Luftqualität bereits signifikant verbessert werden. Dennoch wäre es verfrüht, sich auf dem Erreichten auszuruhen. Im Rahmen von Forschungsarbeiten zur Corona-Krise haben sich erste Indikationen für einen Zusammenhang zwischen Corona-Todesfallraten und der lokalen Stickstoffdioxidbelastung gezeigt. Die von der WHO empfohlenen Grenzwerte (insb. für Feinstaub) sind deutlich niedriger als die derzeit in Deutschland juristisch verbindlichen EU-Grenzwerte. Es ist daher angezeigt, die Wirksamkeit von Systemen zum umweltsensitiven Verkehrsmanagement weiter zu verbessern.

#### **Maßnahmen im Rahmen eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements**

Die Menge möglicher Verkehrsmanagementmaßnahmen ist groß. Sie reicht von Zuflussbeschränkungen über Verkehrsverlagerungen auf alternative Routen, Förderung emissionsärmerer oder -freier Verkehrsmittel wie ÖPNV, Fahrrad etc., Geschwindigkeitsbeschränkungen und Grüne-Welle Ampelschaltungen bis hin zu auf das individuelle Fahr- und Emissionsverhalten zielenden Informations- und Leitsystemen. Ein wichtiges Instrument in diesem Zusammenhang ist die flexible Vergabe von Fahrspuren. Bei geeigneter Witterung kann eine üblicherweise vom motorisierten Individualverkehr genutzte Spur Fahrradfahrern zur Verfügung gestellt werden. Soll temporär die Nutzung des ÖPNV gestärkt werden, kann sie auch diesem zugeordnet werden. Zudem könnte eine Fahrspur gesperrt werden, um die Kapazität der Straße zu reduzieren und somit den Verkehr von dieser wegzulenken.

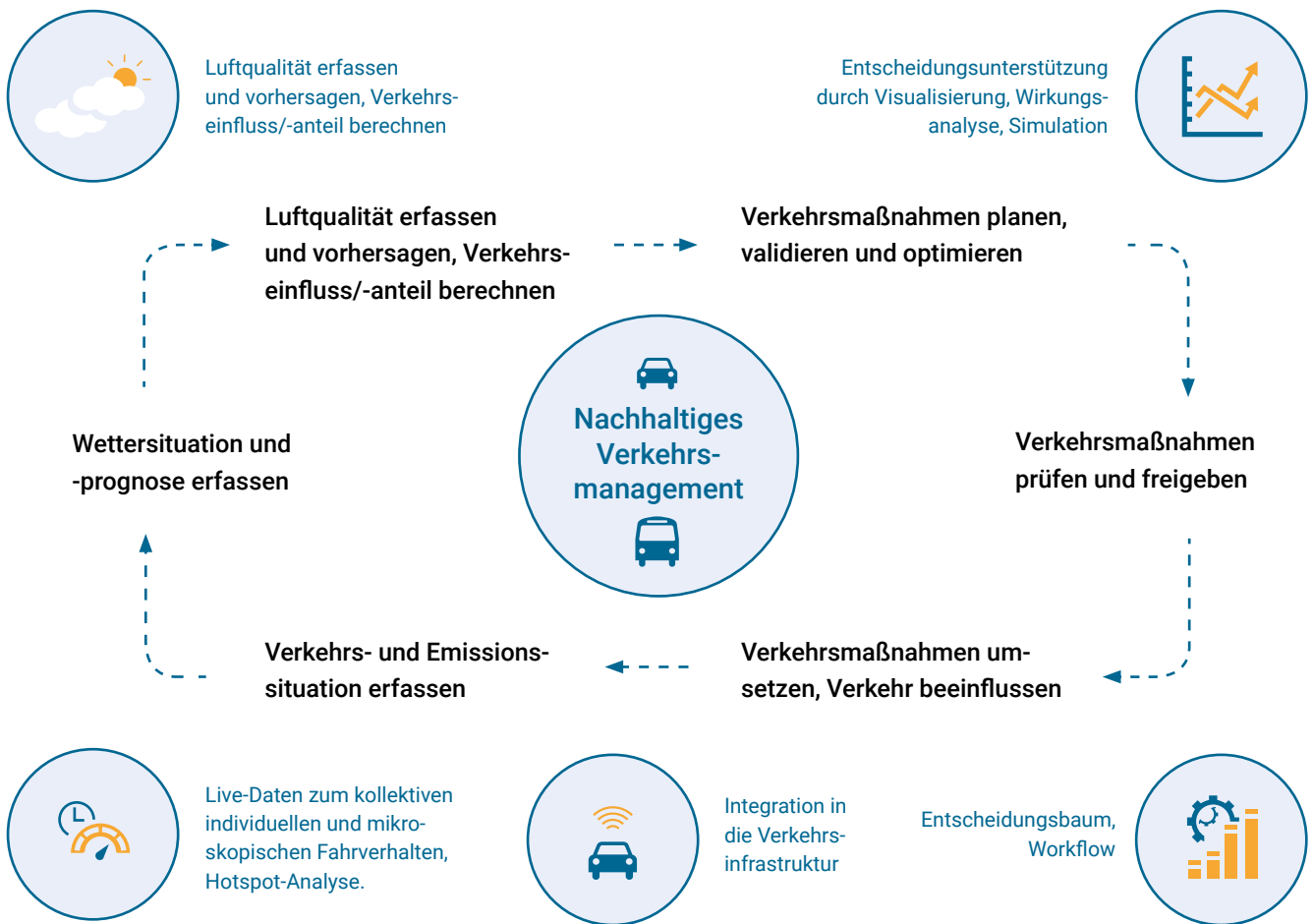


Abbildung 3: Funktionsweise eines nachhaltigen Verkehrsmanagements mit umweltsensitiver Verkehrssteuerung

Befahrbeschränkungen stellen eine weitere Möglichkeit der Reduktion von Schadstoffemissionen dar. Neben rigorosen Varianten werden zunehmend auch Möglichkeiten einer Bepreisung der Straßennutzung in Abhängigkeit von der aktuellen Lage – verkehrlich wie auch umwelttechnisch – diskutiert. Da Überschreitungen gültiger Limits für Luftqualität aufgrund von Klagen zu hohen Kosten führen können, kann es sinnvoll sein, bei besonderen Umweltbedingungen die Nutzung des Umweltverbundes, also Laufen, Rad und ÖPNV, über finanzielle Anreize zu fördern, zum Beispiel durch eine temporäre kostenlose ÖPNV-Nutzung.

Vor einer Implementierung von Maßnahmen sollten diese in Simulationen abgebildet und so be- und ausgewertet werden, um potentielle Auswirkungen – und Probleme – vorab zu bestimmen.

### Anwendung und Nutzen eines engmaschigen Sensornetzes für nachhaltiges Verkehrsmanagement

Die Einführung eines Sensornetzwerks für digitale Luftqualitätsmessungen zur Unterstützung von umweltsensitiven Verkehrsmanagementsystemen ermöglicht im Wesentlichen folgende Verbesserungen:

#### 1. Unterstützung zeitnaher dynamischer Verkehrsmaßnahmen

Durch ein geeignetes Sensornetzwerk, welches Luftqualitätsdaten kontinuierlich untertäglich und hochfrequent (5–15 Minuten) erfasst, kann ein sog. dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement ermöglicht werden. Dies stellt die wirksamste Ausbaustufe eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements dar, da in diesem geeignete Verkehrsmaßnahmen

dynamisch und nahezu in Echtzeit an die aktuelle und prognostizierte Luftqualität ausgewählt und angepasst werden können. Aus einer Verkehrssteuerung mit retrospektiver Erfolgskontrolle wird damit ein echtes Verkehrsmanagement im Sinne einer Regelung mit direkter, kurzzyklischer Erfolgskontrolle.

## 2. Verbesserung der Entscheidungsqualität für und Wirksamkeit von Verkehrsmaßnahmen

Durch die zusätzliche Sensorik eines Messnetzes profitiert die Lagebeurteilung sowie die Erfolgskontrolle gleichermaßen. Einerseits wird durch aktuellere und engmaschigere Messungen die Immissionslage detaillierter erfasst, was die Auswahl und Dosierung geeigneter Maßnahmen erleichtert und deren Wirksamkeit erhöht. Andererseits wird durch die Möglichkeit einer zeitnahen und flächendeckenden begleitenden Messung die Wirkung der getroffenen Maßnahmen in Höhe und zeitlichem Verlauf filigran abgebildet. Dies dient unmittelbar der Erfolgskontrolle der umgesetzten Maßnahmen und mittel-/langfristig dem Aufbau einer Wissensdatenbank, in welcher der Zusammenhang zwischen Verkehr, Wetter, Maßnahmen und Luftqualität nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ abgebildet werden kann. Im Endeffekt können damit Entscheidungen über die gebotenen Verkehrsmaßnahmen besser und schneller getroffen werden und die getroffenen Entscheidungen entfalten eine höhere Wirkung bzgl. optimierter Luftqualität (siehe auch Kapitel 03.3.3 bzgl. „lernender“ Verkehrsmanagementsysteme).

## 3. Vermeidung bzw. Begrenzung negativer Nebeneffekte durch Verkehrsverlagerung

Verkehrliche Maßnahmen wie Zuflussbeschränkung, Alternativrouten, Geschwindigkeitsbeschränkungen etc. bewirken in aller Regel nicht nur eine lokale Verbesserung der Luftqualität an der gewünschten Stelle, sondern haben auch das Potenzial an anderer Stelle die Luftqualität zu verschlechtern. Bei diesbezüglichen Entscheidungen ist eine ausgewogene Balance zwischen lokaler Entlastung und Zusatzbelastung an anderer Stelle erforderlich. Durch ein flächendeckendes Sensornetzwerk kann diese Balance hergestellt und nachgewiesen werden, weil die Gesamtwirkung der Maßnahmen vollständiger und genauer bilanziert

sowie lokale Verschiebungen von Immissions-Hotspots (z. B. durch Verlagerung von Verkehr in ein Wohngebiet) vermieden bzw. im tolerierbaren Bereich gehalten werden können.

## 4. Erhöhung der Akzeptanz und Rechtssicherheit von UVM-Maßnahmen

Eingriffe in den Verkehr, insbesondere wenn es sich um gravierende Eingriffe wie Fahrverbote handelt, bergen immer das Risiko eingeschränkter Akzeptanz in der Bevölkerung bis hin zu gerichtlichen Auseinandersetzungen. Dies gilt sowohl für Maßnahmen, die verfügt wurden, wie auch für Maßnahmen, die nicht oder nur zu einem bestimmten Grad umgesetzt wurden. In allen Fällen sind Zweifel der Angemessenheit und Wirksamkeit möglich. Mit Hilfe kontinuierlicher, zeitnaher und engmaschiger Luftqualitätsmessungen kann zweifelsfrei nachgewiesen werden, dass

- a. getroffene Maßnahmen **erforderlich** waren (bzw. dass ohne diese Maßnahmen ein gesetzlich gültiger oder politisch gewünschter Grenzwert verletzt wurde)
- b. getroffene Maßnahmen **angemessen** waren (sprich: dass die Dosierung, Dauer, räumliche Ausdehnung etc. richtig bemessen war nach dem Motto „so viel wie nötig, so wenig wie möglich“)
- c. getroffene Maßnahmen **wirksam** waren (sie also nachweislich z. B. durch Vorher-/Nachher-Vergleich, Zeitreihenanalysen etc. den gewünschten Effekt erzielt haben).

### Ausblick: Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement mit individueller Emissionsregulierung

Die fünf Prozent Fahrzeuge mit den höchsten Ausstoßwerten tragen verhältnismäßig stark zu den Umweltausmissionen des Verkehrs bei (25 bis 40%). Mit gezielten verkehrlichen Maßnahmen gegebenenfalls mit individualisierter Einflussnahme in Echtzeit können Städte neben Immissionen auch die ursächlichen Emissionsraten wesentlich senken.

Notwendig ist hierfür ergänzend zum engmaschigen Luftqualitäts-Sensornetz ein kamerabasiertes System, das Nummernschilder erkennt und aus einer Datenbank des KBA die Abgaswerte ausliest. Erkennen die Sensoren eine erhöhte Umweltbelastung und überschreitet der

Ausstoß des Fahrzeugs einen bestimmten Schwellenwert, kann dem Fahrer entweder eine erhöhte Gebühr auferlegt, eine alternative Route vorgeschlagen oder die Einfahrt in einen bestimmten städtischen Raum untersagt werden. Prädiktiv wäre auch möglich, den Fahrer vor einer Einfahrt mit seinem Fahrzeug am kommenden Tag zu warnen und den Umstieg auf ein anderes Fahrzeug oder alternative Verkehrsmittel zu empfehlen.

Dieses Szenario ergänzt das umweltsensitive Verkehrsmanagement als zusätzliche Option um eine Art individualisierte „Abgasuntersuchung“. Die operative Implementation erfordert eine datenschutz-sensitive Ausrüstung des Gesamt-Systems durch einen Data Trust Center, da personenbeziehbare Daten verarbeitet werden.

### 03.3.3 Nachhaltige Urbane Verkehrsentwicklung

#### **Kontinuierliche Optimierung des UVM (Lernendes Verkehrsmanagement)**

Während viele operative Verkehrsmanagementmaßnahmen bereits ad-hoc, anhand aktueller Daten, geschaltet werden können, öffnet ein dynamisches UVM auf Basis flächendeckender Echtzeit-Sensordaten den Weg zu einem sich stets weiter optimierenden, „lernenden“ Verkehrsmanagement. Über die Zeit beobachtete Entwicklungen der Schadstoffbelastung können zusammen mit geschalteten Verkehrsmanagementmaßnahmen angelernt werden, um hochgenaue Vorhersagen zu den Beziehungen zwischen diesen beiden abzuleiten. Hierdurch wird es möglich, zu einer gegebenen (Umwelt-)Situation eine passende Maßnahme auswählen zu können, die sowohl nachhaltig im Sinne des Klimaschutzes und der Luftreinhaltung ist als auch den Verkehr möglichst wenig einschränkt. Wichtig hierbei ist die Möglichkeit, eine längerfristige Prognose liefern und damit die Akzeptanz erhöhen zu können. Der Unterschied zum operativen, nicht angelernten Verkehrsmanagement liegt in der Langfristigkeit der Planung, die Nutzerinnen und Nutzern die Möglichkeit eröffnet, ihre Verkehrsmittel anzupassen. Auch hier erscheint es sinnvoll, ein entsprechendes System zunächst mithilfe von Simulationen zu entwickeln und zu testen.

#### **Extremwetter-Resilienz und Management von Ausnahmesituationen**

Ein hoch relevantes Einsatzfeld für angelernte Verkehrsmanagement-Systeme sind Großveranstaltungen. Auch hier können die langfristig gelernten Abhängigkeiten zwischen Maßnahmen und ihren Auswirkungen genutzt werden, um geeignete Konzepte abzuleiten.

Die langfristige Klimaprognose geht von einer Häufung von Extremwetterereignissen aus, insbesondere Hitzeperioden und Starkregen. Sogenannte Hitzeinseln sind bereits ein intensiv beforschtes Thema. Insbesondere die in das Sensornetzwerk eingebauten Temperatursensoren könnten hier einen wichtigen Beitrag zur Warnung von Verkehrsteilnehmern leisten. Im Fall des Starkregens ist es notwendig, Flächen für das Auffangen des Regenwassers bereit zu stellen, da dieses an vielen Orten aufgrund der Versiegelung nicht schnell genug abfließen bzw. versickern kann. Hierbei kann es u.U. notwendig werden, auch Straßenflächen temporär zu sperren und für das Auffangen des Regenwassers zur Verfügung zu stellen. Ein lernendes System wäre in der Lage, geeignete, d.h. wenig genutzte, Straßen bzw. Gebiete vorzuschlagen.

#### **Förderung bevorzugter Verkehrsmodi**

Insbesondere mit Blick auf die sog. aktiven Verkehrsmodi – Laufen und Radfahren – ist zu berücksichtigen, dass die Nutzer Schadstoffemissionen, Lärm und Sicherheit zunehmend in ihrer Wegplanung berücksichtigen. Bei der Wahl der Maßnahmen im Rahmen eines lernenden Verkehrsmanagementsystems muss dieser Umstand berücksichtigt werden, um den Nutzerinnen und Nutzern aktiver Modi mittel- und langfristig möglichst unbelastete Wege zur Verfügung zu stellen. Zudem kann das lernende System kontinuierlich verbesserte Empfehlungen zum Pooling und zum Bilden von Fahrgemeinschaften inkl. einer „Belohnung“ bereitstellen, um einen weiteren Beitrag zur Emissionsreduktion zu leisten.

#### **Individuelle Fahrzeugleitung für automatisiertes Fahren**

Das umweltsensitive Verkehrsmanagement kann in ferner Zukunft auch für das hoch automatisierte Fahren genutzt werden, indem die Immissionsdaten in die Fahrsysteme einfließen und die Autos automatisch umgeleitet werden.



### 03.3.4 Informationssystem Umweltqualität

Die Nutzung der im Rahmen eines flächendeckenden Luftqualitäts-Sensornetzes erhobenen Daten sollte keinesfalls auf Mobilitätsszenarien beschränkt bleiben. Vielmehr ermöglicht eine offene Bereitstellung der Luftqualitätsdaten die Realisierung eines breiten Spektrums an sektorübergreifenden Anwendungen. Die konkreten Mechanismen und Funktionalitäten einzelner Anwendungen und zugrundeliegender Geschäfts- und Vergütungsmodelle bleiben im Detail auszugestalten.

Der vorgeschlagene Ansatz „Informationssystem Umweltqualität“ weist in seinen Grundzügen die Charakteristika eines plattformbasierten digitalen „Marktplatzes“ bzw. Ökosystems rund um Umweltdaten auf:

- **Digitales Ökosystem:** Das „Informationssystem Umweltqualität“ konstituiert sich als sozio-technisches System. Es besteht aus Soft- und Hardware-Komponenten, Ökosystem-Partnern und Teilnehmern bzw. Anwendern. Partner sind Anbieter digitaler Konsumenten- und B2B-Anwendungen, aber auch beispielsweise Hersteller von Verkehrselektronik und Bereitsteller potenzieller Sensorstandorte, während als Anwender neben Endkunden auch beispielsweise Kommunen auftreten können.
- **Ökosystem-Service:** Das Ökosystem erbringt einen vollständig digitalen Service in Form von Bereitstellung, Aggregation und Vermittlung von Umweltdaten aus verschiedenen Quellen (Luftqualitätssensoren, weitere Sensordaten, Daten beteiligter Dritter), der die Zusammenarbeit der Akteure im Rahmen der verfolgten Zielsetzungen ermöglicht und Mehrwerte bzw. Nutzen für die Teilnehmer und Partner schafft.
- **Digitale Plattform:** Die technische Umsetzung des Ökosystem-Service und Anbindung aller Akteure erfolgt im Rahmen des technischen IT-Systems. Neben der Abbildung des Kerndienstes kann die digitale Plattform auch Zusatzfunktionalitäten wie Zahlungsabwicklung, Bewertungsmechanismen, Management von Zugangsrechten, Ende-zu-Ende- (E2E) Datensouveränität mit Hilfe eines Data Trust Centers (s. u.) und vieles mehr anbieten.
- **Mehrseitiger Markt:** Das „Informationssystem Umweltqualität“ ist gekennzeichnet durch mehrere Typen von Ökosystem-Partnern (Anbieter) und Teilnehmern (Anwender/Nutzer/Endkunden), die über die Plattform miteinander in direkte und indirekte Austausch- und Geschäftsbeziehungen treten. Denkbar sind beispielsweise innovative Gesundheitsdienste, die unter Aggregation von Luftqualitäts-, Wetter- und ÖPNV-Daten ihren Kunden Empfehlungen bzgl. möglichst erholsamer Reiseziele und Wanderrouten erstellen. Geschäfts- und Kooperationsmodelle können einen unentgeltlichen (z. B. Open Data, Citizen Science), gebührenbasierten, werbefinanzierten oder „Freemium“-Ansatz verfolgen.
- **(Multi-)Domänen-Ökosystem:** Das Ökosystem steht nicht für sich allein, sondern vernetzt Elemente diverser bereits bestehender oder zukünftig entstehender domänenspezifischer Ökosysteme (z. B. Personenverkehr, Logistik, Gesundheit, Meteorologie, IT-Lösungen).

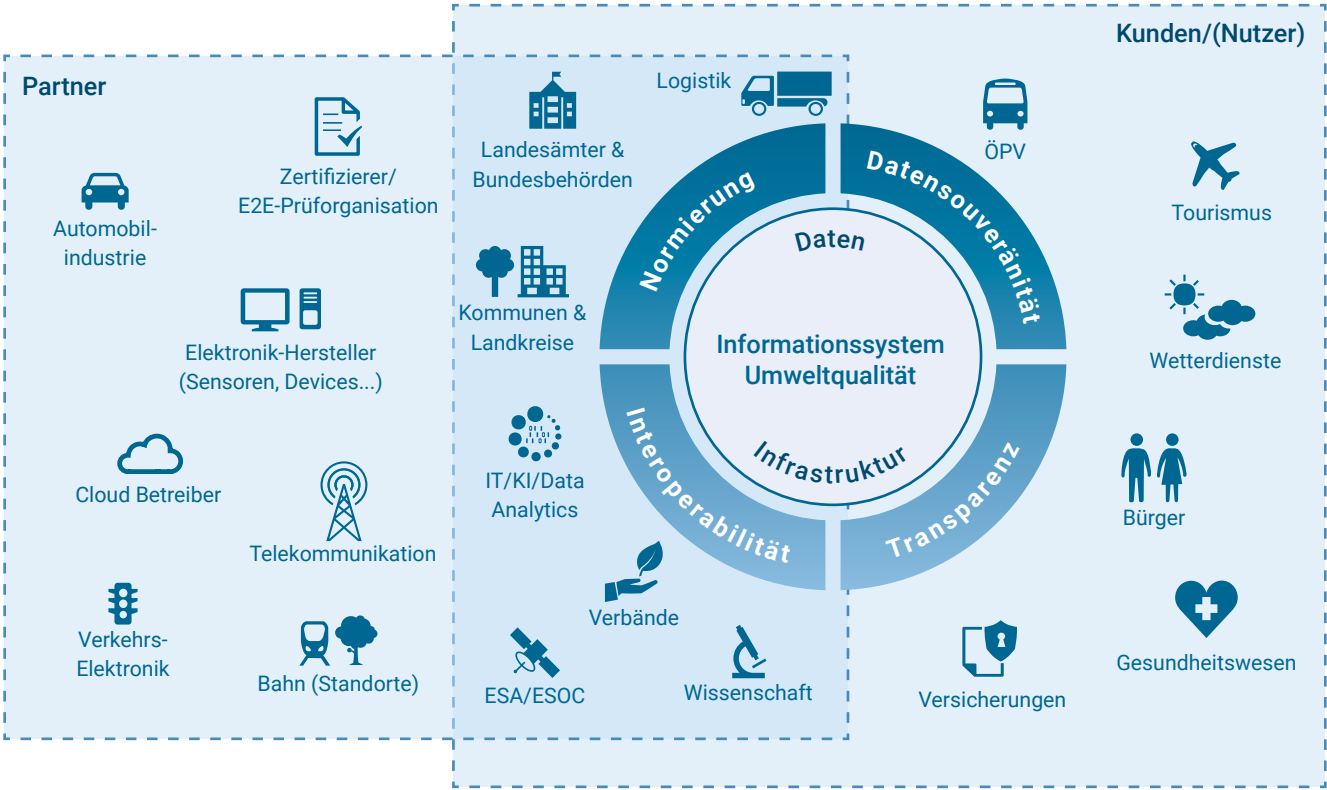


Abbildung 4: Akteure und Grundprinzipien eines Informationssystems Umweltqualität

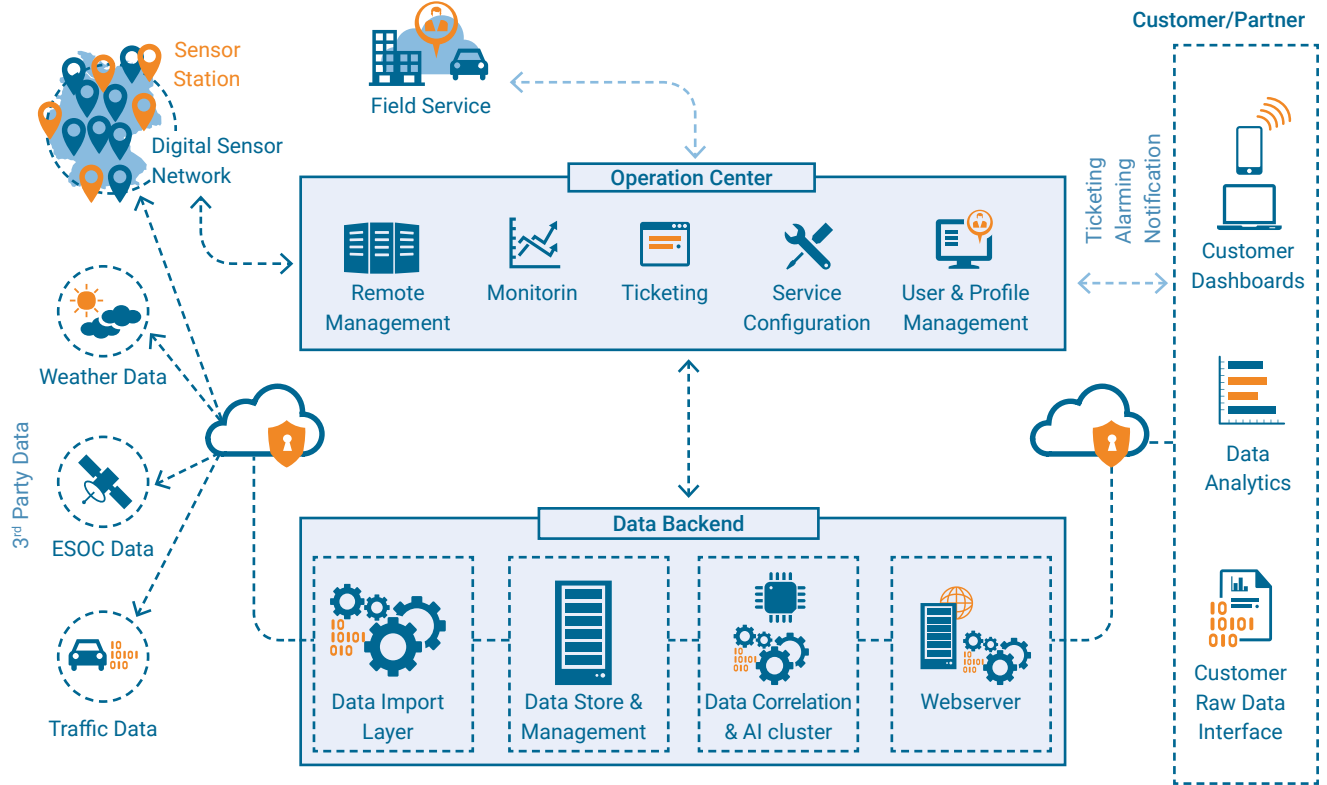


Abbildung 5: Technische Realisierung (Übersicht) eines Informationssystems Umweltqualität

Die Übersicht möglicher Akteure und der technischen Realisierung eines Informationssystems Umweltqualität lässt erahnen: Zum einen können enorm viele Stakeholder die Daten des Systems bei gegebener Interoperabilität und Providerunabhängigkeit nutzen. Zum anderen können Datenquellen hinzukommen, die über Sensormessungen sowie Verkehrs- und Wetterdaten hinausgehen, beispielsweise Mobilitätsdaten vernetzter Fahrzeuge. In dem Kontext ist obligatorisch, die Datensouveränität aller Akteure sicherzustellen. Die kontinuierliche Überprüfung der Einhaltung aller Datenschutzrechte sowie der korrekten Daten-Partizipation durch dynamisches Opt-In- und Lösch-Management übernimmt oft ein Data Trust Center. Diese Ende-zu-Ende-Überprüfung der Datenverwendung ist in modernen Multi-Stakeholder-Ökosystemen eine operative Erleichterung und gewährleistet den erforderlichen Nachweis der Compliance (ggü. Datenschutzbehörden) durch den Betreiber. Voraussetzung einer Ende-zu-Ende-Überprüfung der Datenverwendung ist zudem die eindeutige Klärung des Verwendungsanspruchs von Daten.

Ein weiterer fundamentaler Aspekt ist die Compliance

der zum Einsatz kommenden Sensorik gegenüber von neutraler Stelle festgelegten Mindeststandards. Qualitätskriterien müssen in Deutschland unter Mitwirkung von wissenschaftlichen Institutionen, Zertifizierern und Landesämtern im Rahmen der relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen (BImSchV; EU-Recht) festgelegt werden. Transparenz hinsichtlich der erhobenen Sensordaten ist zu gewährleisten im Rahmen der rechtlichen Bestimmungen des Umweltinformationsgesetzes (§ 3, 10), der Umweltinformationsrichtlinie (2003/4/EG) sowie des Open Data Act.

## 03.4 Beitrag zur Nachhaltigkeit

Der Beitrag eines Sensornetz Luftqualität zu einem qualitativen und auch quantitativ messbaren Mehr an Nachhaltigkeit ist vielfältig und nahezu selbsterklärend. Engmaschige Umweltinformationen können politische Akteure und Stadtplaner bei ihrer Arbeit unterstützen und mittelfristig zu einer verbesserten Umweltqualität „by design“ beitragen. Der Nachweis einer (verbesserten) städtischen Ökobilanz kann durch Zertifikate neutraler Prüfgesellschaften erbracht und kommuniziert werden (ökologische Nachhaltigkeit). Die Einführung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements und einer erhöhten Umweltdaten-Transparenz kann zudem die Umstellung auf eine nachhaltige und sozialumweltgerechte Stadtentwicklung

unterstützen, die sich positiv auf die Lebensqualität der Bürger auswirkt (soziale Nachhaltigkeit). Ursachengerechte Maßnahmen zur Unterstützung von Luftreinhalteplänen und Einhaltung anderer rechtlich-regulatorischer Vorgaben können dazu beitragen, kostspielige Klagen abzuwenden. Die verbesserte Umweltdaten-Informationsbasis ermöglicht es Bürgern wie Unternehmen, mittel- und langfristig tragfähige wirtschaftliche Optimierungsentscheidungen zu treffen (ökonomische Nachhaltigkeit).

Die vielfältigen Bezüge und Querverbindungen eines Sensornetz Luftqualität und eines darauf basierenden umweltsensitiven Verkehrsmanagement zu ausgewählten politischen Programmen und Strategien auf Bundes-, EU- und globaler Ebene sind in Tabelle 2 dargestellt.

Programm	Relevanter Schwerpunkt	Relevante Maßnahme/ Handlung	Bedeutung für Sensornetz
<b>Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung<sup>12</sup></b>	Stärkung der Einbeziehung gesellschaftlicher Akteure	Einrichtung einer Wissenschaftsplattform Nachhaltigkeit 2030	Schwerpunkt u. a. auf Mobilität
	Unterstützung des UN SDG3 – Gesundheit und Wohlergehen	Reduktion der Emissionen des Jahres 2005 auf 55 Prozent (ungewichtetes Mittel der fünf Schadstoffe) bis 2030	siehe UN SDGs (Luftqualität = Indikator Typ II: hoch valide, aber nicht flächendeckend verfügbar)
	Ressortforschung BMVI	Erforschung der durch Klimaeränderungen und extreme Wetterereignisse bedingten Verwundbarkeiten für den Verkehr	Anreicherung durch Sensordaten; Berücksichtigung der Ergebnisse bei Planung von Verkehrsinfrastruktur
<b>Sofortprogramm Saubere Luft des BMVI<sup>13</sup></b>	Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme	Kommunale Green-City-Pläne zur strategischen Adressierung nachhaltiger urbaner Mobilität	Monitoring der Maßnahmenwirksamkeit
	Verbesserung von Logistikkonzepten und Bündelung von Verkehrsströmen	Kommunale Klimaschutzmodellprojekte / Nationale Klimaschutzinitiative	Entlastung der Straßen und Innenstädte

<sup>12</sup> Abgerufen 16. November von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/eine-strategie-begleitet-uns/die-deutsche-nachhaltigkeitsstrategie>  
<sup>13</sup> Abgerufen 16. November 2020 von <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/sofortprogramm-saubere-luft-2017-2020.html>

<b>Digitalagenda des BMU<sup>14</sup></b>	Transparenzinitiative	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bestärkung von Kommunen bei Nutzung von Daten &amp; IKT für intelligente Verkehrssteuerung und Reduktion von Rebound-Effekten durch digitale Mobilitätsdienstleistungen</li> <li>– Mustererkennung, besseres Monitoring und öffentliche Daten für besseres Verständnis von Ökosystemen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Förderung der kommunalen Beschaffung / Nutzung von Datenquellen (Big Data) mit Verkehrsbezug als Maßnahme zur intelligenten Verkehrssteuerung</li> <li>– Potenzialstudien zum Klimaschutz durch Digitalisierung in der Verkehrssteuerung (NKI)</li> <li>– Förderung kommunaler Potenzialstudien bzgl. intelligenter Verkehrssteuerung zur THG-Minimierung durch Big Data</li> </ul>
	Digitale Innovationen für sozial-ökologischen Umbau	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Förderung des gezielten Einsatzes von KI mit Leuchttürmen für Umwelt, Klima, Natur und Ressourcen</li> <li>– Neue Instrumente der Innovationsförderung für umweltpolitische Fokussierung (Digital Innovation Hub for Climate; Plattform für sozial-ökologische Innovationen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Austausch von Best Practices und Erfahrungen im Rahmen des geplanten Wettbewerbs „Zukunft einer nachhaltigen Mobilität für Umwelt- und Klimaschutz im Verkehr“</li> </ul>
	Umweltpolitik 4.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kompetenzzentrum für Satellitenfernerkundung und Sensorik sowie ein Anwendungslabor KI und Big Data</li> <li>– Erleichterung des Zugangs zu Umweltdaten über Umwelt- und Naturschutzinformationssystem Deutschland</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ggf. Mitwirkung in Kompetenzzentrum für Sensorik &amp; Anwendungslabor für Datennutzung &amp; -analyse</li> <li>– Einbringung in Umwelt- und Naturschutzinformationssystem</li> </ul>

14 Vgl. „Umweltpolitische Digitalagenda“ Abgerufen 16. November 2020 von [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/broschuere\\_digitalagenda\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/broschuere_digitalagenda_bf.pdf)

<b>European Green Deal<sup>15</sup></b>	Mobilität: Einführung umweltfreundlicherer, kostengünstigerer und gesünderer Formen des privaten und öffentlichen Verkehrs	Null-Schadstoff-Ziel für eine schadstofffreie Umwelt	Verschärfung der Bestimmungen für Überwachung, Modellierung und Luftqualitätspläne zur Unterstützung lokaler Behörden
		Raschere Umstellung auf eine nachhaltige und intelligente Mobilität	Finanzierung intelligenter Systeme für das Verkehrsmanagement und Lösungen für „Mobilität als Dienstleistung“ (Multimodalität)
<b>Deutsche EU-Ratspräsidentschaft</b>	Stärkeres und innovativeres Europa	Einheitliche Mindestanforderungen im Bereich der IT-Sicherheit bei allen auf dem europäischen Markt erhältlichen vernetzten Geräten <sup>16</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sichere Systementwicklung</li> <li>– End2End-Zertifizierungen</li> </ul>
	Gerechtes und nachhaltiges Europa	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vorreiterfunktion bei der Luftreinhaltung<sup>17</sup></li> <li>– Beschleunigung der Dekarbonisierung in Raumfahrt, Luftfahrt &amp; Autoindustrie<sup>18</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flächendeckende Echtzeit-Luftqualitätstransparenz</li> <li>– Nachhaltige urbane Verkehrsentwicklung</li> </ul>
<b>UN Sustainable Development Goals / Indikatoren für Kommunen<sup>19</sup></b>	Nr. 3 Gesundheit und Wohlergehen	Reduktion von Emissionen von Luftschadstoffen (Schwefeldioxid, Stickoxide, Ammoniak, flüchtige organische Verbindungen und Feinstaub)	Hohe Validität des Indikators „Luftqualität“, allerdings liegen derzeit keine flächendeckenden Daten auf kommunaler Ebene für ein wirksames Monitoring vor (Typ II)
	Nr. 11 Nachhaltige Städte und Gemeinden		
	Nr. 13 Maßnahmen zum Klimaschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes des Verkehrs</li> <li>– Etablierung kommunaler Klimakonzepte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beeinflussbar via UVM (Mitigation; Verkehrsmodi-Verlagerung)</li> <li>– Umweltdaten-Transparenz als Grundlage eines Klimamonitoring</li> </ul>

Tabelle 2: Zusammenhang zwischen dem Sensornetz Luftqualität und ausgewählten politischen Programmen (Auszüge)

15 Vgl. „Der europäische Grüne Deal“; [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC\\_2&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_2&format=PDF) (abgerufen am 16. 11.2020)

16 Vgl. [https://www.bsi.bund.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Presse2020/EU-Ratspraesidentschaft\\_010720.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Presse2020/EU-Ratspraesidentschaft_010720.html) (abgerufen am 16.11.2020)

17 Vgl. <https://www.bvmw.de/themen/logistik-und-mobilitaet/unsere-forderungen/> (abgerufen am 16. 11.2020)

18 Vgl. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/europa/eu-klimaschutz-faq-1791324> (abgerufen am 16. 11.2020)

19 Vgl. [https://sdg-portal.de/de?etcc\\_med=SEA&etcc\\_par=Google&etcc\\_cmp=SDG-Portal-De&etcc\\_grp=78355719577&etcc\\_bky=sdg%20portal&etcc\\_mty=e&etcc\\_plc=&etcc\\_ctv=390885949813&etcc\\_bde=c&etcc\\_var=EAlaIQobChMI7enXm7iH7QIVGoiVCh1xPgV5EAAyASAAEgL2TfD\\_BwE&gclid=EAlaIQobChMI7enXm7iH7QIVGoiVCh1xPgV5EAAyASAAEgL2TfD\\_BwE](https://sdg-portal.de/de?etcc_med=SEA&etcc_par=Google&etcc_cmp=SDG-Portal-De&etcc_grp=78355719577&etcc_bky=sdg%20portal&etcc_mty=e&etcc_plc=&etcc_ctv=390885949813&etcc_bde=c&etcc_var=EAlaIQobChMI7enXm7iH7QIVGoiVCh1xPgV5EAAyASAAEgL2TfD_BwE&gclid=EAlaIQobChMI7enXm7iH7QIVGoiVCh1xPgV5EAAyASAAEgL2TfD_BwE) (abgerufen am 16. 11.2020)

## 04

## Handlungsbedarfe und Ausblick

Das Projekt „Sensornetzwerk Luftqualität“ der Plattform „Digitale Netze und Mobilität“ sollte als Chance verstanden und genutzt werden, im Sinne maßgeblicher Zielsetzungen einer wirksamen Nachhaltigkeitspolitik die infrastrukturellen Grundlagen für ein umweltsensitives Verkehrsmanagement zu schaffen.

Auf Grundlage einer dringend erforderlichen flächendeckenden Echtzeitverfügbarkeit von Luft- und Umweltdaten kann neben einem dynamischen umweltsensitiven Verkehrsmanagement mittelfristig eine nachhaltige urbane Verkehrsplanung realisiert werden. Perspektivisch ist die Schaffung eines sektorübergreifenden digitalen Umweltdaten-Ökosystems mit zahlreichen Anwendungspotenzialen möglich. Dabei sollte auf bestehenden ersten Implementierungserfahrungen aufgebaut (z. B. Projekt „Sensor Station“ im Rahmen der Digitalstadt Darmstadt) und im nächsten Schritt ein erweiterter technischer Pilot realisiert werden. Die Plattform „Digitale Netze und Mobilität“ erarbeitet vor diesem Hintergrund ein Anforderungs- und Umsetzungskonzept als Initialzündung eines zukünftigen, breit aufgestellten Multi-Stakeholder-Realisierungsansatzes.

Für die zeitnahe Realisierung eines solchen Netzwerks empfiehlt die Plattform „Digitale Netze und Mobilität“ einen koordinierten Angang auf Bundesebene und eine Klärung der Zuständigkeiten mit Blick auf Luftqualitätsmessung, Umweltdatenbereitstellung und nachhaltigem Verkehrsmanagement über die verschiedenen föderalen Ebenen hinweg. Digitale Nachhaltigkeitsinfrastrukturen wie ein Sensornetz Luftqualität für ein umweltsensitives Verkehrsmanagement oder beispielsweise auch die Elektromobilität-Ladeinfrastruktur stiften ihren Nutzen meist

direkt vor Ort in den Kommunen. Hier muss ein Bewusstsein für die Möglichkeiten und Vorteile solcher neuartiger digitaler Infrastrukturleistungen geschaffen werden. Für ein synchrones und abgestimmtes Ausrollen in der Fläche bedarf es darüber hinaus einer flankierenden Unterstützung (einschl. Förderung) und Koordinierung auf Länder- und Bundesebene.

Mit Blick auf die Nutzung relevanter externer Datenquellen ist dafür Sorge zu tragen, dass gemäß der Datenstrategie der Bundesregierung Daten für eine möglichst umfassende, vertrauensvolle und sichere Nutzung über die primären Anwendungsmöglichkeiten hinaus ressortübergreifend zur Verfügung stehen, und so auch einen Beitrag zur Verkehrssteuerung leisten können. Zu diesem Zweck müssen neu entstehende digitale Mobilitätsinfrastrukturen in der Lage sein, weitere digitale Plattformen und Informationsquellen agil und bedarfsgerecht zu integrieren bzw. zu vernetzen. Ähnliches gilt für die Gesamtmenge der digitalen Nachhaltigkeitsinfrastrukturen: Sie erfassen orts-, zeit- und umweltbezogene Daten kontinuierlich, die möglichst vielfältig, transparent und sicher genutzt werden können sollten.

Wichtige Grundvoraussetzung eines Sensornetzwerks ist die Erfüllung von Sicherheits- und Verlässlichkeitsanforderungen auf allen Ebenen. Hervorgehoben zu nennen sind darunter die qualitative Integrität und Vergleichbarkeit der sensorbasierten Messung (sicherzustellen durch geeignete Prüfrichtlinien), die Sicherheit der Datenübertragung und -nutzung sowie der umfassende Schutz personenbezogener und personenbezogener Daten durch Ende-zu-Ende-Zertifizierungen.

05

## Mitwirkende

### Gerd Buziek

Esri Deutschland GmbH

### Martin Bäumler

Deutsche Telekom AG

### Holger Ebling

Deutsche Telekom AG

### Daniel Gille

T-Systems International GmbH

### Joachim Klink

T-Systems International GmbH

### Tobias Knoben

TÜV Rheinland InterTraffic GmbH

### Gabriele Kotulla-Münster

Deutsche Telekom IoT GmbH

### Daniel Krajzewicz

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.

### Eric Lindzus

Robert Bosch GmbH

### Jens Mühlner

T-Systems International GmbH

### Leonard Rexhepi

Deutsche Telekom IoT GmbH

### Peter Saiger-Bonnas

Esri Deutschland GmbH

### Franziska Weiser

TÜV Rheinland InterTraffic GmbH

### Peter Wilbring

TÜV Rheinland Energy GmbH





# Digital Gipfel



Impressum/Herausgeber:

Digital-Gipfel  
Plattform „Digitale Netze und Mobilität“  
November 2020

Alle Dokumente, aber auch Erklärfilme, Interviews und Videos der Plattform 1 „Digitale Netze und Mobilität“ sowie Hintergrundinformationen sind auf der Website der Plattform zur Verfügung gestellt.

[www.plattform-digitale-netze.de](http://www.plattform-digitale-netze.de)