

Schlussbericht

Evaluation der Wirksamkeit des Umweltorientierten Verkehrsmanagements der Stadt Erfurt (UVE)

Auftraggeber:

Abteilung Verkehr
Tiefbau- und Verkehrsamt
Stadtverwaltung
Landeshauptstadt Erfurt
99111 Erfurt

Auftragnehmer:

Bauhaus-Universität Weimar
Professur Verkehrssystemplanung
Marienstraße 13D
99423 Weimar

Fachliche Bearbeitung:

Marco Fedior

Weimar, 18.10.2023

Inhalt

1	Anlass und Vorgehen der Bearbeitung.....	1
2	Umweltorientiertes Verkehrsmanagement	2
2.1	Grundlagen Umweltorientiertes Verkehrsmanagement	2
2.2	UVM Konzept Erfurt.....	3
2.3	UVE Konzept Erfurt im Vergleich mit Grundlagen UVM	3
3	Kontrolle Systemaufbau UVE.....	4
3.1	Gesamtansatz UVE	4
3.2	Prüfung Einzelsysteme	5
3.2.1	Managementebene.....	7
3.3	Prüfung Zusammenarbeit im Verbund	12
3.4	Prüfung Umsetzung UVE-Maßnahmen.....	14
3.5	Zwischenfazit	15
4	Wirkungskontrolle UVE.....	16
4.1	Anwendung UVE-Strategiemanagement	16
4.2	Prüfung Wirksamkeit UVE.....	17
4.2.1	Verkehr.....	17
4.2.2	Umwelt.....	24
4.2.3	UVE Umweltwirkungen im Verbund	26
4.3	UVE im Städtevergleich.....	27
4.3.1	Verband Region Stuttgart	27
4.3.2	Darmstadt	28
4.3.3	Halle an der Saale.....	29
4.3.4	Heilbronn	30
4.3.5	Vergleichende Diskussion	31
5	AQMesh: mobile Luftqualitätssensoren im UVE	33
5.1	Luftqualitätsmessungen mit AQMesh	33
5.1.1	Kalibrierung und Validierung AQMesh	33
5.1.2	Vergleich AQMesh und Umweltmonitoringsystem Prokas ^{Online}	34
6	Fazit und Ausblick	35
6.1	Ergebnisse	35
6.2	Fazit.....	36
6.3	Ausblick	36
	Literatur.....	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systembestandteile Verkehrsmanagementplattform Erfurt (VMP).....	4
Tabelle 2: Übersicht Kontrolle physische und digitale Infrastruktur UVE	6

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Technische Bestandteile eines UVM [nach (FGSV, 2014)]	2
Abbildung 2: Systemarchitektur des UVE (pwp-systems GmbH, 2021b)	5
Abbildung 3: aktualisiertes Verkehrsmodell Erfurt, PTV VISUM – Gesamtnetz. Hervorgehoben Schnellstraßenring (grau), Hauptverkehrsstraßennetz (rot), klassifizierte Straßen im Umfeld der LH Erfurt (orange). (pwp systems GmbH, 2019)	8
Abbildung 4: PTV OPTIMA Erfurt - Verkehrslage mit Zählstellen und Baustellen. (pwp systems GmbH, 2019)	9
Abbildung 5: PROKAS ^{online} - Netzabgrenzung / MISKAM Rechengebiete. (pwp-systems GmbH, 2019)	10
Abbildung 6: pwpTMPlatform – Verkehrs- und Umweltdaten. (pwp systems GmbH, 2019)	12
Abbildung 7: Häufigkeit Aktivierung UVE - 2022 nach Jahreszeit	13
Abbildung 8: Häufigkeit Aktivierung UVE - 2022 nach Tageszeit	13
Abbildung 9: Aktivierung UVE von 2017 bis 2022 - Gesamtzeit pro Jahr	16
Abbildung 10: Pilotvorhaben Leipziger Straße	18
Abbildung 11: Langfristige Verkehrsentwicklung QS 4 Leipziger Straße Zufahrt Nordost	19
Abbildung 12: Übersichtskarte Verkehrsversuch Clara-Zetkin-Straße (Untersuchungsgebiet) [LH Erfurt]	20
Abbildung 13: Langfristige Verkehrsentwicklung QS 3 Magdeburger Allee Richtung Norden	21
Abbildung 14: untersuchte Verkehrsdetektoren und Luftmessstationen zur Verkehrsanalyse Stadtring	22
Abbildung 15: Trend normierter Verkehrsstärken [Zfg./h] im Bereich von Luftmessstationen 2017 - 2022 ..	23
Abbildung 16: Jahresmittelwerte NO ₂ an Luftmessstationen TLUBN	24
Abbildung 17: Jahresmittelwerte PM ₁₀ an Luftmessstationen TLUBN	25
Abbildung 18: Anzahl Tage Grenzwertüberschreitungen PM ₁₀ (50 µg/m ³) an Luftmessstationen TLUBN	26
Abbildung 19: Neuzulassungen von PKW in Thüringen von 2017 bis 2022 nach Kraftstoffart (Thüringer Landesamt für Statistik)	27
Abbildung 20: Immissionen Feinstaub und Stickstoffdioxid an offiziellen Luftmessstationen Darmstadt [nach HLNUG 2023]	29
Abbildung 21: Immissionen Feinstaub und Stickstoffdioxid an offiziellen Luftmessstationen, Halle an der Saale [nach LÜSA 2023]	30
Abbildung 22: Immissionen Stickstoffdioxid an offiziellen Luftmessstationen Heilbronn [nach LUBW 2023]	31
Abbildung 23: Entwicklung Immissionen Feinstaub (PM _{2,5}) Deutschland, Jahresmittelwerte 2010 bis 2022 [UBA 2023]	36
Abbildung 24: Immissionen Feinstaub (PM _{2,5}) Jahresmittel an offiziellen Luftmessstationen TLUBN in Erfurt 2007 bis 2021	37

Abkürzungsverzeichnis

BIS	Baustelleninformationssystem
BUW	Bauhaus-Universität weimar
DWD	Deutscher Wetterdienst
FCD	Floating-Car-Data
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
LSA	Lichtsignalanlage
MDM	Mobilitätsdatenmarktplatz
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MQS	Messquerschnitt
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
P+R	Park and Ride
PLS	Parkleitsystem
SWE EVAG	Erfurter Verkehrsbetriebe AG
TLUBN	Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz
UVE	Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Erfurt
UVM	Umweltorientiertes Verkehrsmanagement
VMP	Verkehrsmanagement Plattform Erfurt

1 Anlass und Vorgehen der Bearbeitung

Auf Grund der Anforderungen der EU-Gesetzgebung (EG-Luftqualitätsrahmenrichtlinie und Tochterrichtlinien, EG-Umgebungs-lärmrichtlinie, Bundes-Immissionsschutzgesetz und –Verordnung) müssen zur Einhaltung der Grenzwerte für Luftschadstoffe (insbesondere Feinstaub und Stickoxide) dauerhaft wirkungsvolle, insbesondere verkehrliche, Maßnahmen in die Luftreinhalte- und Aktionspläne der betroffenen Kommunen aufgenommen und umgesetzt werden.

In der Landeshauptstadt Erfurt ist im Rahmen zweier Pilotvorhaben ein umweltorientiertes Verkehrsmanagement (UVE) entwickelt und erprobt worden. Es konnte der Nachweis erbracht werden, dass dieses innovative Konzept ideal für die Stadt Erfurt und vergleichbare Städte ist. Das Konzept ist mit Förderung durch das Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (TMUEN) auf das Stadtgebiet erweitert und in den Regelbetrieb überführt worden. Zur Umsetzung wurden UVM-Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrsflusses, Verkehrsverlagerung und –Lenkung auf das gesamte Hauptstraßennetz der Stadt Erfurt übertragen.

Die Professur Verkehrssystemplanung der Bauhaus-Universität Weimar gestaltete das Vorhaben UVE von Beginn an mit. Sie erstellte zur Realisierung des UVE im Auftrag des Freistaates Thüringen eine Machbarkeitsstudie, plante und setzte die beiden Pilotvorhaben im Bereich Talstraße/ Bergstraße und Leipziger Straße um und entwickelte ein Monitoring-Konzept für das gesamtstädtische UVE. Auf den Ergebnissen dieser Arbeiten hat die Stadtverwaltung Erfurt in Zusammenarbeit mit der pwp systems GmbH das „Gesamtkonzept Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Erfurt (UVE) Gesamtkonzept“ (Erfurt, 2015) erarbeitet, das als Grundlage eines Fördermittelantrags beim TMUEN und als Vorlage zur Umsetzung des Gesamtsystems genutzt wurde.

Die Bauhaus-Universität Weimar ist beauftragt worden, zum Stand der Finalisierung dieser Arbeiten (Dezember 2022) das Gesamtsystem zu evaluieren. Nach dem die Pilotvorhaben nachweislich zur Emissionsreduktion beigetragen hatten, ist in diesem Vorhaben das gesamtstädtische UVE wissenschaftlich auf die Wirksamkeit auf Verkehr und Umwelt untersucht worden. Dazu wurde die Systemarchitektur des Umweltorientierten Verkehrsmanagements der Stadt Erfurt (UVE) auf Vollständigkeit und Funktionsfähigkeit geprüft. Es wurden folgende Leistungen erbracht:

- Vor Ort Kontrolle aller Teile der physischen und digitalen Infrastruktur des UVE.
- Prüfung ihrer Zusammenarbeit im Verbund.
- Überprüfung, ob die UVE-Maßnahmen entsprechend den Strategien zur kontinuierlichen umweltsensitiven Verkehrssteuerung umgesetzt werden.
- Prüfung der Wirksamkeit des UVE durch Bewertung der Auswirkungen auf Verkehr und Umwelt.

Schwerpunkt der Untersuchung waren die Auswirkungen der umweltsensitiven Verkehrssteuerung auf die relevanten Messgrößen Verkehrsstärke, Reisezeit, Treibhausgas (CO₂, O₃) - und Schadstoffimmissionen (NO_x, PM₁₀) im Hauptstraßennetz der Stadt Erfurt.

Die Landeshauptstadt Erfurt hat ferner im Rahmen des UVE fünf mobile Luftmesssysteme AQMesh der Firma Environmental Instruments Ltd. erworben, die im Stadtgebiet an verschiedenen Stellen zum Einsatz gebracht werden. Die Bauhaus-Universität Weimar hat die Wartung der Messsysteme übernommen und führt sie in den Laboren der Bauhaus-Universität Weimar durch. Entgegen dem ursprünglichen Zeitplan werden diese Leitungen bis zum Jahr 2025 übernommen. Somit ergibt sich die Möglichkeit, die Ergebnisse der mobilen und der stationären Detektion mit der seit Ende 2022 vollständig implementierten Immissionsmodellierung des Erfurter Hauptstraßennetzes in Bezug zu setzen.

2 Umweltorientiertes Verkehrsmanagement

In diesem Kapitel werden die allgemeinen Grundlagen, Funktionen und Ziele eines umweltorientierten Verkehrsmanagements (UVM) definiert. Dann wird das Konzept UVM Stadt Erfurt (UVE) skizziert und mit den allgemeinen Vorgaben verglichen. Das **Konzept** des umweltorientierten Verkehrsmanagements Erfurt (UVE) **erfüllt** mit seinen Grundlagen die **Voraussetzungen** für ein **vollständiges und weitgehend automatisiertes UVM**.

2.1 Grundlagen Umweltorientiertes Verkehrsmanagement

Die Überprüfung der Vollständigkeit, Funktionsfähigkeit und Wirkung des UVE orientiert sich an den Vorgaben des Fördermittelgebers für das UVE-Konzept. Das UVE Konzept hat die Stadt Erfurt im Bericht „Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Erfurt (UVE) Gesamtkonzept - Fortschreibung 2015“ (Erfurt, 2015) formuliert. Zusätzlich orientiert sich die Prüfung am Stand der Technik und Wissenschaft. Nach „Wirkungen zur Umweltentlastung (FGSV (2014))“ muss ein Umweltorientiertes Verkehrsmanagement folgende Aufgaben erfüllen:

- Erfassung und Darstellung der aktuellen Umweltsituation
- Prognose der zu erwartenden Umweltsituation
- Wirkungskontrolle, d.h. Überwachung der Auswirkungen der Managementmaßnahmen
- Datenarchivierung zur Evaluierung und als Datengrundlage für die Planung

Ein vollständiges und weitgehend automatisiertes Umweltorientiertes Verkehrsmanagement besteht aus den in Abbildung 1 dargestellten technischen Bestandteilen.

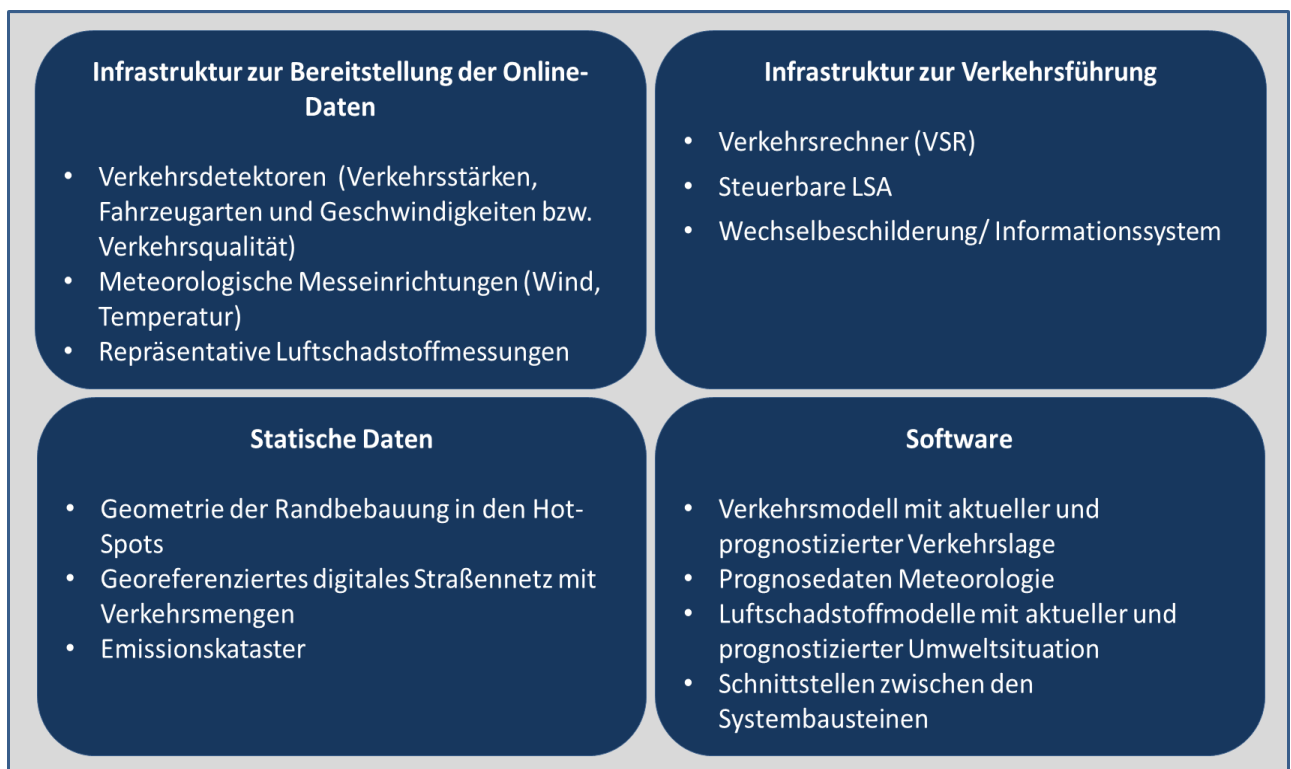


Abbildung 1: Technische Bestandteile eines UVM [nach (FGSV, 2014)]

2.2 UVM Konzept Erfurt

Zieldefinition

Ziel des Umweltorientierten Verkehrsmanagements Erfurt (UVE) ist die verstärkte Integration von Verkehrs- und Umweltmanagementmaßnahmen, um die verkehrsbedingten Emissionen zu reduzieren. Dadurch soll die gesamte Immissionsbelastung durch Kohlenstoffdioxid (CO₂), Stickstoffdioxid (NO₂) sowie Feinstaub (PM₁₀) verringert werden. Ein Schwerpunkt des UVE liegt beim Monitoring, der automatisierten Überwachung der Verkehrs- und Umweltsituation als Grundlage zur automatisierten Aktivierung und Deaktivierung von umweltorientierten Verkehrsmanagementmaßnahmen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf Maßnahmen der Verkehrslenkung, diese sollen zur Reduzierung von Staugefahr beitragen und, bei kritischer Umweltsituation, den Kraftfahrzeugverkehr an umweltsensiblen Bereichen vorbeilenken. Das Gesamtprojekt UVE wurde zu 80 % im Rahmen der EFRE-Förderperiode 2014 bis 2020 durch die Europäische Union mitfinanziert, das Gesamtvolumen lag bei fast 5 Mio. Euro. Ziel des UVE war auch, über Aspekte der Verkehrssteuerung hinaus zur Verbesserung der Gesundheit durch eine erhöhte Luftqualität beizutragen.

Funktion

Für das Monitoring sollten die erhobenen Umwelt- und Verkehrsdaten über Modellrechnungen verknüpft werden um Rückschlüsse auf Situationen in Bereichen weniger oder keiner Sensorik ziehen. Simultan sollte der Verkehr auf Grundlage dieser Daten gelenkt werden. Bei kritischen Zuständen, beispielsweise Grenzwertüberschreitungen von Luftschadstoffen, sollen an signalisierten Knotenpunkten in strategischer Lage (beispielsweise Einfallsradien oder in der Nähe von Park-and-Ride-Plätzen) sogenannte „Zuflussdosierungen“ eingeleitet werden können. Diese reduzieren die Grünzeiten für in Richtung Innenstadt fahrende Fahrzeuge. Detektoren sollen die Rückstauentwicklung überwachen und gegebenenfalls mit Änderungen reagieren können. Erhöhte Verkehrsaufkommen sollen durch Anzeigen von Alternativrouten auf P+R-Plätze abgeleitet werden. Ob die Maßnahmen aktiviert werden, soll ein kontinuierlicher Abgleich der verkehrlichen und umweltseitigen Kenngrößen entscheiden. Schwellwerte, deren Über- bzw. Unterschreitung die Maßnahmen einschaltet oder zurücknimmt, sollen definiert werden.

Umsetzung

Wie das UVE realisiert werden sollte ist im Bericht der Stadt Erfurt in Zusammenarbeit mit der pwp systems GmbH „Gesamtkonzept Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Erfurt (UVE)“ (Erfurt, 2015) beschrieben. Die Kontrolle des Systemaufbaus (Kapitel 3) vergleicht die im Bericht der Stadt Erfurt geplante Umsetzung mit der tatsächlichen Realisierung und prüft, ob alle physischen und digitalen Bestandteile vollständig und funktionsfähig sind, ob sie im Verbund funktionieren und ob die Verkehrs- und Umweltmanagementmaßnahmen umgesetzt wurden.

2.3 UVE Konzept Erfurt im Vergleich mit Grundlagen UVM

In Abgleich mit den Vorgaben für ein Umweltorientiertes Verkehrsmanagement (FGSV, 2014) **erfüllt** das UVE Erfurt die **generellen Grundlagen** und Voraussetzungen für ein vollständiges und weitgehend automatisiertes UVM. Mit dem kontinuierlichen Monitoring werden automatisiert die aktuellen Verkehrs- und Umweltsituationen erfasst und dargestellt. Da die über Modellrechnungen verknüpften Umwelt- und Verkehrsdaten mit entsprechenden Prognosetools für Verkehr- und umweltseitige Parameter ergänzt werden (siehe Kapitel 3: PTV-Optima, Lohmeyer Prokas^{online}) können Prognosen der zu erwartenden Umweltsituation berechnet werden. Das kontinuierliche Monitoring schafft mit seiner Datenerhebung und Speicherung die Grundlagen zur Überwachung der Auswirkungen von Managementmaßnahmen, deren Evaluierung und Nutzung als Datengrundlage zur künftigen Planung.

3 Kontrolle Systemaufbau UVE

Die Kontrolle des Systemaufbaus erfolgte durch Prüfung der physischen und digitalen Infrastruktur des UVE auf Vollständigkeit und Funktionsfähigkeit gemäß ihrer Definition im Bericht „Gesamtkonzept UVE 2015“ (Erfurt, 2015) der Landeshauptstadt Erfurt. Der Systemaufbau ist zum Prüfzeitpunkt Dezember 2022 **vollständig** und **funktionsfähig**.

Die Prüfung der Zusammenarbeit im Verbund erfolgte durch Kontrolle der Anbindung aller Schnittstellen zum zentralen Daten- und Strategiemanagementsystem und durch Kontrolle der Häufigkeit der Aktivierung bei Grenzwertüberschreitungen. Die Schnittstellen sind alle aufgebaut und funktionsfähig, die Aktivierung erfolgte entsprechend der Grenzwertüberschreitungen am häufigsten in den Wintermonaten und in den morgigen- und abendlichen Spitzenstunden. Die Zusammenarbeit im Verbund ist **vollständig** und **funktionsfähig**.

3.1 Gesamtansatz UVE

Der Projektdokumentation zufolge „Lieferung, Installation und Inbetriebnahme eines Umweltmonitoringsystems in der Landeshauptstadt Erfurt“ pwp-systems GmbH (2019) wurde das UVE als Systemverbund mit drei Steuerungsebenen aufgebaut

- Leit- und Informationsebene
- Managementebene
- Feldebene

Das zentrale Steuerungssystem des UVE bildet die Verkehrsmanagementplattform Erfurt (VMP) mit vier Teilsystemen, mit Produktbezeichnung und Hersteller in Tabelle 1 gelistet.

Tabelle 1: Systembestandteile Verkehrsmanagementplattform Erfurt (VMP)

Teilsystem	Produkt	Hersteller
<i>Verkehrsrechner</i>	Sittraffic Scala	Yunex GmbH (vormals Siemens Mobility GmbH)
<i>Daten- und Strategiemanagementsystem</i>	pwpTMPlatform	pwp systems GmbH
<i>Verkehrslagesystem</i>	PTV Optima	PTV Planung Transport Verkehr GmbH
<i>Umweltmonitoringsystem</i>	PROKAS ^{ONLINE}	Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG

Die VMP ist über Schnittstellen zwischen den Systembausteinen, zur Infrastruktur der Online-Daten, zur Infrastruktur der Verkehrsführung und zu statischen Daten des städtischen Straßenlayouts verknüpft.

Abbildung 2 zeigt die gesamte Systemarchitektur des UVE mit der Verkehrsmanagementplattform Erfurt als zentrales Element.

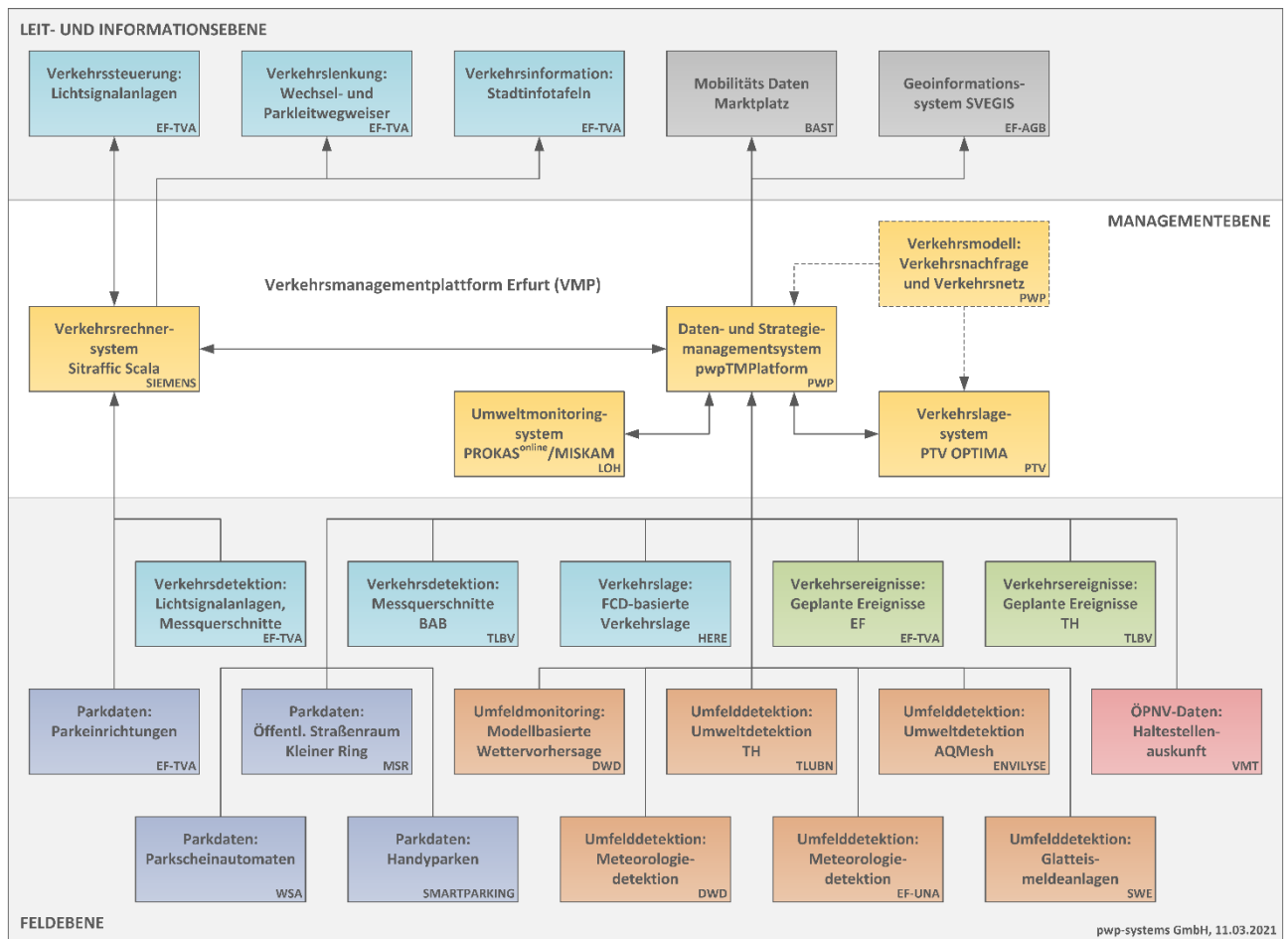


Abbildung 2: Systemarchitektur des UVE (pwp-systems GmbH, 2021b)

Im Abgleich mit den Vorgaben für ein Umweltorientiertes Verkehrsmanagement (Abbildung 1) **erfüllt** das UVE Erfurt die **generellen Anforderungen** an ein Umweltorientiertes Verkehrsmanagement.

3.2 Prüfung Einzelsysteme

Im weiteren Verlauf erfolgt die Einzelkontrolle aller Teile der physischen und digitalen Infrastruktur des UVE. Die Umsetzung des Aufbaus wurde von der pwp-systems GmbH durchgeführt. Die Prüfung erfolgte durch

- Sichtung der Umsetzungsdokumentationen:
 - *Projektdokumentation. Lieferung, Installation und Inbetriebnahme eines Umweltmonitoringsystems in der Landeshauptstadt Erfurt* (pwp-systems GmbH, 2019)
 - *Dokumentation. Verkehrsmanagementplattform Erfurt. Strategiemangement* (pwp-systems GmbH, 2021a)
 - *Systemarchitektur der Verkehrsmanagementplattform Erfurt* (pwp-systems GmbH, 2021b)
- Interview mit der pwp-systems GmbH (pwp-systems GmbH, 19. Dezember 2022)
- Vor Ort Kontrolle der physischen und digitalen Infrastruktur.

Tabelle 2 fasst die Einzelkontrolle der physischen und digitalen Infrastruktur zusammen. Darauf folgt die Prüfung der Managementebene. In *Anhang I: Physische und Digitale Infrastruktur UVE* ist die Kontrolle der Teilsysteme aller Ebenen gelistet.

Tabelle 2: Übersicht Kontrolle physische und digitale Infrastruktur UVE

Gesamtaufbau	Teilsysteme	vollständig	funktionsfähig
<i>Leit- und Informationsebene</i>	Verkehrssteuerung:	Ja	ja
	Lichtsignalanlagen		
	Verkehrslenkung:	Ja	ja
	Wechsel- und Parkleitwegweise		
	Verkehrsinformation: Stadtinfotafeln	Ja	ja
	Mobilitätsdatenmarktplatz	Ja	ja
	Geoinformationssystem SVEGIS	Ja	ja
<i>Managementebene</i>	Verkehrsrechnersystem Sitraffic Scala	Ja	ja
	Verkehrsmodell	Ja	ja
	Verkehrslagesystem PTV Optima	Ja	ja
	Umweltmonitoringsystem prokas online	Ja	ja
	Daten- und Strategiemangementsystem pwpTMPlatform	Ja	ja
<i>Feldebene</i>	Verkehrsdetektion:	Ja	ja
	Lichtsignalanlagen, Messquerschnitte		
	Verkehrsdetektion: Messquerschnitte BAB	Ja	ja
	Verkehrslage: FCD-basierte Verkehrslage	Ja	ja
	Parkdaten: Parkeinrichtungen	Ja	ja
	Parkdaten:	Ja	ja
	Öffentl. Straßenraum Kleiner Ring		
	Parkdaten: Parkscheinautomaten	Ja	ja
	Parkdaten: Handyparken	Ja	ja
	Verkehrereignisse: geplante Ereignisse EF	Ja	ja

	Verkehrereignisse: geplante Ereignisse TH	Ja	ja
	Umfeldmonitoring: Modellbasierte Wettervorhersage DWD	Ja	ja
	Umfelddetektion: Umweltdetektion TLUBN	Ja	ja
	Umfelddetektion: Umweltdetektion AQMesh	Ja	ja
	Umfelddetektion: Meteorologiedetektion DWD	Ja	ja
	Umfelddetektion: Meteorologiedetektion EF-UNA	Ja	ja
	Umfelddetektion: Glatteismeldedaten SWE	Ja	ja
	ÖPNV-Daten: Haltestellenauskunft	Ja	ja

3.2.1 Managementebene

Verkehrsrechnersystem Sitraffic Scala

Der bestehende Verkehrsrechner Sitraffic Scala der Yunex GmbH wurde in die im Rahmen des UVE neu aufgebaute Verkehrsmanagementplattform integriert. Die Anbindung aller im UVE neu aufgebauten Datenquellen erfolgte über die Schnittstelle zum Datenmanagementsystem pwpTMPlatform. Ebenso werden die bereits im Verkehrsrechnersystem integrierten Verkehrsdaten per Schnittstelle an die pwpTMPlatform weitergegeben. Der Verkehrsrechner wird auch genutzt, um über die bestehende Schnittstelle zur Leit- und Informationsebene die Managementmaßnahmen des UVE umzusetzen. Die Anbindung zusätzlicher Detektionsquellen für Verkehr- und Umweltdaten erfolgte durch Zusammenführung der Detektion über einen Datenkonzentrator und Weitergabe an den Verkehrsrechner. Physisch ist der Verkehrsrechner in den Räumen des Tiefbau- und Verkehrsamtes (TVA)/ Abteilung Verkehr in der Johannesstraße 173 in Erfurt verortet. Das Verkehrsrechnersystem Sitraffic Scala ist nach Prüfung **vollständig** und **funktionsfähig** in das UVE integriert worden.

Verkehrsmodell (Verkehrsnachfrage und Verkehrsnetz)

Das Verkehrsmodell der Stadt Erfurt (PTV VISUM) besteht bereits vor Aufbau des UVE. Es wurde aktualisiert und über Schnittstellen an das Daten- und Strategiemanagementsystem und an das Verkehrslagesystem angebunden und ist Teil der VMP. Neben der Versorgungsgrundlage der VMP dient es der Georeferenzierung sämtlicher Verkehrsdaten und Daten aus Drittsystemen. Es wird im Verkehrslagesystem (PTV Optima) zur Berechnung der Verkehrslageanalyse und Verkehrsprognose eingesetzt. Es stellt wichtige Anforderungen zur Funktion des UVE bereit. Das nach Streckentypen klassifizierte Verkehrsnetz, die Verortung aller Verkehrsdetektoren, korrekte Abbildung der Stausituation, Verkehrsnachfrage nach Fahrzeugklassen und Tageszeiten.

Im Verkehrsmodell wurden Strecken, Verkehrsdetektion sowie die Georeferenzierung des Verkehrsnetzes angepasst und ergänzt. Das aktualisierte Verkehrsnetz wurde in PTV Optima implementiert und für die Nutzung in weiteren Systemen der VMP und Dritter bereitgestellt.

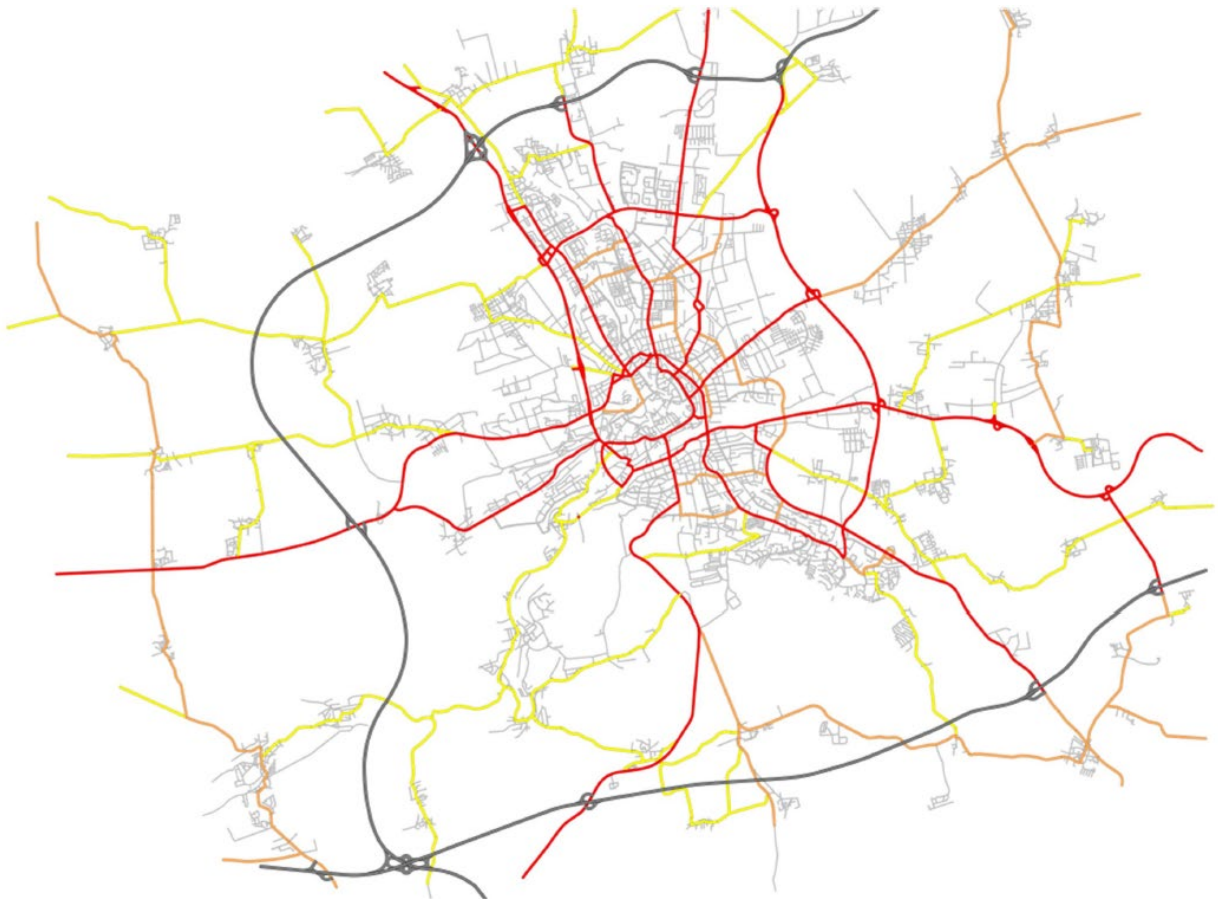


Abbildung 3: aktualisiertes Verkehrsmodell Erfurt, PTV VISUM – Gesamtnetz. Hervorgehoben Schnellstraßenring (grau), Hauptverkehrsstraßennetz (rot), klassifizierte Straßen im Umfeld der LH Erfurt (orange). (pwp systems GmbH, 2019)

Um Rahmen des UVE wurden die Verkehrsnachfragematrizen angepasst und regelmäßig kalibriert. Zusätzlich wurden alle für den motorisierten Individualverkehr relevanten Detektoren und Zählstellen in das Verkehrsmodell eingepflegt. Das Verkehrsmodell ist demnach **vollständig** und **funktionsfähig** in das UVE integriert worden.

Verkehrslagesystem PTV Optima

Zur Verkehrslagebestimmung wurde das Verkehrslagesystem PTV OPTIMA durch die pwp systems GmbH für die Anforderungen an die Datenversorgung des Umweltmonitoringsystems aktualisiert, erweitert und per Schnittstelle mit dem Daten- und Strategiemanagementsystem pwpTMPlatform verbunden. Im Rahmen der modellbasierten Verkehrslageermittlung sind die Freigabezeiten an Lichtsignalanlagen für die Bestimmung von Abbiegewiderständen an Knotenpunkten der entscheidende Parameter. Bei komplexen verkehrsabhängigen Steuerungen entsprechen die statistischen Freigabezeiten nicht den realen Abläufen. Zur Ermittlung der dynamischen Freigabezeiten wurden circa 40 % aller an das Verkehrsrechnersystem Sitraffic Scala angeschlossenen Lichtsignalanlagen mit der Schnittstelle Sitraffic Canto angebunden. Zur Optimierung der Verkehrssteuerung wurden die Freigabezeiten durch die pwpTMPlatform vom Sitraffic Scala abgerufen und aufbereitet. Dann wurden die zur Abbiegewiderständen aufbereiteten Freigabezeiten in PTV OPTIMA integriert. Durch Erweiterung der Leistungsbeschreibung wurde das Aggregations- und Bereitstellungsintervall für die Freigabezeiten von 60 auf 5 Minuten reduziert. Das Verkehrslagesystem ist demnach **vollständig** und **funktionsfähig**.

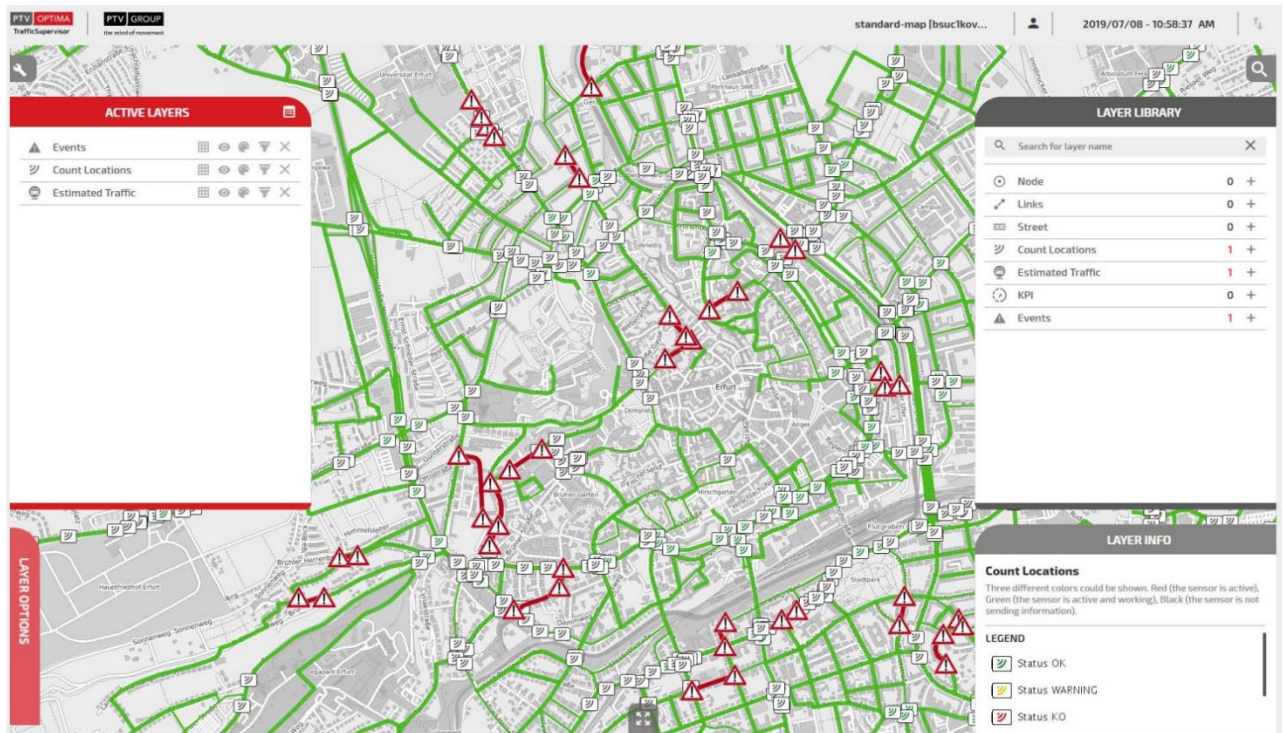


Abbildung 4: PTV OPTIMA Erfurt - Verkehrslage mit Zählstellen und Baustellen. (pwp systems GmbH, 2019)

Umweltmonitoringsystem Prokas^{online} und MISKAM

Das Umweltmonitoringsystem gilt als zentrales Element eines UVM. Seine Hauptaufgabe ist die Ermittlung der aktuellen und zu erwartenden Luftschadstoffsituation. Diese Daten sind Grundlage zur Auslösung verkehrlicher und umweltseitiger Managementmaßnahmen (FGSV, 2014). Mit Hilfe des Systems soll mit Bezug zum gesamten Hauptstraßennetz kontinuierlich die Luftschadstoffbelastung durch Stickoxide NO_x, Stickstoffdioxid NO₂ und Feinstaub PM₁₀ und PM_{2,5} sowie die Treibhausgasemissionen durch Kohlendioxid CO₂ ermittelt werden.

Für die Stadt Erfurt wurde im Rahmen des UVE das Umweltmonitoringsystem durch die pwp systems GmbH neu aufgebaut (pwp-systems GmbH, 2019). Es besteht aus dem Screeningmodell Prokas^{online} (Düring et al., 2014) und dem mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM (Eichhorn, 2021), beides Lohmeyer GmbH.

Das Erfurter Umweltmonitoringsystem wurde neu aufgebaut und in die Managementebene der Verkehrsmanagementplattform integriert. Es hat eine Schnittstelle zum zentralen Daten- und Strategiemanagementsystem, der pwpTMPlatform. Durch diese Schnittstelle werden die aktuelle Luftschadstoffsituation mit dem Verkehrsrechnersystem (Sittraffic Scala) und dem Verkehrslagesystem (PTV Optima) zur verkehrlichen und umweltseitigen Situationsermittlung genutzt. Bei Überschreitungen bzw. Unterschreitungen von definierten Schwellwerten für die Luftschadstoffe werden die Maßnahmen zur Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation aktiviert bzw. deaktiviert. Auf dieser Datengrundlage ist auch die kontinuierliche Wirkungsermittlung im gesamten Straßennetz mit Hilfe verkehrlicher und umweltbezogener Kenngrößen möglich.

Das Emissionsmonitoring nutzt die aktuellen und prognostizierten Daten aus PTV Optima, dies umfasst die netzweit verfügbaren, nach Fahrzeugklassen differenzierten Verkehrsstärken sowie die netzweit verfügbaren Fahrzeiten bzw. Fahrgeschwindigkeiten und der in der Regel auf dieser Basis ermittelte Level of Service (Berry et al., 1965) als Maß für die Stetigkeit des Verkehrsflusses.

Die verkehrlichen Luftschadstoffemissionen je Streckenabschnitt und Zeitintervall werden unter Nutzung des Handbuches für Emissionsfaktoren im Straßenverkehr HBEFA (INFRAS, ifeu, MK Consulting, 2022) ermittelt. Die Einflüsse der regionalen Zusammensetzung der Kfz-Flotte auf die Emissionsfaktoren werden auf Grundlage der vom Kraftfahrtbundesamt für Erfurt verfügbaren Statistiken berücksichtigt. Fahrzeugspezifische Emissionsfaktoren werden so auf Basis einer regional repräsentativen Fahrzeugflotte zur Verfügung gestellt. Die nicht-motorbedingten Abrieb- und Aufwirbelungsfaktoren („non-exhaust-emissions“) werden laut Aussage der pwp systems GmbH auf Grundlage der aktuellen Forschungserkenntnisse bestimmt (pwp-systems GmbH, 19. Dezember 2022).

Die Berechnung der Streckenbezogenen Emissionen wird mit den Parametern Fahrzeugkategorie, Kraftstofftyp, Emissionsklasse, Emissionskomponente, Bezugsjahr, Flottenmix, Längsneigung und Verkehrssituation (Gebietstyp, Straßentyp, Tempolimit, Verkehrszustand) durchgeführt. So werden die verkehrsbedingten Emissionen sowohl im aktuellen Zustand als auch für die Kurzfristprognose für 30-min-Intervalle berechnet. Die Ergebnisse sind für beide Fälle die verkehrlichen Emissionen je Netzkante und Fahrtrichtung. Sie sind als Layer in der pwpTMPlatform integriert.

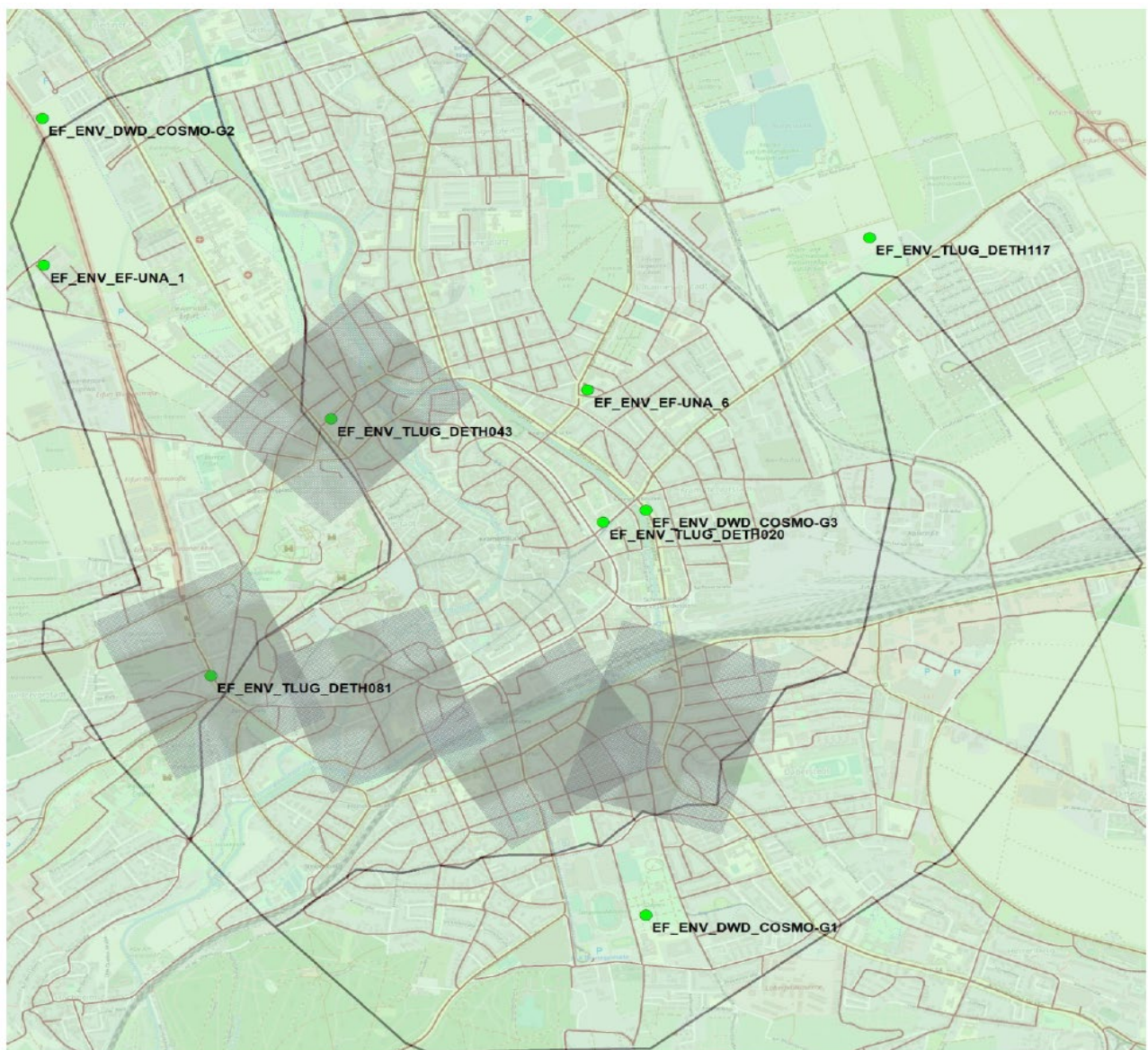


Abbildung 5: PROKAS^{online} - Netzabgrenzung / MISKAM Rechengebiete. (pwp-systems GmbH, 2019)

Das Immissionsmonitoring wird mit der Software PROKAS_B (Modul in Prokas^{online}) durchgeführt. PROKAS_B basiert auf Berechnungen typisierter Bebauungssituationen (zweiseitige Randbebauung und einseitige Bebauungstypen) mit dem mikroskopischen Windfeldmodell MISKAM. Es können 21 unterschiedliche Bebauungstypen für jeweils ca. 100 m Straßenabschnitte berücksichtigt werden. Die Immissionen werden in Screeningqualität, ein Wert pro Schadstoff pro 100 m, ausgegeben. Das Tool berechnet die räumlich-zeitliche Verteilung der Luftschadstoffbelastung in 5 Hotspot-Gebieten und verfolgt damit eine höhere Genauigkeit der Konzentrationsberechnung als beim Ansatz eines Standardbebauungstyps.

Das Umweltmonitoringsystem ist als Teil der VMP über direkte Schnittstellen mit dem Daten- und Strategiemanagementsystem pwpTMPlatform verbunden. Die Georeferenzierung des Straßennetzes erfolgt auf Grundlage des Verkehrsmodells PTV VISUM. Die Eingangsdaten zur Ausbreitungsberechnung sind über die Feldebene, den Verkehrsrechner, das Verkehrsmodell und Verkehrslagesystem an die pwpTMPlatform angebunden und werden über diese abgefragt. Zur Ausbreitungsberechnung benötigt das Umweltmonitoringsystem die dynamischen, aus Emissionsmonitoring ermittelten, Verkehrsdaten. Zusätzlich gehen Meteorologiedaten (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Ausbreitungsclassen etc.) als Randbedingungen in die Berechnung ein. Die Referenz der Immissionshintergrundbelastung sind aus den Immissionsmesstellen des TLUBN eingebunden. Die modellbasierte Immissionsermittlung erfolgt in 30-min- Intervallen zur zeitnahen Umweltsituationsermittlung. Die Ergebnisse sind Immissionen für Stickoxide NO_x, Stickstoffdioxid NO₂ und Feinstaub PM₁₀ und PM_{2,5} zur Analyse (je 30 Minuten), Kurzfristprognose (+ 60 Minuten) und Mittelfristprognose (+ 1 Tag). Das Umweltmonitoringsystem wurde im Rahmen des UVE **vollständig und funktionsfähig** aufgebaut.

Daten- und Strategiemanagementsystem – pwpTMPlatform

Als Daten- und Strategiemanagementsystem der Stadt Erfurt wurde die pwpTMPlatform der pwp systems GmbH gewählt. Das Daten- und Strategiemanagementsystem ist der zentrale Baustein der Verkehrsmanagementplattform Erfurt VMP, als auch des Umweltorientierten Verkehrsmanagements Erfurt UVE. Es führt alle Daten zusammen und erfüllt neben der Funktion als zentrale Schnittstelle zwischen allen Systembausteinen auch die Aufgaben der Wirkungskontrolle und Datenarchivierung des UVE.

Die pwpTMPlatform wurde durch die pwpSystems GmbH aufgebaut. Die pwpTMPlatform wurde installiert und konfiguriert. Sie wurde in die VMP integriert. Dafür wurden:

- Schnittstellen zum Import (Verkehrsdetektion, Verkehrslage, Verkehrereignisse, Verkehrsinformationen, Parkdaten, Umfelddetektion, Umfeldmonitoring, Strategiemanagement-Daten) und Export (Verkehrsdetektion, Verkehrereignisse, Strategiemanagement) erstellt.
- Die Funktionalität der Berechnungsverfahren und Benutzeroberfläche zum Monitoring und der Analyse von Daten konfiguriert.
- Die auflaufenden Daten Vollständigkeit und Plausibilität geprüft und archiviert.
- Das Verkehrsnetz aus dem Verkehrsmodell und die Verkehrsdetektion aus dem Verkehrsrechner integriert.
- Die archivierten Verkehrsdaten auf das aktuelle Verkehrsnetz und die aktuelle Verkehrsdetektion konvertiert.
- Die aktuelle OSM-Grundkarte integriert.

Das Daten- und Strategiemanagementsystem kann durch diesen Aufbau vollständig seine Funktionen wahrnehmen.

Auf Basis der Eingangsdaten (Verkehrsdetektion, Verkehrereignisse, Verkehrslage, Umwelt- und Meteorologiedetektion, Umweltmonitoring) erfolgt eine kontinuierliche Situationsermittlung (Verkehrs-, Baustellen-, Parkraum- und Umweltsituationen) auf deren Basis durch Kombination die zu einem bestimmten Zeitpunkt

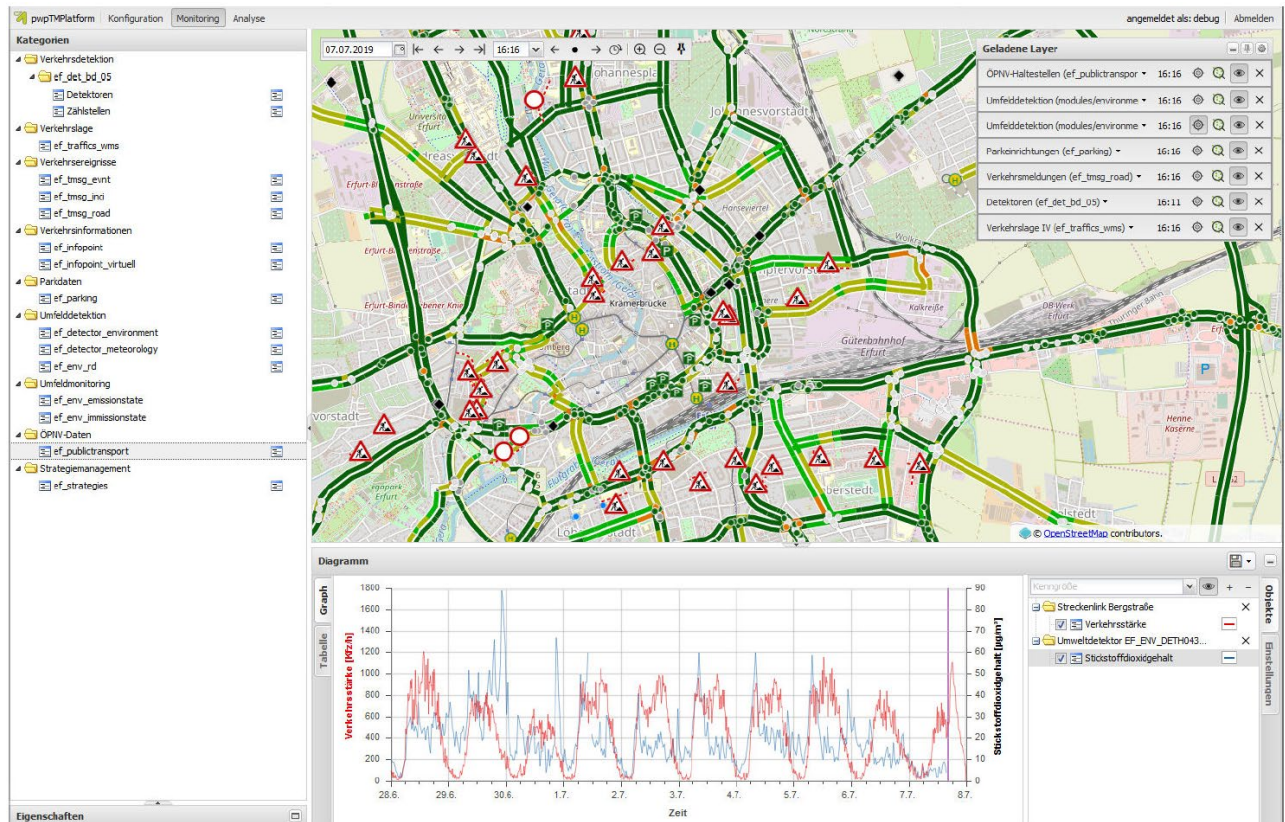


Abbildung 6: pwpTMPlatform – Verkehrs- und Umweltdaten. (pwp systems GmbH, 2019)

zu aktivierende Verkehrsmanagementstrategie als Bündel kompatibler Maßnahmen der Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation abgeleitet und als Steuerungsparameter an den Verkehrsrechner übergeben wird. Der Verkehrsrechner setzt die Strategien mit Hilfe von Aktionsplänen mit Detailmaßnahmen an verkehrstechnischen Feldelementen um (pwp-systems GmbH, 2019).

Die pwpTMPlatform versorgt das Verkehrslagesystem mit qualitätsgesicherten Verkehrsdaten und übernimmt alle 5 Minuten die berechnete Verkehrslage. Sie versorgt das Umweltmonitoringsystem und übernimmt die berechneten verkehrlichen Emissionen und Immissionen. Sie archiviert sämtliche Eingangs- und Ergebnisdaten. Ausgewählte Verkehrsdaten und Verkehrsinformationen werden für nachgelagerte Anwendungen wie dem Geoportal der LH Erfurt und dem MDM (künftig Mobiltheke) zur Verfügung gestellt.

Das Daten- und Strategiemangementsystem wurde somit im Rahmen des UVE **vollständig** und **funktionsfähig** aufgebaut.

3.3 Prüfung Zusammenarbeit im Verbund

Alle Teile der der physischen und digitalen Infrastruktur des UVE wurden im Projektzeitraum aufgebaut und alle Schnittstellen implementiert (Kapitel 4.3 Prüfung Einzelsysteme; Anhang I: Physische und Digitale Infrastruktur UVE). Alle bisher angebundenen Daten der Feldebene können über das Daten- und Strategiemangementsystem (pwpTMPlatform) eingesehen werden. Die Datenanbindungen wurden sukzessive erweitert. Das Gesamtsystem ist bis zum Projektende vollständig aufgebaut worden. Das UVE ist funktionsfähig und befindet sich im aktiven Betrieb. In Abbildung 8 und in Abbildung 7 ist für das Jahr 2022 dargestellt, wie häufig das Gesamtsystem bei Überschreitung von Grenzwerten angesprungen ist. Dabei wird die Verteilung auf die Monate und die Stunden des Tages im Jahresmittel mit angegeben. In Anlage II: (II.2und II.3) sind die entsprechenden Grafiken für die Jahre 2017 bis 2022 gelistet. Die Daten zeigen, dass entsprechende kritische

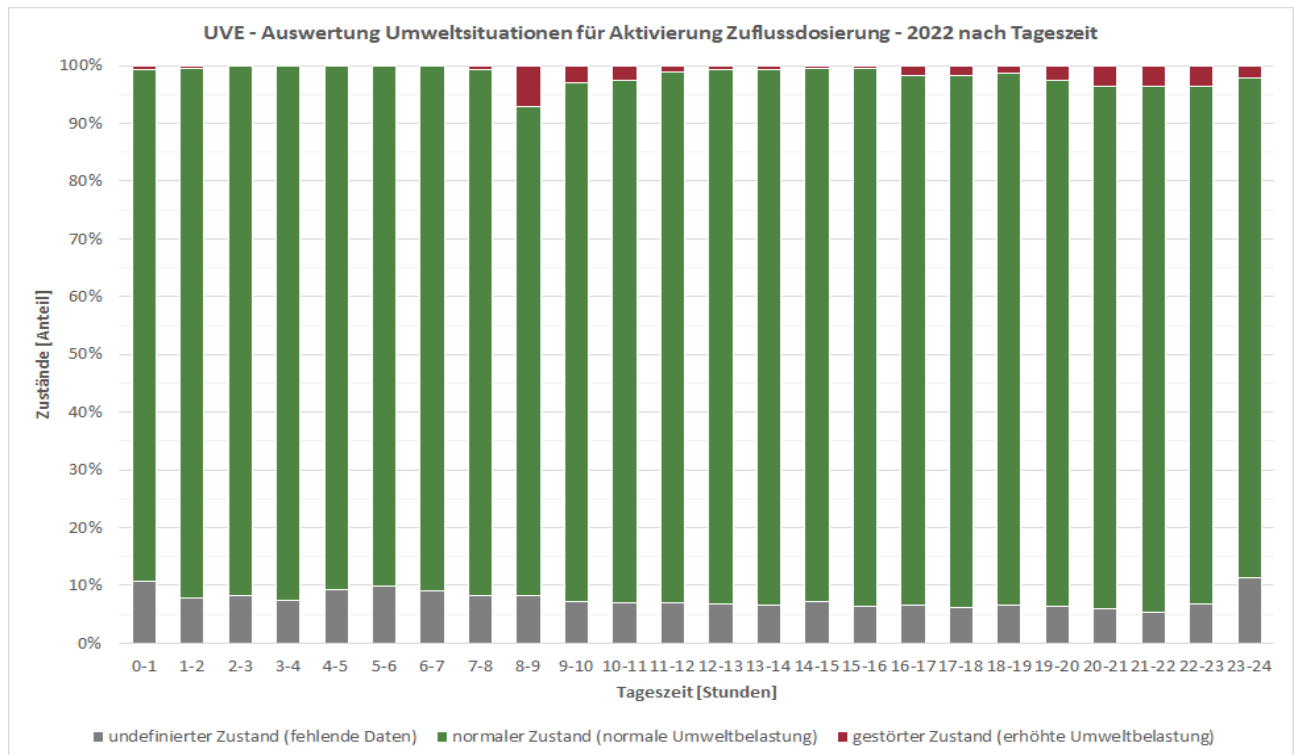


Abbildung 8: Häufigkeit Aktivierung UVE - 2022 nach Tageszeit

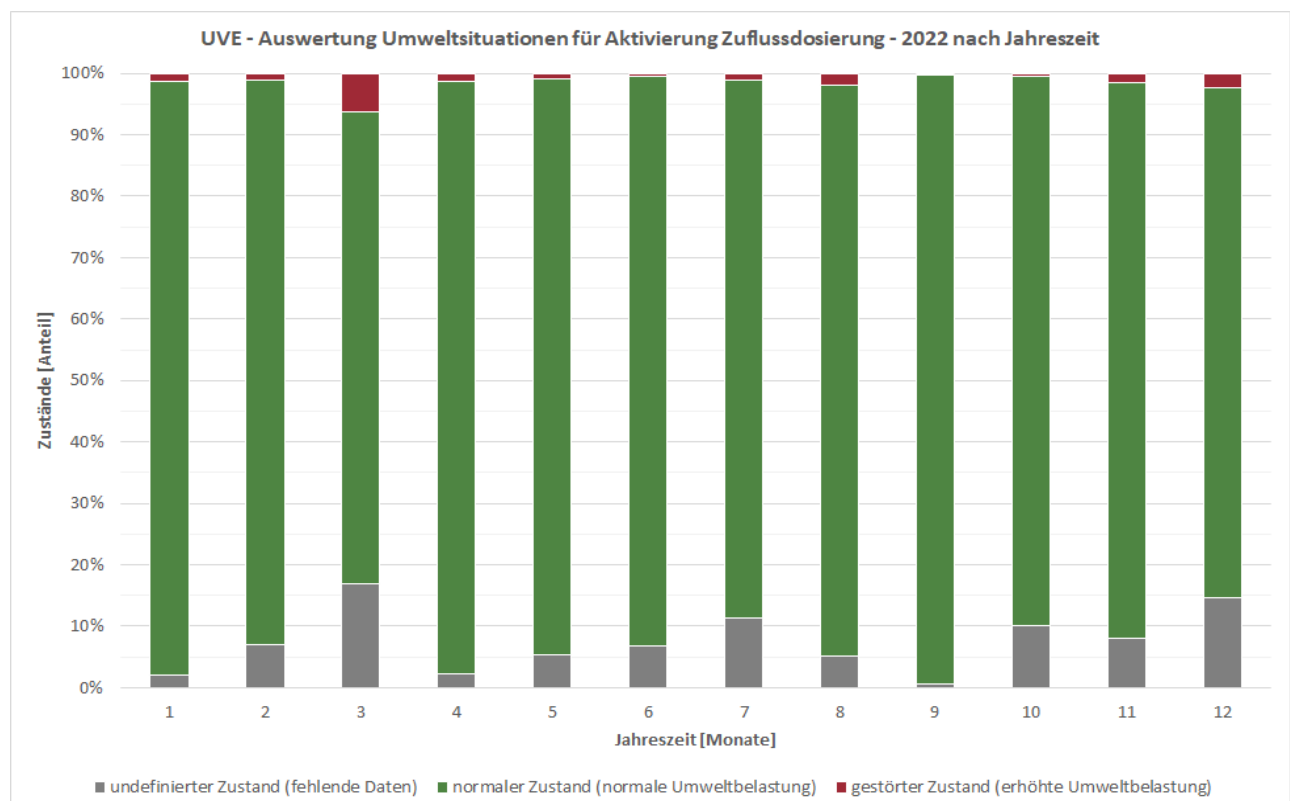


Abbildung 7: Häufigkeit Aktivierung UVE - 2022 nach Jahreszeit

Werte und Situationen vor allem in den Monaten Februar bis April und September sowie in den morgendlichen und nachmittäglichen Spitzenstunden auftreten. Daraus wird abgeleitet, dass die Schnittstellen der Ein-

zelsysteme bestehen und Daten austauschen. Die Kontrolle der Maßnahmenumsetzung und Wirkung erfolgt in den Kapiteln 3.4 und 4.

3.4 Prüfung Umsetzung UVE-Maßnahmen

Die im Gesamtkonzept Umweltorientiertes Verkehrsmanagement (Erfurt, 2015) für das UVE formulierten Maßnahmen werden in folgenden Schwerpunkten geprüft.:

- Erweiterung der P+R Kapazitäten und Erhöhung der Attraktivität der P+R Möglichkeiten

Die Stadt Erfurt bietet auf zehn P+R Anlagen etwa 1.400 gebührenfreie Stellplätze zur Verfügung. Die Stadtbahnen fahren während der Hauptverkehrszeiten alle im 10-Minuten-Takt. Die Reisezeit ist in der Regel mit der des Pkw vergleichbar, auf einigen Linien ist die Stadtbahn schneller. Einige P+R Anlagen werden aufgrund ihrer Lage sehr gut angenommen und sind hoch ausgelastet. Die Stadt Erfurt hat daher die P+R Anlagen Europaplatz und Messe deutlich erweitert und ein verbessertes Angebot zur Verfügung gestellt (Erfurt.de, 20. März 2023). Die Maßnahmen werden daher als **vollständig umgesetzt** bewertet.

- Verstetigung des Verkehrsflusses zur Vermeidung emissionsintensiver Fahrzustände &
- Verkehrsverlagerung und -lenkung zur Reduzierung von Verkehrsbelastungen

Die Verstetigung, Verlagerung und Lenkung des Verkehrsflusses erforderten eine Optimierung von LSA-Steuerungen. Innerhalb der Pilotphase wurden Steuerungsmaßnahmen zur Verkehrsverstetigung, -verlagerung und -lenkung erfolgreich an den zwei Streckenabschnitten RB 17 Regelbereich Nordhäuser Straße und RB42 Regelbereich Leipziger Straße / Krämpferstraße erprobt. Während des gesamtstädtischen Aufbaus des UVE erfolgte die Umsetzung in vier Stufen (Teilbereich Zentrum, Teilbereich Südwest, Teilbereich Südost, Teilbereich Nord). Die Umsetzung erfolgte durch Schaltung der Zuflussdosierungsprogramme auf den Radialstraßen. Dabei werden die aktuelle Verkehrssituation stromaufwärts und stromabwärts des Dosierungsquerschnittes sowie die aktuelle Umweltsituation in der Innenstadt und stromabwärts des Dosierungsabschnittes berücksichtigt. Zusätzlich erfolgte die Anzeige von Texten auf den stationären und virtuellen Stadtinformatonstafeln sowie den dynamischen Wegweiser (pwp-systems GmbH, 2021a). Die Kontrolle der Maßnahmen im Rahmen der Prüfung der Verkehrsleitzentrale, vor Ort und verkehrlicher Wirkungen (Kapitel 4.2.1) ergab, dass die Maßnahmen wie geplant implementiert wurden. Die Maßnahmen werden daher als **vollständig umgesetzt** bewertet.

- Alternativroutensteuerung

Die LH Erfurt wird durch einen Schnellstraßenring umschlossen, der die überörtlichen Verkehre aufnimmt. Im Störfall auf dem Schnellstraßenring um die LH Erfurt (BAB A4, BAB A71, B7, L1052, L1056) wird der überörtliche Verkehr über einen definierten Teil des städtischen Hauptstraßennetzes geführt. Für diese Verkehrssituationen sind an den lichtsignalgeregelten Knotenpunkten im Zuge der Bedarfsumleitungen Sonder-signalprogramme zur Bevorrechtigung der Umleitungsverkehre installiert. Dafür wurden Maßnahmen zur automatischen Erkennung von Verkehrsstörungen auf dem Schnellstraßenring und zur Aktivierung der Bedarfsumleitungen umgesetzt. Diese Maßnahmen fließen auch in die Strategiewahl des UVE ein. Es kann zu Konfliktfällen von Bedarfsumleitung (beispielsweise auf Grund eines Störfalles auf dem Schnellstraßenring) und Aktivierung der Zuflussdosierung durch UVE kommen. In diesen Fällen hat die Aktivierung der Bedarfsumleitung Vorrang vor der Aktivierung der Zuflussdosierung. An der Zuflussdosierung Binderslebener Knie wird dann trotz aktiviertem UVE nicht dossiert (pwp-systems GmbH, 2021c). Die Maßnahme der Alternativroutensteuerung wird als **vollständig umgesetzt** bewertet.

- Bereitstellung von kollektiven und individuellen Verkehrsinformationen

Die kollektiven Verkehrsinformationen werden einerseits im Rahmen der Managementmaßnahmen im UVE an die Leit- und Informationsebene geben und dort kommuniziert und andererseits für nachgelagerte Anwendungen wie das Geoportal der LH Erfurt und den Mobilitätsdatenmarktplatz (MDM, künftig Mobilithek) bereitgestellt. Die individuellen Verkehrsinformationen, also für den individuellen Trip relevante und qualitätsgesicherte Informationen aus der VMP werden im Allgemeinen über mobile intermodale Informationssysteme (Smartphone-App) abgefragt. Für Erfurt werden die aktuellen Baustelleninformationen als open-data für alle Navigationssysteme bereitgestellt. Die App „Erfurt Mobil“ bündelt Routenplaner, Echtzeit-Fahrpplanauskunft und ÖV-Ticketing und wird unter anderem mit aktuellen Daten aus dem UVE versorgt (welove-apps.de, 2020). Die Maßnahmen der Bereitstellung von kollektiven und individuellen Verkehrsinformationen werden daher als **vollständig umgesetzt** bewertet.

3.5 Zwischenfazit

Das UVE wurde entsprechend der für die Fördermittelgrundlage formulierten Architektur (siehe UVE Gesamtkonzept (Erfurt, 2015)) aufgebaut. Die Zielsetzung, die vorgeschriebenen Grenzwerte für die Immissionsbelastung verlässlich und flächendeckend für die gesamte Innenstadt einzuhalten, wurde erreicht. Die dafür angedachten Maßnahmen, ein flächendeckendes Monitoring von Klima-, Umwelt-, und Verkehrsdaten sowie ein Strategiemangement zum kontinuierlichen umweltorientierten Verkehrsmanagement wurden umgesetzt. Dies wurde durch Erneuerung vorhandener und Erweiterung um neue Systemkomponenten des Verkehrsmanagements erreicht. Alle physischen und digitalen Komponenten des UVE sind zum Prüfzeitpunkt Ende 2022 **vollständig** und **funktionsfähig**.

4 Wirkungskontrolle UVE

Die Wirksamkeitsprüfung des UVE auf Verkehr und Umwelt wurde durch Analyse der archivierten verkehrlichen- und umweltseitigen Daten des Daten- und Strategiemanagementsystems (pwpTMPlattform) durchgeführt. Die Aktivierungshäufigkeit reduzierte sich von 2017 bis 2022 deutlich. Die Verkehrsqualität als auch die Immissionen von Luftschadstoffen wurden dabei nicht signifikant negativ beeinflusst. Die Schadstoffbelastung an den Messstationen ging deutlich zurück und blieben somit deutlich unter den Grenzwerten der Jahresmittel, wobei dieser Rückgang nicht nur auf die Wirkung des UVE zurückgeführt werden. Das **UVE** ist somit **wirksam**.

4.1 Anwendung UVE-Strategiemanagement

Die Anwendung des UVE-Strategiemanagements erfolgt durch Prüfung der Maßnahme „Zuflusssdosierung“. Dabei wird die Anwendung des Strategiemanagements durch Auswertung der aktiven Zeit der Zuflusssdosierung zwischen 2017 und 2022 und der Entwicklung der Luftqualität im selben Zeitraum überwacht. Die „Zuflusssdosierung“ ist eine zentrale Maßnahme im UVE. Sie dient dazu, Verkehrsspitzen zu kontrollieren und Grenzwertüberschreitungen von Schadstoffen zu minimieren. Die Luftqualität dient als maßgeblicher Parameter für die Initiierung der Zuflusssdosierung, sie wird aktiviert, wenn sich Grenzwertüberschreitungen von Stickoxiden oder Feinstaub abzeichnen.

Das UVE wurde schrittweise von 2017 bis 2022 aufgebaut. Dabei reduzierte sich die Gesamtzeit der Aktivierung pro Jahr. Im Vergleich zu 2017 sank die aktive Zeit im Jahr 2022 um 82 %. Die Anzahl der Fälle reduzierte sich von 2017 bis 2022 um 75 %, während die mittlere Aktivierungszeit um 47 % zurückging. Die genauen Entwicklungen sind in Anlage II: *UVE im Einsatz* dargestellt. Abbildung 9 zeigt die Entwicklung der aktiven Stundenzahl pro Jahr von 2017 bis 2022 und die Abnahme der UVE-Aktivierungen im betrachteten Zeitraum.

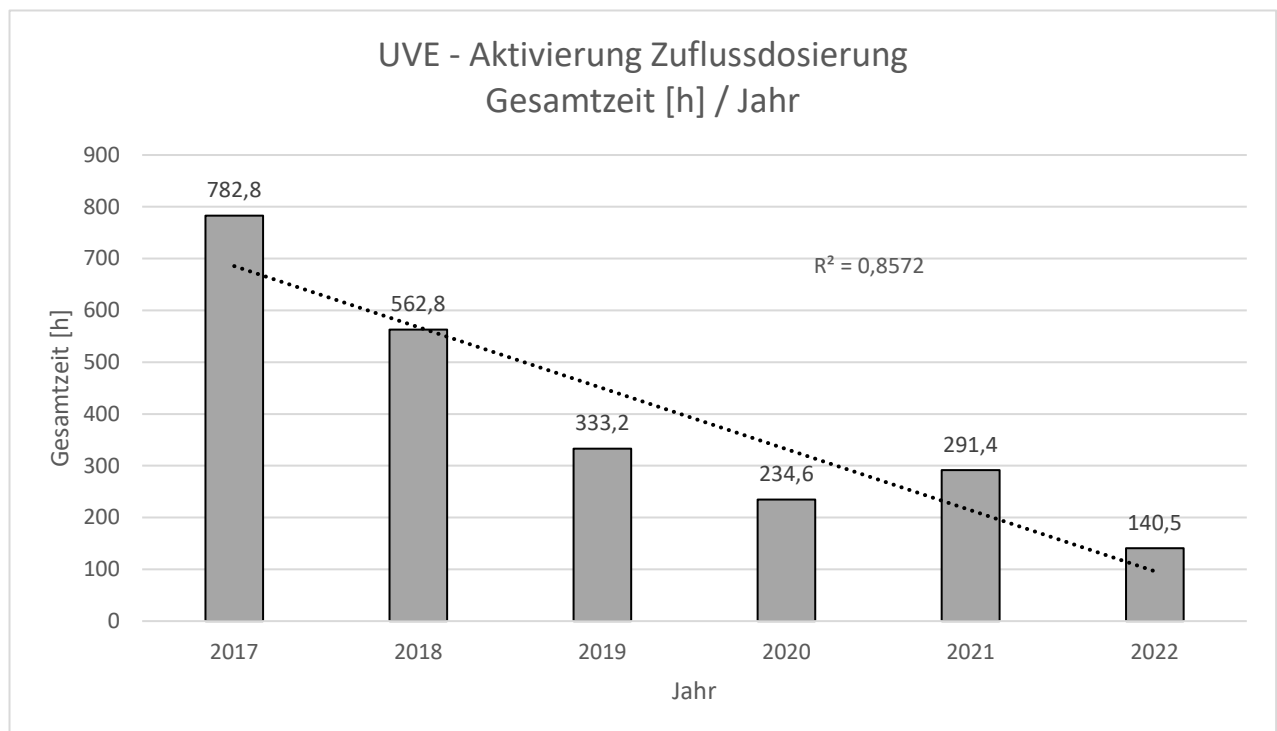


Abbildung 9: Aktivierung UVE von 2017 bis 2022 - Gesamtzeit pro Jahr

Mit dem Grad der Implementierung verbesserte sich auch die Luftqualität (Abbildung 16 und Abbildung 17). Jedoch ist zu beachten, dass die direkte Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen dem UVE und der Verbesserung der Luftqualität nicht eindeutig nachweisbar ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Luftqualität von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst wird, darunter Meteorologie, die Aktualisierung der Flottenzusammensetzung, die Entwicklung des Modal Split und andere Umweltaspekte.

Die Anwendung des Strategiemanagements ist erfolgreich umgesetzt worden. Im betrachteten Zeitraum nimmt die Aktivierung pro Jahr bei sinkender Häufigkeit von Grenzwertüberschreitungen ab. Die Maßnahme "Zuflussdosierung" funktioniert daher gemäß den strategischen Planungen und wird wie geplant aktiviert.

4.2 Prüfung Wirksamkeit UVE

Zur Wirkungskontrolle des UVE wurde die Verkehrsentwicklung der UVE-Pilotvorhaben Bergstraße und Leipziger Straße, der Verkehrsversuche Talstraße und Clara-Zetkin-Straße sowie die Verkehrsstärken im Bereich der TLUBN Luftmessstationen analysiert. Zusätzlich erfolgte eine Analyse der Umweltwirkungen durch Auswertung der an den TLUBN Luftmessstationen ermittelten Stickstoffdioxid- und Feinstaubimmissionen. Die Wirkungen des UVE wurden in Kontext mit weiteren Einflussfaktoren auf Verkehr und Umwelt wie Erneuerung des Flottenmix gesetzt. Schließlich erfolgte ein Vergleich des UVE mit anderen deutschen Städten, wobei Erfurt in Bezug auf die Luftqualität zum Jahr 2023 gut abschneidet und den 10. Platz belegt. Auf Grundlage dieser Betrachtungen wird das **UVE** als **wirksam bewertet** und als effektiven Teil umfassender Strategien zur Verbesserung der Verkehrssituation und Förderung der Umweltqualität gesehen.

4.2.1 Verkehr

1. Pilotvorhaben Bergstraße und Leipziger Straße

Im Vorfeld der Umsetzung des UVE-Gesamtkonzepts sind zwei Pilotvorhaben durchgeführt und umfassend analysiert worden. Entlang der Bergstraße und im Bereich des Streckenzugs der Leipziger Straße ist jeweils eine umweltsensitive Steuerung implementiert und über einen längeren Zeitraum getestet worden. Dabei sind die Auswirkungen auf Verkehr und Umwelt ermittelt worden:

- Ermittlung der verkehrlichen Emissionen im Vergleich verschiedener verkehrlicher Szenarien,
- Ableitung des Beitrags der verkehrlichen Emissionen an der Gesamt-Immissionsbelastung,
- Darstellung der Wirkung der einzelnen Szenarien in Bezug auf NO₂ und PM₁₀,
- Monitoring und Korrelationsanalyse von Verkehrs-, Meteorologie- und Umweltdaten,
- Zuordnung des verkehrsbedingten Anteils an den Immissionen zu den mit aktuellen Verkehrsdaten berechneten Emissionen.

Kernstück des Pilotvorhabens Leipziger Straße ist eine Zuflussdosierung am Knotenpunkt Leipziger Straße/Am Alten Nordhäuser Bahnhof in stadteinwärtiger Fahrtrichtung vor dem umweltsensiblen Abschnitt (Abbildung 10).

In der Morgenspitze (Mo-Fr) von 6:30 bis 8:30 Uhr ist die aktivierte Zuflussdosierung so parametriert, dass sich eine Reduzierung der Verkehrsstärke um etwa 20 % auf 480 Kfz/h einstellt. Parallel dazu erfolgt eine kontinuierliche Überwachung des Stauraumes, so dass in Abhängigkeit von der Staulänge die Reduzierung der Freigabezeiten vermindert bzw. aufgehoben wird. Im Ergebnis sind durch die realisierte Steuerung im gesamten Streckenabschnitt alle relevanten Emissionsparameter um etwa 5% reduziert worden (NO_x, NO₂, CO₂, PM₁₀). Im umweltsensitiven Teil der Strecke mit dichter Bebauung sind die Werte um 20% - 25% zurückgegangen, wogegen sie in dem Teil der Strecke ohne Bebauung mit guter Durchlüftung etwa um 2 – 10% angestiegen sind. Damit ist die Gesamtbilanz positiv geblieben und im kritischen Bereich sind die Umweltgrenzwerte eingehalten worden. Die Gesamtreisezeit ist für den Kfz-Verkehr trotz Zuflussdosierung nur moderat gestiegen, der ÖPNV ist nicht beeinträchtigt worden.

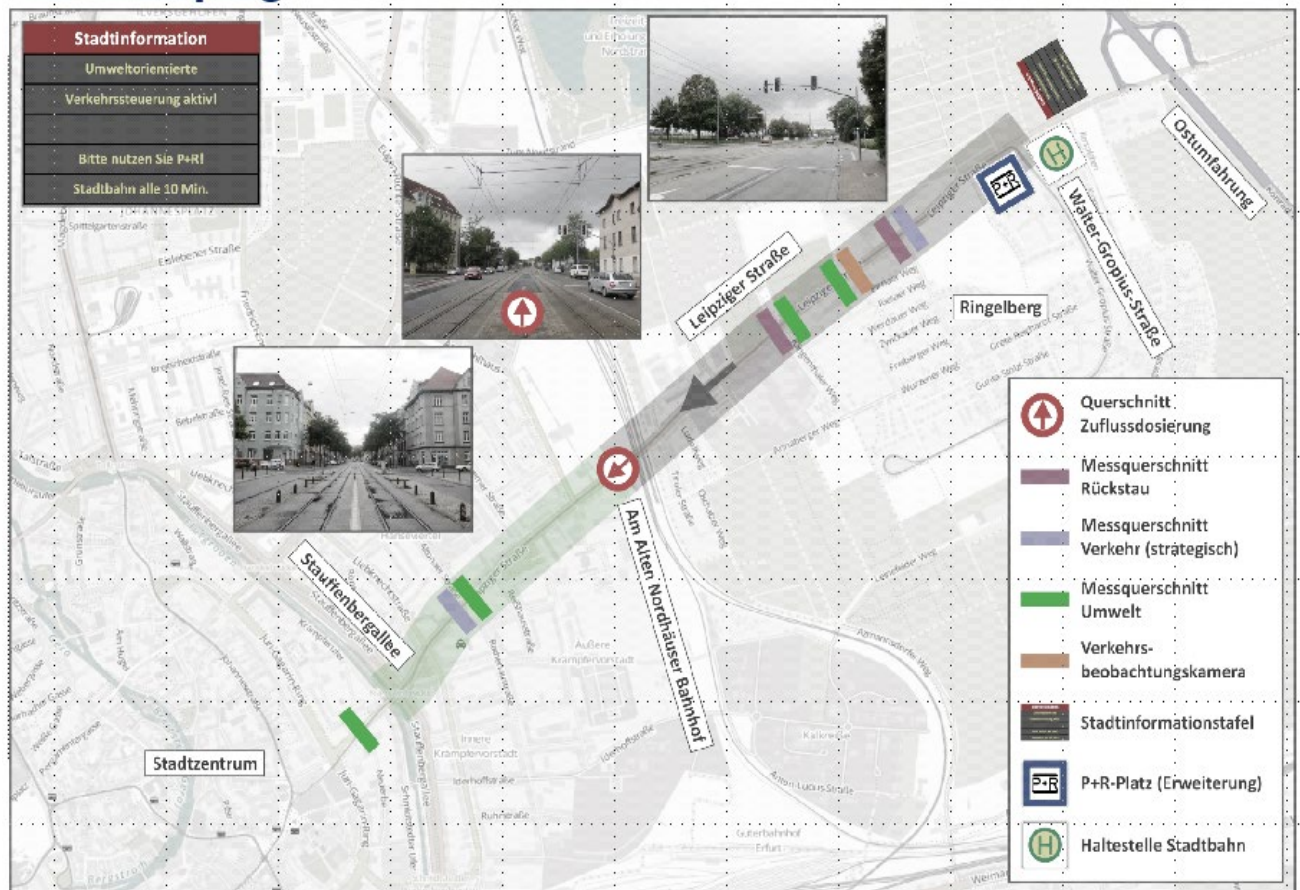


Abbildung 10: Pilotvorhaben Leipziger Straße

Die Ergebnisse des Pilotvorhabens im Bereich der Bergstraße sind ebenso positiv gewesen, so dass eine Übertragung der Konzepte auf das gesamte Stadtgebiet von Erfurt empfohlen wurde. Zentrale Erkenntnisse waren, dass durch die umweltsensitive Steuerung in ausreichenden Maß auf die Immissionen Einfluss genommen werden konnte. Gleichzeitig konnten die negativen Auswirkungen auf benachbarte Streckenabschnitte oder auf den ÖPNV minimiert werden. Aus den Ergebnissen sind daher die Anforderungen an UVE-Systemkomponenten abgeleitet worden, die dann in die eigentliche Gesamtsystemkonzeption eingeflossen sind.

DTV	2019	2020	2021
Alle Tage	6.320	6.070	7.720
	100%	91%	122%
Werktage	7.420	7.090	9.070
	100%	96%	122%
Wochenende / Feiertage	4.370	3.990	4.970
	100%	91%	114%

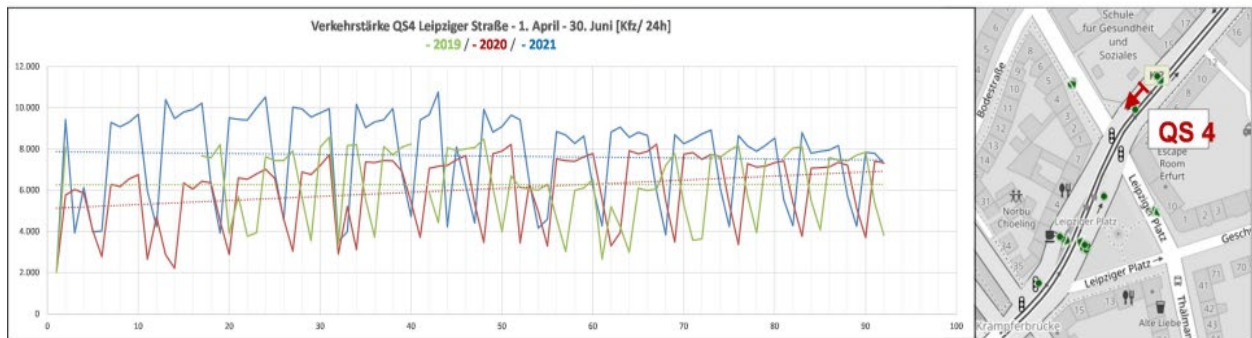


Abbildung 11: Langfristige Verkehrsentwicklung QS 4 Leipziger Straße Zufahrt Nordost

2. Verkehrsversuch Talstraße

Die Talstraße ist Teil des Hauptstraßennetzes in Erfurt. Der Kfz-Verkehr wird über den Stadtring zwischen Nordhäuser Straße und Magdeburger Allee getrennt nach Fahrtrichtung über Talstraße / Bergstraße (Fahrtrichtung Ost – West) und Moritzwallstraße / Schlüterstraße (Fahrtrichtung West – Ost) geführt. Zur Stärkung des Radverkehrs und des Fußverkehrs ist in einem Verkehrsversuch der Querschnitt der Talstraße verändert worden. Der Kfz-Verkehr ist dabei in einem Abschnitt der Talstraße in einem Zeitraum von 6 Monaten auf einer überbreiten Fahrspur geführt worden statt wie vorher auf zwei separaten Fahrspuren. Somit ist die Kapazität reduziert worden.

Der Verkehrsversuch ist wissenschaftlich begleitet und die umfassenden Untersuchungen sind dokumentiert worden (Kraus et al., 2021). Es sind Verkehrserhebungen und Verkehrsbeobachtungen an verschiedenen Wochentagen und zu verschiedenen Tageszeiten (insbesondere in den Spitzenstunden am Morgen und am Nachmittag) durchgeführt worden. Neben Untersuchungen zur Verkehrssicherheit ist die Entwicklung und das Ausmaß von Rückstaus im Kfz-Verkehr geprüft worden, insbesondere im Hinblick auf potenzielle Stauscheinungen bis auf den Talknoten und daraus resultierende Behinderungen des Straßenbahnverkehrs. Zudem konnten Aussagen zu Verkehrsverlagerungen in andere Bereiche des Straßennetzes getroffen werden.

Für die Bewertung der Wirksamkeit und die Effizienz des Verkehrsmanagementsystems sind die Untersuchungen zu Verkehrsverlagerungen von Bedeutung, da im Verkehrsversuch eine Kapazitätsminderung in einem Abschnitt des Hauptstraßennetzes vorgenommen wurde. Die Auswertungen haben gezeigt, dass es im umliegenden Straßennetz zu keinen nennenswerten Steigerungen des Verkehrsaufkommens gekommen ist. In Abbildung 11 und Abbildung 13 sind die Auswertungen für die Magdeburger Allee in Richtung Norden und die Leipziger Straße Zufahrt Nordost dargestellt. In der Magdeburger Allee hätte es auf Grund der Netzstruktur an den ehesten zu kleinräumigen Verlagerungen kommen können, die Leipziger Straße liegt außerhalb des Wirkungsbereichs der Maßnahme.

3. Verkehrsversuch Clara-Zetkin Straße

Die Clara-Zetkin-Straße erstreckt sich im Erfurter Stadtteil Daberstedt zwischen den Knotenpunkten Weimarsche Straße / Schillerstraße und Am Schwemmbach / Häßlerstraße. Sie hat im südlichen Straßennetz von Erfurt eine wichtige Funktion als Hauptverkehrsstraße mit vier Fahrstreifen für den Kfz-Verkehr und wird gleichzeitig vom ÖPNV genutzt. Wegen Sanierungsarbeiten mussten auf der Fahrbahn an mehreren Standorten Baugruben errichtet werden. Dazu wurde die Clara-Zetkin-Straße in den Sommerferien im Zeitraum 26.07. - 05.09.2021 zunächst voll gesperrt. Anschließend wurde die Clara-Zetkin-Straße ab 06.09.2021 für den Verkehr mit durchgängig einem Fahrstreifen je Fahrtrichtung wieder freigegeben. Die Landeshauptstadt Erfurt (LH Erfurt) hat diesen Umstand genutzt, um in einem mehrmonatigen Verkehrsversuch zu prüfen, welche Auswirkungen eine Reduzierung der Verkehrsflächen für den fließenden Kfz-Verkehr in der Clara-Zetkin-Straße sowie für das angrenzende Straßennetz hat (Abbildung 12). Der Verkehrsversuch ist umfassend mit Zählungen, Verkehrsbeobachtungen, Unfallanalysen und Auswertungen der TM-Plattform untersucht und dokumentiert worden (Kraus et al., 2022).



Abbildung 12: Übersichtskarte Verkehrsversuch Clara-Zetkin-Straße (Untersuchungsgebiet) [LH Erfurt]

Der Verkehrsversuch verändert die Aufteilung des Straßenquerschnittes in einer wichtigen Hauptverkehrsstraße, damit wird insbesondere die Kapazität für den Kfz-Verkehr reduziert. Damit verbunden sind Auswirkungen auf Verkehrsstärken, Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit in der Clara-Zetkin-Straße und im angrenzenden Gebiet. Der Fokus der Untersuchung lag auf der Frage, inwiefern eine Umgestaltung des Straßenraums aus verkehrlicher Sicht möglich ist. Gleichzeitig konnte auch beispielhaft untersucht werden, wie das Verkehrsmanagementsystem der Stadt Erfurt (mit Monitoring, Steuerung der Lichtsignalanlagen und Verkehrsinformationen) auf einen solchen gravierenden Einschnitt in die Kapazität reagiert und welche Effekte auftreten. Untersuchte Kriterien sind Verkehrsverlagerung, Verkehrsqualität, Fahrzeit und Verkehrssicherheit:

- Der Vergleich der Vorher-Nachher-Zeiträume zeigt eine sehr deutliche Reduktion (um ca. 40 %) der Verkehrsstärke in der Clara-Zetkin-Straße, dies zeigt sich in allen betrachteten Erhebungszeiträumen. Eine nennenswerte Verlagerung in das Straßennetz der benachbarten Quartiere ist nicht aufgetreten. Lediglich in der Wilhelm-Busch-Straße ist eine leichte Erhöhung der Verkehrsstärke zu verzeichnen.
- Die Verlagerungen sind wahrscheinlich größtenteils modal oder weiträumig erfolgt. Im Verkehrsnetz sind keine größeren negativen Auswirkungen festgestellt worden, insofern werden die Verlagerungen als nicht problematisch bewertet.
- Weder die Unfallzahlen, noch die Verkehrsbeobachtungen lassen darauf schließen, dass es durch den Verkehrsversuch zu einer signifikanten Erhöhung der Anzahl und Schwere von Unfällen gekommen ist.
- Es ist eine Erhöhung der Fahrzeit der Stadtbahnlinie 1 festgestellt worden, sie ist jedoch nicht alleine auf die Reduzierung der Kapazität in der Clara-Zetkin-Straße zurückzuführen.

DTV	2019	2020	2021
Alle Tage	4.950	4.730	4.812
	100%	95%	97%
Werktage	5.870	5.520	5.600
	100%	94%	95%
Wochenende / Feiertage	3.300	3.110	3.210
	100%	94%	98%

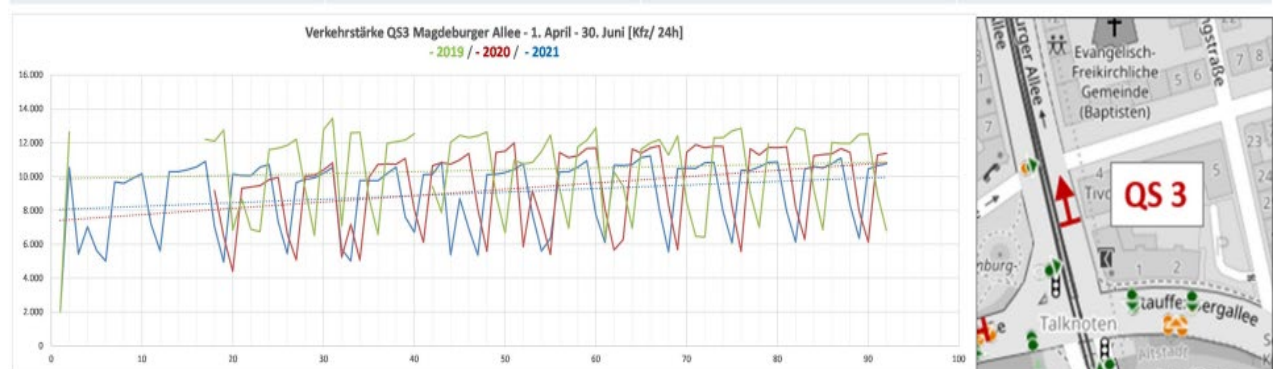


Abbildung 13: Langfristige Verkehrsentwicklung QS 3 Magdeburger Allee Richtung Norden

Die Ergebnisse des Feldversuchs haben insgesamt deutlich gezeigt, dass trotz der Kapazitätseinschränkungen keine nennenswerten Qualitätsverluste oder Sicherheitsdefizite aufgetreten sind, was auch auf das wirksame Verkehrsmanagement zurückzuführen ist.

4. Verkehrsentwicklung Stadtring

Nach der Betrachtung individueller Knotenpunkte und Straßenabschnitte wurde die Wirkung des UVE auf den Verkehr im Erfurter Stadtring geprüft und die UVE Maßnahmen (zur Verbesserung der Verkehrsqualität und Reduzierung der Umweltwirkungen) zu bewerten.

Zur Analyse wurden die Verkehrsentwicklung auf dem Erfurter Stadtring in den Jahren 2017 bis 2022 analysiert. Dazu wurden Verkehrsdetektoren gewählt, die sich in unmittelbarer Nähe von Umweltmessstationen befanden und deren Zeitreihen für den genannten Zeitraum verfügbar waren (Abbildung 14). Die Standorte und Funktion der Messstationen werden in Kapitel 4.2.2. (Wirkungskontrolle Umwelt) beschrieben.

Die verkehrlichen Rohdaten liegen als Verkehrsstärke (Fahrzeuge/Stunde) mit einer Auflösung von 5 Minuten vor. Zur Datenaufbereitung erfolgte eine Aggregation auf 1-Stunden-Intervalle, wobei Ausreißer, die das 8-fache der Standardabweichung vom arithmetischen Mittel (pro Sensor und Zeitreihe 2017 bis 2022) überstiegen, entfernt wurden. Diese Werte sind kaum möglich und stellen mit hoher Wahrscheinlichkeit Messfehler da. Die genutzten Werte wurden pro Sensor normiert, wobei der maximal genutzte Wert am Sensor



Abbildung 14: untersuchte Verkehrsdetektoren und Luftmessstationen zur Verkehrsanalyse Stadtring

als 100 % festgelegt wurde. So kann die Entwicklung der Verkehrsstärken zwischen Sensoren mit unterschiedlichen absoluten Werten verglichen werden. Eine weitere Aggregation erfolgte pro Knotenpunkt und danach gemeinsam für alle Sensoren pro Jahr.

Die Daten sind in Abbildung 15 als Boxplots mit Trendlinie dargestellt. Diese Form eignet sich, da sie eine übersichtliche Visualisierung der Verkehrsentwicklung ermöglicht und es erlaubt, Trends im Verkehrsaufkommen über die Jahre hinweg zu erkennen.

Die Trendlinie zeigt, dass die Verkehrsstärken der betrachteten Sensoren im Zeitraum von 2017 bis 2022 keine signifikanten Veränderungen aufweisen. Dies weist darauf hin, dass das UVE keine negativen Auswirkungen auf das Verkehrsaufkommen im Stadtring hat. Dieser Rückschluss wird dadurch unterstützt, dass der aktive Zeitraum pro Jahr in 2022 nur 18 % des aktiven Zeitraumes von 2017 betrug. Diese unterschiedliche Entwicklung von Verkehrsstärke und aktiven Zeitraum UVE legen nahe, dass andere Faktoren deutlich stärkeren Einfluss auf die Verkehrsentwicklung haben.

Zusammenfassend ergibt die Analyse der Verkehrsentwicklung auf dem Erfurter Stadtring in den Jahren 2017 bis 2022, dass das UVE keinen nachweisbaren negativen Einfluss auf den Verkehrsfluss hatte.

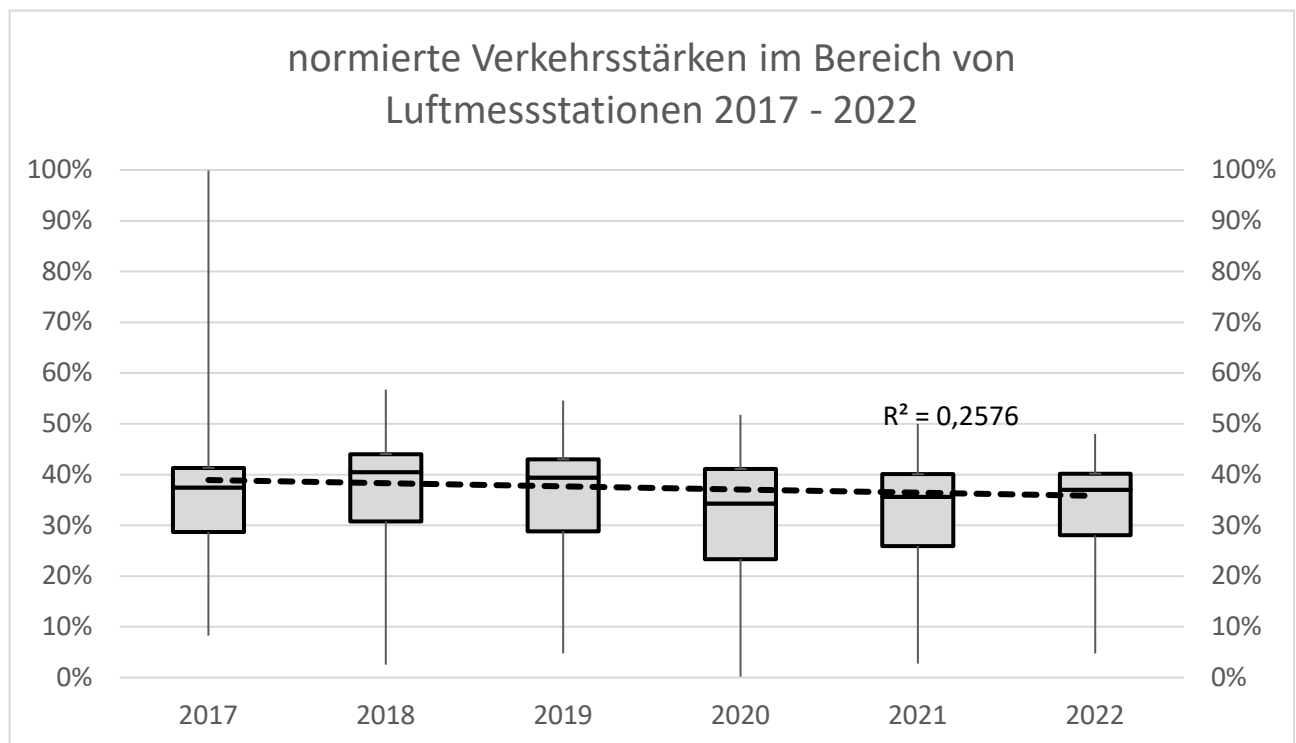


Abbildung 15: Trend normierter Verkehrsstärken [Zfg./h] im Bereich von Luftmessstationen 2017 - 2022

5. UVE und ÖPNV

Allgemein sind die Entwicklungen der Fahrgastzahlen im ÖPNV ein wichtiger Indikator zur Beurteilung von Wirkungen auf den ÖPNV. Die Entwicklung der Fahrgastzahlen im ÖPNV von 2017 bis 2022 zeigt, dass es einen leichten Rückgang gegeben hat. Im Jahr 2017 wurden 52,4 Millionen Fahrgäste im ÖPNV verzeichnet, während es 2022 50,54 Millionen waren (SWE EVAG, 2023). Dies entspricht einem Rückgang von etwa 3,5 Prozent. Es ist wichtig anzumerken, dass dieser Rückgang nicht als signifikante negative Entwicklung betrachtet werden kann, sondern im Kontext möglicher Einflussfaktoren und Schwankungen im Fahrgastaufkommen im ÖPNV zu bewerten ist. Allgemein ist die Wirkungsabschätzung individueller Faktoren auf die Entwicklung

des ÖPNV ein komplexer Prozess. Verschiedene Einflussgrößen wie Bevölkerungsentwicklung, sozioökonomische Veränderungen und Veränderungen im Mobilitätsverhalten können die Fahrgastzahlen beeinflussen. Daher kann nicht automatisch eine direkte kausale Beziehung zwischen UVE und ÖPNV gezogen werden. Im Verbund trägt das UVE jedoch zu keiner negativen Entwicklungen des ÖPNV bei.

Um detailliertere Auswirkungen des UVE auf den ÖPNV zu treffen, könnten beispielsweise folgende Zusammenhänge betrachtet werden: Die Belegungsgrade der P+R Anlagen zu Zeiten aktiver UVE Maßnahmen und zu Zeiten vergleichbarer Verkehrssituationen ohne hohe Umweltbelastung. Bewegungsprofile individueller Nutzenden, beispielsweise auf Grundlage von Mobilfunkdaten, zu Zeiten aktiver UVE Maßnahmen und vergleichbaren Situationen ohne Einfluss des UVE.

4.2.2 Umwelt

Die Umweltauswirkungen des Umweltorientierten Verkehrsmanagements (UVE) wurden mittels der Auswertung von Luftqualitätsmessungen ermittelt. Diese Analyse zielt darauf ab, zu verstehen, ob und inwieweit das UVE die Luftqualität beeinflusst. Hierfür wurden Immissionsmessreihen von Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub (PM_{10}) an den Luftmessstationen des Thüringer Landesamtes für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN) herangezogen. Die Luftqualität hat sich signifikant verbessert, dies kann aber nicht nur auf das UVE zurückgeführt werden.

Die Luftqualität wird deutschlandweit von den Bundesländern und dem Umweltbundesamt überwacht und basiert auf der Messung von Luftschadstoffen, die schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit und die Umwelt haben. Insbesondere Stickstoffdioxid und Feinstaub gehören zu den kritischsten Luftschadstoffen (UBA, 2023). Die Stationen an der Bergstraße und an der Heinrichstraße sind als Hotspots mit den höchsten Belastungen und ungünstigen Umfeldbedingungen gewählt, während die Station Krämpferstraße eine städtische Hintergrundbelastung ohne verkehrsbedingte Immissionen repräsentiert. Die Station Bautzener Weg hingegen steht für das vorstädtische Gebiet (39. *BImSchV*, 2010). Die TLUBN-Daten sind qualitätsgesichert und wurden daher für diese Analyse ohne weitere Datenaufbereitung verwendet.

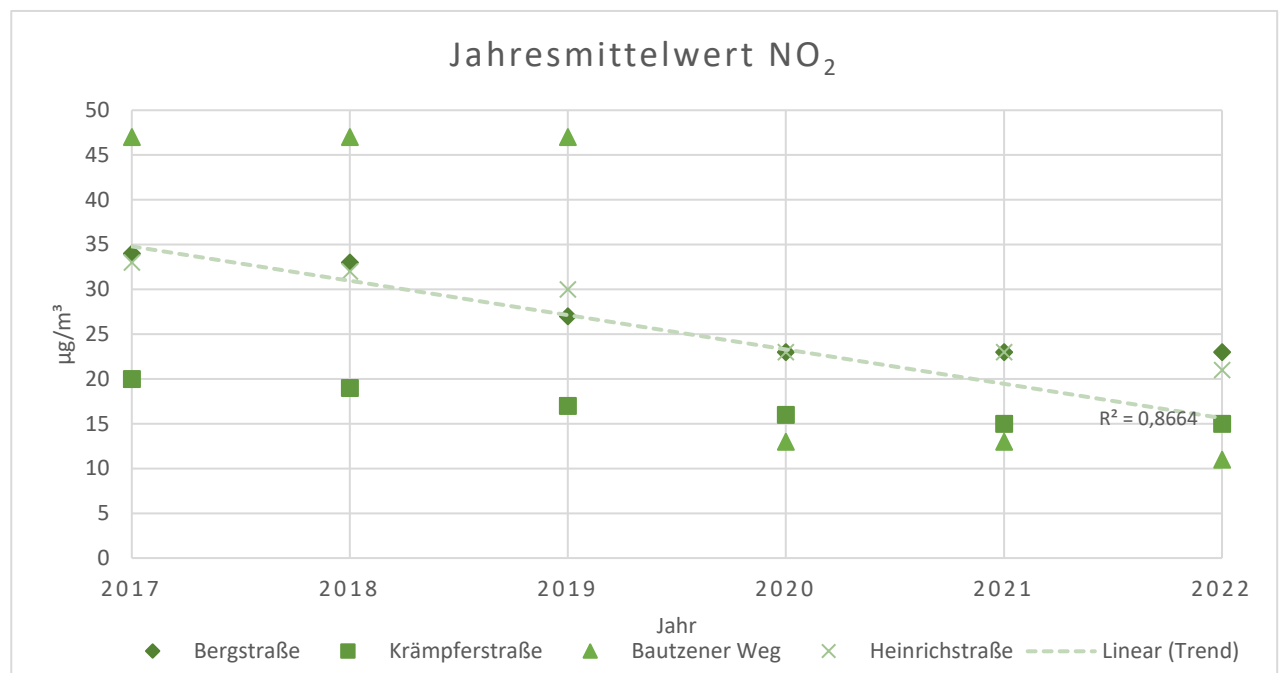


Abbildung 16: Jahresmittelwerte NO_2 an Luftmessstationen TLUBN

Dennoch ist zu erwähnen, dass potentielle Messunsicherheiten der genutzten Sensoren ein wichtiger Faktor bei der Beurteilung der gemessenen Luftschadstoffe sind. Die Fehlertoleranzen nach (39. *BImSchV*, 2010) der Referenzmethoden (bei allen Luftmessstationen genutzt) liegt für Messungen von NO_2 bei unter 15 % und für Partikel ($\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2,5}$) bei unter 25 %. Damit sind für detaillierte Analysen auf Grundlage von Luftschadstoffmessungen die lokalen Messunsicherheiten zu beachten. Das räumliche und zeitliche Aggregieren über mehrere Messstationen und Zeiträume kann Messunsicherheiten reduzieren. Durch die Aggregation auf höhere Zeitskalen werden Ausreißerwerte, die durch zufällige Störungen oder Messfehler verursacht werden, gemittelt. Dies führt zu zuverlässigeren Durchschnittswerten (Bosch, 1997). Durch das Aggregieren der Messreihen der TLUBN Messstationen über vier Stationen und sechs Jahre, sowie der kontinuierlichen Qualitätssicherung durch das TLUBN wird den Werten in dieser Betrachtung daher vertraut.

Die Daten liegen als Jahresmittelwerte in Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) und als Anzahl der Überschreitungstage im Jahr vor. Die aggregierten Daten der Messreihen wurden stationsspezifisch und jährlich erfasst um die Luftqualität an verschiedenen Standorten und über die Zeit hinweg zu verfolgen. Die Ergebnisse dieser Analyse zeigen, dass die NO_2 -Jahresmittelwerte von $33,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2017 auf $17,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2022 gesunken sind, was einer Reduzierung um 48 % entspricht (Abbildung 16). Im Gegensatz dazu sind die PM_{10} -Jahresmittelwerte weitgehend stabil geblieben (Abbildung 17). Die Anzahl der Tage, an denen der Grenzwert für PM_{10} überschritten wurde, ist von 7,3 im Jahr 2017 auf 1,8 im Jahr 2022 um 76 % gesunken (Abbildung 18).

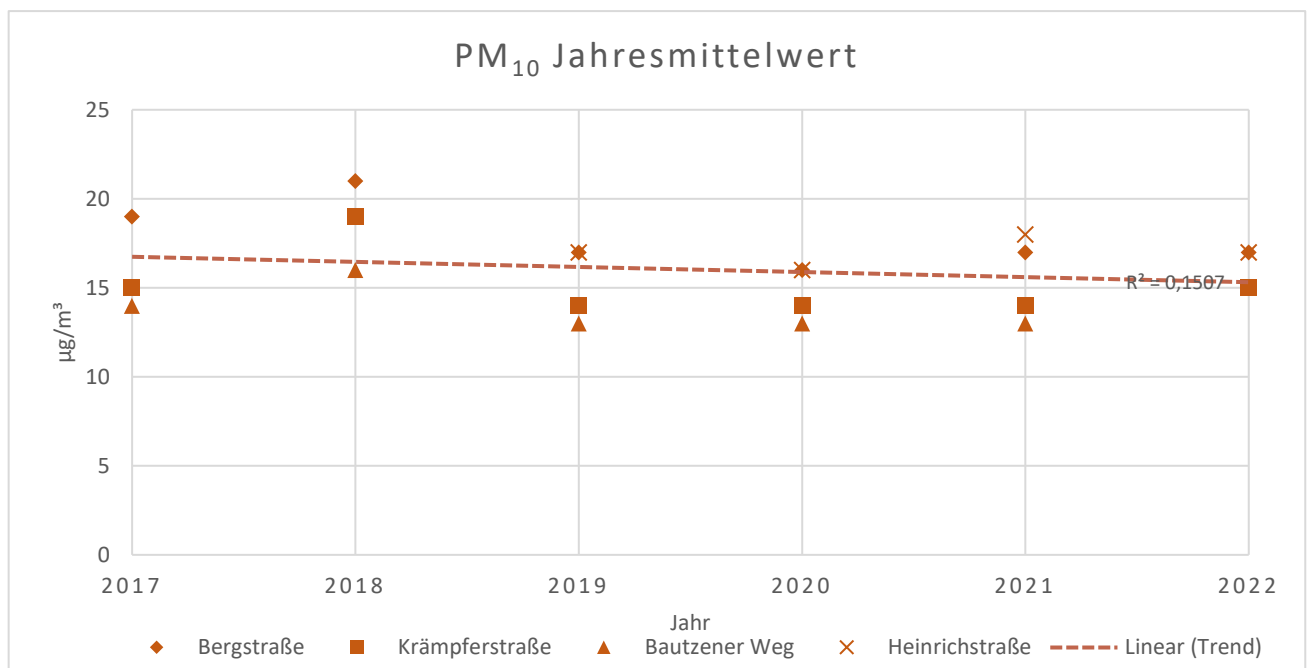


Abbildung 17: Jahresmittelwerte PM_{10} an Luftmessstationen TLUBN

Trotz dieser positiven Entwicklungen ist es wichtig zu betonen, dass eine alleinige Korrelation zwischen der Aktivierung des UVE und der Luftqualität nicht ausreicht. Das UVE ist hauptsächlich aktiv, um Spitzenbelastungen zu bewältigen, daneben beeinflussen zahlreiche weitere Faktoren die Luftqualität.

Sie hat sich in den letzten Jahren verbessert und die Grenzwerte für Stickstoffdioxid und Feinstaub wurden deutlich unterschritten. So lag an der Messstation Bergstraße der NO_2 -Jahresmittelwert in 2010 noch bei $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmittelgrenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und es gab 37 Tage mit PM_{10} -Tagesgrenzwertüberschreitungen (TLVwA, 2012).

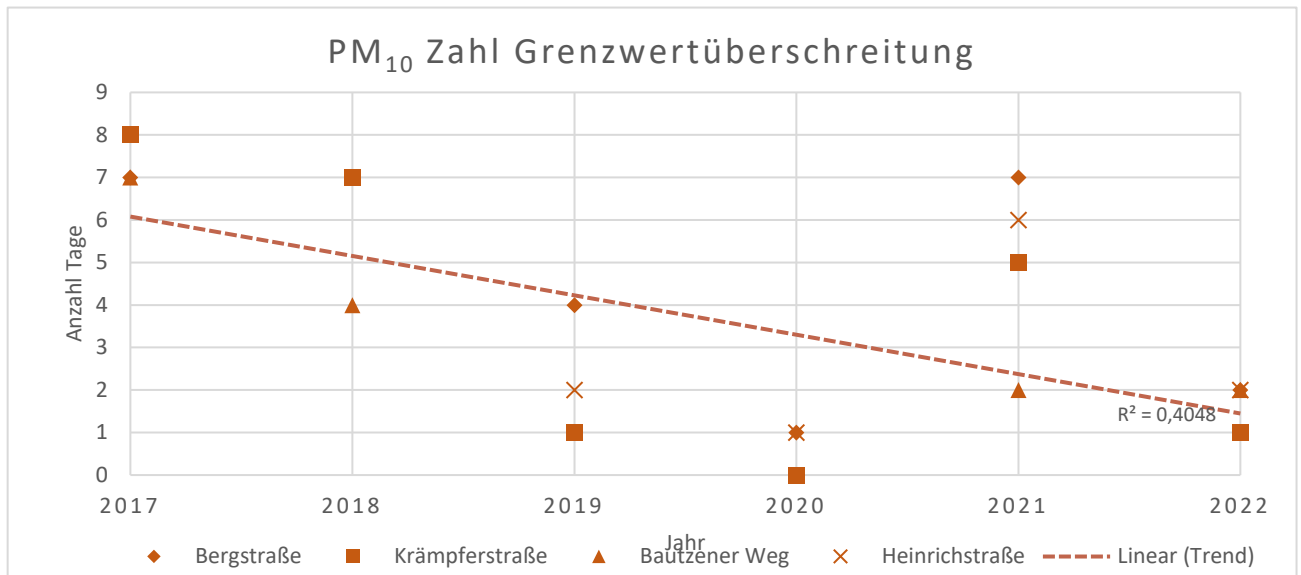


Abbildung 18: Anzahl Tage Grenzwertüberschreitungen PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) an Luftmessstationen TLUBN

4.2.3 UVE Umweltwirkungen im Verbund

Neben dem Aufbau des UVE trugen weitere Maßnahmen und Faktoren zur Verbesserung der Luftqualität bei. So gab es deutliche Veränderungen im Flottenmix. Die Neuzulassungen von Dieselfahrzeugen in Thüringen sind von 2017 bis 2022 um 42 % gesunken (Abbildung 19). Auf bundesweiter Ebene sind Pkw mit Benzinmotoren von 2018 bis 2022 um 8 % zurückgegangen, während Pkw mit Dieselmotoren einen Rückgang von 15 % verzeichneten. Gleichzeitig verzeichneten Pkw mit alternativen Antrieben, darunter Elektrofahrzeuge, Hybridfahrzeuge und Gasfahrzeuge, einen Anstieg um 125 % (KBA, 2023). Diese Verschiebung in der Fahrzeugflotte tragen insbesondere zur Reduktion von Stickstoffdioxidemissionen bei.

Dabei gilt es aber auch zu erwähnen, dass der Anteil an Schwerverkehr (SV) gleichgeblieben ist und sich dort nur Verbesserung durch effizientere Abgasreinigung abzeichnen können. Die Motorkonzepte noch immer fast ausschließlich Dieselmotoren. Auch ist die Verkehrsleistung im Bereich des Stadtringes konstant geblieben. So könnte das UVE um Maßnahmen erweitert werden, die diese Faktoren reduziert; beispielsweise ein Umweltbereich während Immissionsspitzen oder auch weitreichendere Zuflussdosierungen.

Bisherige Änderungen im Modal Split, aktuell und künftige Faktoren, wie die Förderung öffentlicher Verkehrsmittel und die Einführung von Optionen wie dem Deutschlandticket, spielen eine zunehmend wichtige Rolle in der Verkehrsplanung. Dies trägt dazu bei, den Individualverkehr und damit die Emissionen weiter zu reduzieren.

In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass das UVE eine entscheidende Rolle bei der Bewältigung von Immissionsspitzen spielt. Obwohl die Luftqualität insgesamt verbessert wurde, sind die durch das UVE initiierten Maßnahmen darauf ausgerichtet, zu Zeiten erhöhter Verkehrsbelastung eine zusätzliche Reduzierung der Schadstoffbelastung zu erreichen. Dies stellt sicher, dass auch in Spitzenzeiten gesundheitliche und ökologische Beeinträchtigungen minimiert werden.

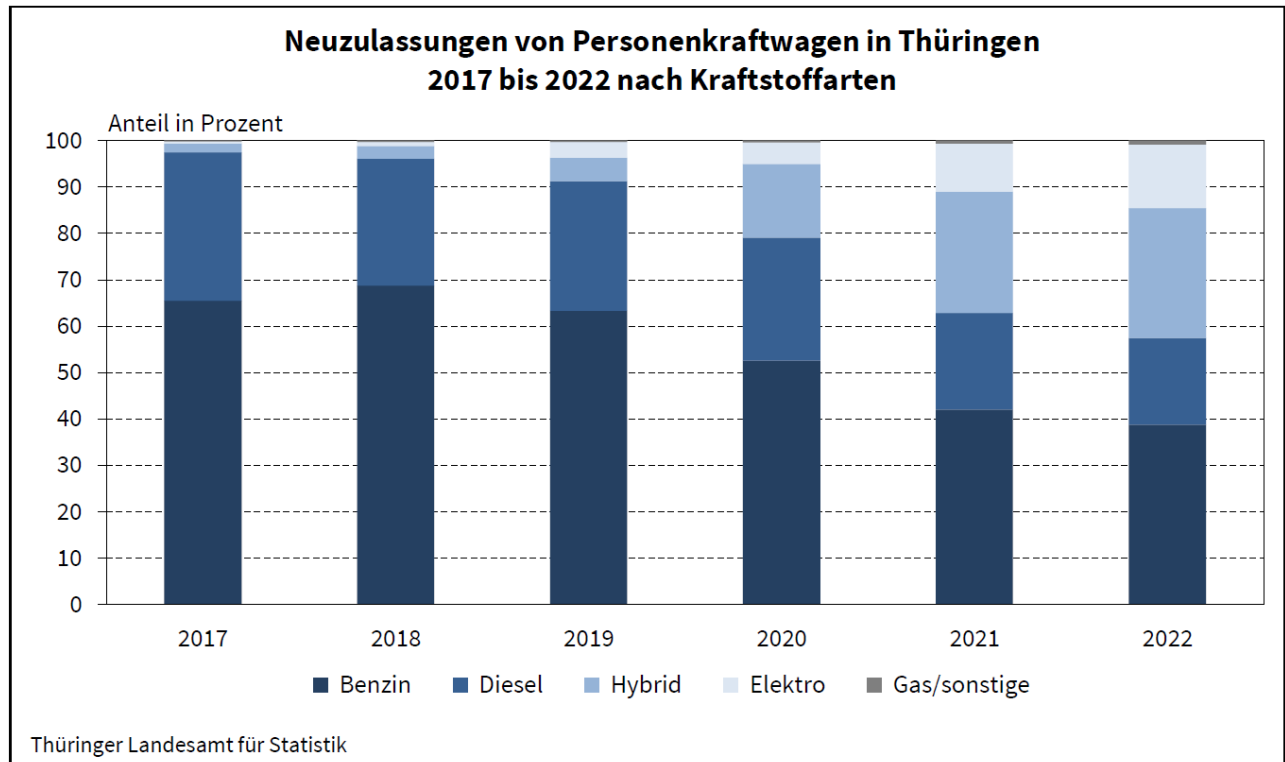


Abbildung 19: Neuzulassungen von PKW in Thüringen von 2017 bis 2022 nach Kraftstoffart (Thüringer Landesamt für Statistik)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das UVE als integraler Bestandteil eines umfassenden Ansatzes zur Verbesserung der Luftqualität in Erfurt betrachtet werden kann. Es ist nicht nur allein für die erzielten Fortschritte verantwortlich, sondern in Kombination mit anderen Maßnahmen, wie einer Reduktion der Fahrleistung, veränderten Flottenmix und einem verstärkten Fokus auf nachhaltige Mobilität ergänzt es das Gesamtpaket zur Förderung der Luftqualität und zur Reduzierung von Umweltauswirkungen.

4.3 UVE im Städtevergleich

Neben der Landeshauptstadt Erfurt haben auch andere, in ihrer Größe vergleichbare deutsche Städte und Regionen Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität ergriffen. Zu diesen gehören unter anderem die Region Stuttgart und die Städte Halle, Darmstadt und Heilbronn. Die Ausgangssituation, ergriffene Maßnahmen sowie die neuste Entwicklung der Luftqualität wird im Folgenden näher beschrieben. Im Anschluss erfolgt ein Vergleich mit der Landeshauptstadt Erfurt.

4.3.1 Verband Region Stuttgart

Der Verband Region Stuttgart (VRS) setzt ein interkommunales Verkehrsmanagement mit regionaler Mobilitätsplattform auf. Die Datenquellen gleichen in vielen Bereichen dem UVE. Aus dem Verkehrsbereich sind zusätzlich noch die Verkehrseignisse Unfälle eingebunden. Die Bereiche Umfeldmonitoring und Umfelddetektion sind, anders als beim UVE, nicht eingebunden. Ein Umweltmonitoringsystem ist auch nicht Teil des Verkehrsmanagements.

Die Maßnahmenauswahl im Strategiemanagement VRS folgt in weiten Teilen der Vorgehensweise im UVE. Aufbauend auf der vorhandenen Datenbasis erfolgen Situationsermittlung, Strategieauswahl, Maßnahmenauswahl und Aktorschaltung. Das VRS fokussiert sich dabei stärker auf die Optimierung des Verkehrsflusses, im Untersuchungskorridor Böblingen sind dies fünf Strategien mit Maßnahmen zur Lichtsignalanlagensteuerung (VRS, 2023). Die Maßnahmen des UVE zielen neben der Verstärkung des Verkehrsflusses auf die umweltseitige Wirkung, insbesondere Schadstoffreduktion. So nutzt das UVE eine größere Datenbasis. Im Gegensatz zum UVE werden beim VRS keine Daten zu

- modellbasierter Verkehrslage
- Meteorologiemessstellen und Glättemeldungen
- Umweltmessstellen
- modellbasierten Luftschadstoffemissionen und – immissionen

genutzt. Die Strategieumsetzung bezieht sich beim VRS räumlich auf das gesamte strategische Verkehrsnetz, beim UVE darüber hinaus flächendeckend auf das gesamte Stadtzentrum. (Bauhaus-Universität Weimar und pwp-systems GmbH, 2023)

4.3.2 Darmstadt

Die Stadt Darmstadt beschäftigt sich bereits seit dem Jahr 2005 mit Aktionsplänen zur Luftreinhaltung. Maßgebendes Problem waren damals vor allem Grenzwertüberschreitungen beim Feinstaub bzw. PM_{10} . Bis zum Jahr 2011 konnte mittels zweier Aktionspläne zur Luftreinhaltung der Grenzwertüberschreitung beim Feinstaub effektiv entgegengewirkt werden. Weniger Wirkung verzeichnete sich jedoch bei der Belastung durch Stickoxide, insbesondere Stickstoffdioxid, sodass seit 2011 weitere Aktionspläne zur Luftreinhaltung in Darmstadt aktiv sind. Bis 2019 wurden im Rahmen dieser Aktionspläne Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen von Industrie- und Abfallverbrennungsanlagen und Gebäudeheizungen sowie des Kfz-Verkehrs ergriffen. Zu den lokal ergriffenen Maßnahmen gehören Lkw-Durchfahrverbote, die Einführung einer Umweltzone, eine regelbasierte Versatzzeitoptimierung an Lichtsignalanlagen sowie der Ausbau des ÖPNV (HMUKLV, 2019).

Nach Angaben des hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz und Landwirtschaft (HMUKLV, 2019) wurden folgende regionale Maßnahmen ergriffen:

- Lkw-Durchfahrverbote
- Einführung einer Umweltzone
- Einführung einer regelbasierten Versatzzeitoptimierung an Lichtsignalanlagen
- Ausbau des ÖPNV
- Verbesserung des Emissionsstandards der Busflotte
- Förderung des Radverkehrs
- Park & Ride-Parkplätze
- Regionales und städtisches Mobilitäts- und Verkehrskonzept
- Maßnahmen des betrieblichen Mobilitätsmanagements
- Förderung von Elektromobilität
- Ausbau des Car-Sharing
- Entwicklung eines Gesamtkonzepts zur Verkehrsflussverflüssigung im innerstädtischen Straßennetz

Darüber hinaus wird deutschland- und europaweiten Maßnahmen eine Wirkung auf die Luftqualität in Darmstadt zugeschrieben. Bspw. hat die Einführung neuer Typprüfzyklen einen übergeordneten Einfluss auf die Flottenzusammenstellung der in Darmstadt verkehrenden Kfz. Weiterhin ist Darmstadt Teil eines regionalen LKW-Routenkonzepts für die Region Rhein-Main.

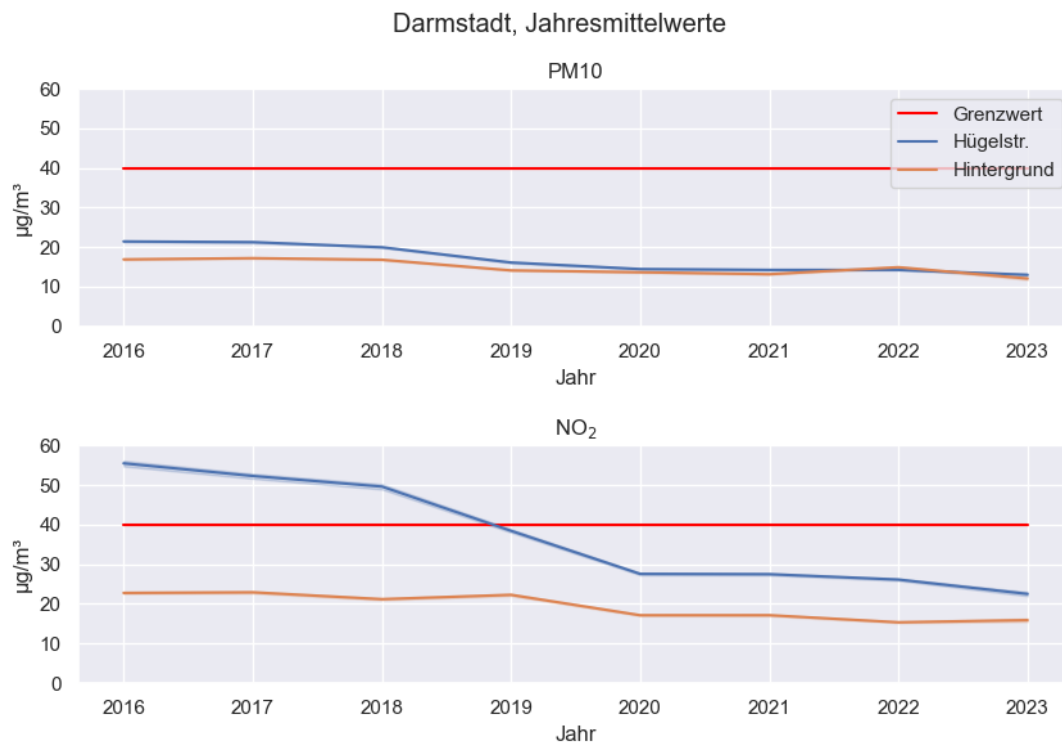


Abbildung 20: Immissionen Feinstaub und Stickstoffdioxid an offiziellen Luftmessstationen Darmstadt [nach HLNUG 2023]

Im Jahr 2019 wurde der aktuell gültige Luftreinhalteplan verabschiedet. Im Fokus steht dabei die Reduktion verkehrsnaher NO₂-Emissionen. Zur Ermittlung notwendiger Maßnahmen wurden Modell- und Prognose-rechnungen angefertigt. Die Prognose ergab dabei, dass es im Jahr 2020 nur noch in drei städtischen Berei-chen zu einer Überschreitung der Grenzwerte für NO₂ kommt, wovon die Messstelle Hügelstraße die höch-sten NO₂-Werte aufweist. Auf Basis dieser Prognose wurde im Juni 2019 ein Dieselfahrverbot für die betroffe-nen Abschnitte eingerichtet. Abbildung 20 zeigt die Entwicklung der Luftqualität an genannter Messstelle für den Zeitraum 2016-2022. Deutlich erkennbar ist ein Rückgang der NO₂-Jahresmittelwerte ab Inkrafttreten des Dieselfahrverbots.

4.3.3 Halle an der Saale

Die Stadt Halle verfolgt seit 2018 den sogenannten „Erstellung Masterplan Luftreinhaltung für die Stadt Halle (Saale) – GCP Halle“ (Stadt Halle, 2018). Dieser ist auf stetige Überschreitungen der NO₂ Grenzwerte an der Paracelsusstraße im Zeitraum von 20120 bis 2017 zurückzuführen. Obgleich die Paracelsusstraße im Fokus des Projekts steht, ist das Ziel ein gesamtstädtisches Strategiemanagement mit umwelt- und ÖPNV-sensitiver Verkehrssteuerung umzusetzen. Die Maßnahmen beschränken sich dabei ausschließlich auf den Sektor Ver-kehr und Mobilität. Zu den konkreten Maßnahmen gehören entsprechend dem „Masterplan Luftreinhaltung Green City Plan“ unter anderem:

- Umwelt- und ÖPNV-sensitive Verkehrssteuerung
- Förderung des ÖPNV

- Förderung von Elektromobilität
- Intermodale Mobilitätsangebote
- Busse mit alternativen Antrieben
- Verbesserung des Fuß- und Radwegenetzes
- Fahrradverleihsystem und Mobilitätsstationen
- Verkehrsvermeidung in der Innenstadt (autoarme Innenstadt)

Für die Umsetzung dieser Maßnahmen ist im Masterplan zudem der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur vorgesehen. Dies umfasst Sensorik, Hard- und Software zur Datenverarbeitung und -verknüpfung sowie Informationstafeln für Verkehrsteilnehmer. Darüber hinaus soll ein elektronisches Ticketing im ÖPNV realisiert werden.

Die Ausgangssituation der Luftqualität war vor der Umsetzung des Masterplans weniger kritisch als in anderen Städten, wie bspw. Darmstadt, wo sämtliche verkehrsnahen Umweltmessstationen die Grenzwerte für NO_2 regelmäßig überschritten. Betrachtet man jedoch die Entwicklung der NO_2 -Belastung (Abbildung 21), so weist der stetig sinkende Wert auf eine Verbesserung der Luftqualität und somit ein Eintreten der ge-

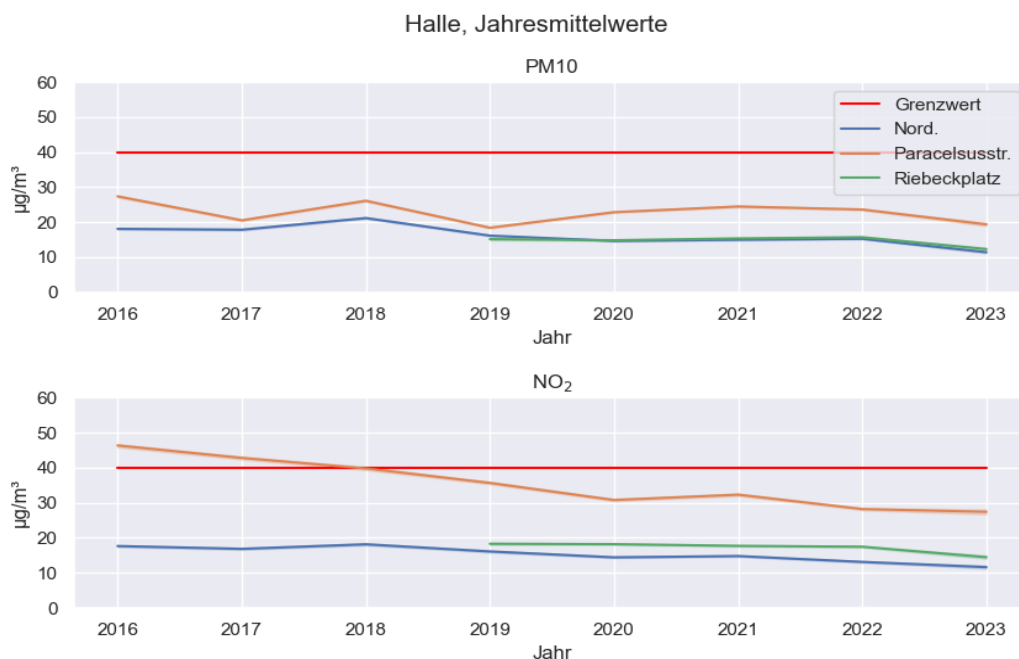


Abbildung 21: Immissionen Feinstaub und Stickstoffdioxid an offiziellen Luftmessstationen, Halle an der Saale [nach LÜSA 2023]

wünschten Wirkung des Masterplans hin. Betrachtet man jedoch die Feinstaubbelastung in der Paracelsusstraße, so ergibt sich ein anderes Bild. In diesem Fall ist über den Verlauf der letzten sieben Jahre kein Trend zu erkennen. Jedoch ist zu betonen, dass die Feinstaubbelastung im Jahresmittel über den Zeitraum von 2016 bis 2022 deutlich unterhalb des Grenzwertes liegt.

4.3.4 Heilbronn

Nachdem 2008 der Immissionsgrenzwert im Jahresmittel für NO_2 überschritten worden war, erstellte Heilbronn im selben Jahr erstmals einen Luftreinhalteplan, welcher später im Jahr 2011 zusätzlich fortgeführt wurde. Während die Immissionsgrenzwerte für Feinstaub ab dem Jahr 2012 eingehalten wurden, überschritten die Messwerte der NO_2 -Belastung weiterhin die Grenzwerte, sodass sich die darauffolgenden Maßnahmen vor allem auf die Senkung der NO_2 -Belastung fokussieren (Regierungspräsidium Stuttgart, 2020).

Für den aktuellen Luftreinhalteplan aus dem Jahr 2020 (Masterplan Green City Heilbronn) wurde der Ist-Zustand mit Messwerten von 2019 mithilfe von Messdaten in einem Screening-Verfahren modelliert. Eine Validierung der Modellierung erfolgte stichprobenweise anhand von Berechnungen mit dem Umweltmonitoringsystem Miskam von Lohmeyer (Eichhorn, 2021). Schließlich wurde mithilfe des Basismodells eine Prognose für die Folgejahre erstellt. Aus diesen wurden schließlich folgende Maßnahmen abgeleitet:

- Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeit in Straßenabschnitten (50 km/h → 40 km/h)
- Ausbau des ÖPNV
- Modernisierung der Busflotte
- Selektives Durchfahrtsverbot für Lkw ab 3,5 t
- Einsatz von Luftfilteranlagen
- Parkraumbewirtschaftung
- Stärkung des Radverkehrs (Fahrradstraßen, zusätzliche Fahrradstellplätze/ -parkhäuser)
- Intelligente Verkehrssteuerung
- Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens durch Marketing, insbesondere bei Neubürgern

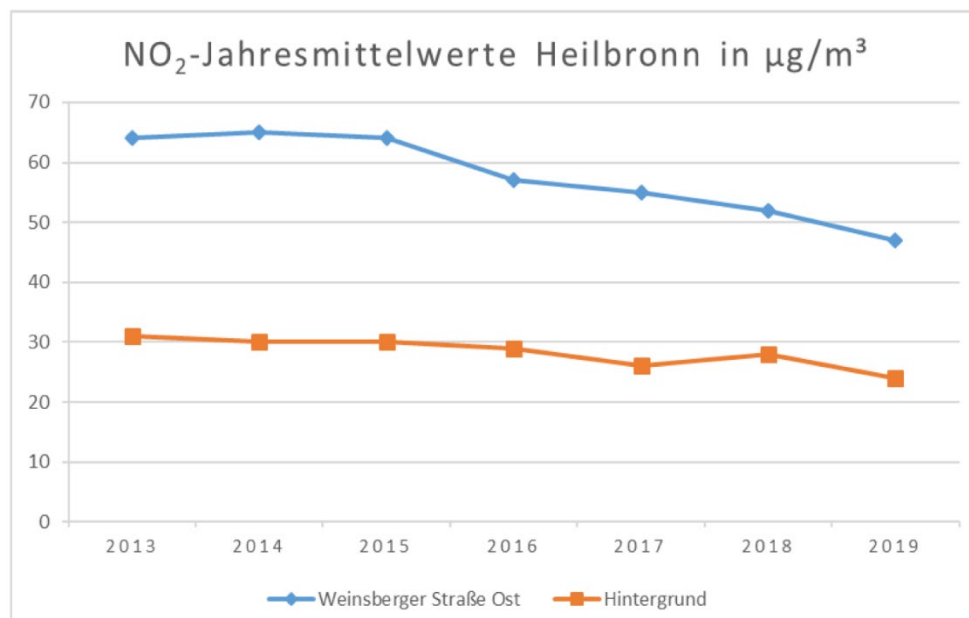


Abbildung 22: Immissionen Stickstoffdioxid an offiziellen Luftmessstationen Heilbronn [nach LUBW 2023]

Ursprünglich war zudem ein streckenbezogenes Verkehrsverbot für alle Kfz mit Dieselmotor unterhalb der Abgasnorm Euro 6/VI angedacht, welches ab April 2021 in Kraft treten sollte. Jedoch war dies aufgrund einer Unterschreitung der NO₂-Messwerte ab dem Jahr 2020 nicht mehr notwendig. Ab dem Jahr 2020 stabilisiert sich jedoch der Jahresmittelwert der NO₂-Messwerte an der kritischen Messstation in der Weinsberger Straße (Abbildung 22). Bei einer Senkung der Grenzwerte kann es somit notwendig sein, weitere Maßnahmen zu ergreifen.

4.3.5 Vergleichende Diskussion

Die Entwicklung der Luftqualität in den dargestellten Städten und Verbänden und der Landeshauptstadt Erfurt ist im Allgemeinen sehr ähnlich. So stellt die Belastung der Luftqualität durch Feinstaub in keiner dieser Regionen ein Problem mehr dar. Im Kontext Stickoxide weisen die Messstellen der Städte ab ca. 2018 einen deutlichen Rückgang der gemessenen NO₂-Immissionsbelastung auf. Darüber hinaus gibt es in allen Städten jeweils verkehrsintensive Hotspots, an welchen die NO₂-Belastung die Jahresmittelwerte ohne Ergreifen von

Maßnahmen voraussichtlich bis 2023 überschritten hätten. Eine Besonderheit stellt die Situation in Heilbronn dar, wo ein ganzes Teilstraßennetz von NO_2 -Grenzwertüberschreitungen betroffen wäre. Die verkehrsnahen Hotspots bilden jeweils die Grundlage der jeweiligen Luftreinhaltepläne.

Die Maßnahmen der Städte verfolgen größtenteils den gleichen Ansatz: Durch Ausbau und Stärkung umweltfreundlicher Transportmodi, wie bspw. ÖPNV und Radverkehr, soll das Verkehrsaufkommen und damit die verkehrsbedingten NO_2 -Emissionen langfristig reduziert werden. Darüber hinaus spielt die Verstetigung des Verkehrs zur Reduzierung von Anfahrvorgängen, bspw. mithilfe grüner Wellen und intelligenter Verkehrsmanagementsysteme, eine zentrale Rolle. Zu den restriktiven Maßnahmen gehören jeweils Einschränkungen für den Lkw-Verkehr. Die in der einschränkende Wirkung, aber auch der Wirkung hinsichtlich der NO_2 Belastung, haben Durchfahrtsverbote für Fahrzeuge mit älteren Abgasnormen (Dieselfahrverbote). Aufgrund der stark einschränkende Wirkung wird dies jeweils als letzte Maßnahme gehandhabt und kann rechtlich nur umgesetzt werden, wenn eine hinreichende Verhältnismäßigkeit gegeben ist. Aufgrund dieser Einschränkungen wurde ein solches Verbot nur in besonders kritischen Straßenabschnitten der Stadt Darmstadt eingeführt. Als einzige Stadt greift Heilbronn neben Maßnahmen zur Verminderung der verkehrlichen Emissionen auf die Filterung bereits belasteter Luft zurück. Hierzu wurden entlang besonders kritischer Straßenzüge Luftfilter aufgestellt.

Abschließend kann die Aussage getroffen werden, dass alle vorgestellten Städte ihre Ziele mit den getroffenen Maßnahmen erreichen konnten. Obgleich die Jahresmittelwerte der NO_2 -Belastung in allen Vergleichsstädten unterhalb des Grenzwertes liegen, konnte jedoch neben Erfurt nur Darmstadt einen Jahresmittelwert unterhalb von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreichen. Neben der Verbesserung der Luftqualität ist den vorgestellten Luftreinhalteplänen zudem eine positive Wirkung auf den Ausbau des ÖPNV und die Modernisierung der Verkehrsinfrastruktur zuzuschreiben.

Auch im Vergleich zu anderen Städten hat Erfurt beim Kriterium Luftqualität somit einen sehr positiven Stand erreicht. Sie belegt Platz 10 der deutschen Städte (>40.000 Einwohner:innen) mit der geringsten Feinstaubbelastung (EEA, 2023). Jedoch wird laut WHO erst von einer guten Luftqualität gesprochen, wenn die Feinstaubbelastung höchstens $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beträgt (WHO, 2021). In Erfurt beträgt sie $8,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Durchschnitt über die letzten zwei Jahre.

5 AQMesh: mobile Luftqualitätssensoren im UVE

In diesem Kapitel werden die mobilen Luftmesssysteme AQMesh vorgestellt; welche Rolle sie im UVE erfüllen sollen; wie sie zu warten, kalibrieren und validieren sind und für welche weiteren Anwendungen sie eingesetzt werden können. Zusätzlich werden in einer ersten Betrachtung die AQMesh Messungen und Messungen der offiziellen Luftmesssysteme des Thüringer Landesamtes für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN) verglichen.

5.1 Luftqualitätsmessungen mit AQMesh

Die Landeshauptstadt Erfurt hat fünf mobile Luftmesssysteme AQMesh der Firma Environmental Instruments Ltd. (fünf Geräte) erworben. Die Geräte messen mittels elektrochemischer Sensoren die gasförmigen Luftschadstoffe Stickstoffdioxid (NO_2) und Ozon (O_3) und mittels optischen Partikelzähler den festen Luftschadstoff Feinstaub (PM_{10}) (Environmental Instruments Ltd., 2018).

Die Bauhaus-Universität Weimar hat die Wartung der Messsysteme übernommen und führt sie in den Laboren der Bauhaus-Universität Weimar durch. Entgegen dem ursprünglichen Zeitplan werden diese Leitungen bis zum Jahr 2025 übernommen. Somit ergibt sich die Möglichkeit, die Ergebnisse der mobilen und der stationären Detektion mit der seit Ende 2022 vollständig implementierten Immissionsmodellierung des Erfurter Hauptstraßennetzes in Bezug zu setzen.

Wartung

Zur Gewährleistung korrekter Messungen sind die Geräte einer kontinuierlichen Wartung zu unterziehen. Dies beinhaltet Monitoring der Messungen und die Reinigung der Messsysteme. Die Sensoren zur Partikelmessung (PM_{10}) sollen je nach Schadstoffbelastung ein- bis zweimal pro Jahr gereinigt werden. Die elektrochemischen Sensoren werden in regelmäßigen Intervallen, abhängig von der lokalen Schadstoffbelastung, getauscht. Durch das elektrochemische Messprinzip verbrauchen sich die Sensoren über die Zeit, bis das mit den gasförmigen Luftschadstoffen reagierende Gas im Sensor aufgebraucht ist.

5.1.1 Kalibrierung und Validierung AQMesh

Zur Gewährleistung der Messgenauigkeit im gesetzlichen Rahmen müssen die ermittelten Rohdaten regelmäßig aufbereitet, mit Referenzdaten verglichen und gegebenenfalls angepasst werden. Dazu werden sie an AQMesh Vergleichsmessreihen kalibriert und an TLUBN Messreihen validiert.

Kalibrierung

Um die optimalen Messungen zu erreichen sind die AQMesh Luftmesssysteme der regelmäßigen Kalibrierung und Validierung zu unterziehen. Die Kalibrierung (honeypot-Methode) umfasst einen regelmäßigen Standortwechsel eines der Luftmesssysteme zwischen der Kalibrierungsphase des Gerätes an einer offiziellen Luftmessstation des TLUBN. Die AQMesh Messungen werden mit den Daten der offiziellen Station verglichen und bei Abweichungen mit einem Korrekturfaktor angeglichen. Das kalibrierte AQMesh Gerät wird anschließend in unmittelbarer Nähe der restlichen in der Stadt verteilten AQMesh Geräte in ausgemachter Reihenfolge für mehrere Wochen befestigt. An jedem Gerät werden die Messungen mit dem kalibrierten Gerät verglichen und gegebenenfalls angepasst. Hat das kalibrierte Gerät alle Stationen durchlaufen wird es an einer offiziellen Messstation des TLUBN neu kalibriert und der Zyklus startet erneut.

Validierung

Die Validierung der AQMesh Messqualität erfolgt durch Anbringung aller Geräte an offiziellen Luftmessstationen des TLUBN, die nicht schon zur Kalibrierung verwendet wurden, und dem Messreihenvergleich mit den offiziellen Luftmessstationen. Die AQMesh Geräte sind bis zum Zeitpunkt des Vergleiches, 31.12.2022, noch nicht mit der honeypot-Methode kalibriert. Erste Analysen der Zeitreihen zeigen, dass die noch nicht kalibrierten und validierten AQMesh Rohdaten (Anlage III:) ähnliche Werte wie die TLUBN Luftmessstationen liefern. Durch Anpassung des Offsetfehlers liegen sie meist im Bereich der vorgeschriebenen Messwerttoleranzen (siehe 4.2.2) können zur Immissionsermittlung genutzt werden.

5.1.2 Vergleich AQMesh und Umweltmonitoringsystem Prokas^{Online}

Die Kalibrierung ermöglicht es, die vier in der Stadt verteilten AQMesh Geräte kurzfristig an Orte von Interesse zu verteilen. Beispielsweise in Bereiche, die nicht von offiziellen Luftmessstationen erfasst werden, aber potenziell erhöhte Luftbelastungen aufweisen könnten. So werden sie zur Validierung der zur Immissionsmodellierung genutzten Monitoringsysteme PROKAS^{online} und MISKAM genutzt.

Geplant ist auch ein Einsatz in einem Forschungsprojekt der Bauhaus-Universität Weimar in Zusammenarbeit mit der Hochschule Schmalkalden. Im Projekt InMeA wird auf Grundlage von Verkehrs- und Umweltmessdaten und dem Einsatz von KI-Algorithmen versucht, die Luftqualität für Erfurter Bereiche ohne Messstationen zu extrapolieren. Ein Abgleich der simulierten Ergebnisse Messungen der AQMesh Geräte hilft die Algorithmen zu optimieren.

6 Fazit und Ausblick

Die Evaluation des Umwelterorientierten Verkehrsmanagement Erfurt (UVE) hat gezeigt, dass es ein wirksames Instrumentarium zur Steuerung des Verkehrs und zur Verbesserung der Luftqualität insbesondere während der Spitzenbelastungen ist. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Evaluation gelistet, ein Fazit gezogen und ein Ausblick für mögliche Herausforderungen für das UVE gegeben.

6.1 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Evaluation des UVE wurden entsprechend der erbrachten Leistungen kurz zusammengefasst.

Kontrolle Systemaufbau UVE

Die **Systemarchitektur** des UVE ist **vollständig** und **funktionsfähig**. Das UVE erfüllt nach „Wirkungen zur Umweltentlastung“ (FGSV, 2014) die Voraussetzungen für ein vollständiges und weitgehend automatisiertes UVM:

- Erfassung und Darstellung der aktuellen Umweltsituation
- Prognose der zu erwartenden Umweltsituation
- Wirkungskontrolle, d.h. Überwachung der Auswirkungen der Managementmaßnahmen
- Datenarchivierung zur Evaluierung und als Datengrundlage für die Planung

Der Systemaufbau ist nach Prüfung der physischen und digitalen Infrastruktur und Abgleich mit der für die Fördermittelgrundlage formulierten Architektur „Gesamtkonzept UVE“ (Erfurt, 2015) vollständig und funktionsfähig.

Die **Zusammenarbeit im Verbund** ist **bestätigt**. Die Anbindung aller Schnittstellen zum zentralen Daten- und Strategiemanagementsystem (pwpTMPlatform) ist vollständig. Die Aktivierung erfolgte entsprechend der Grenzwertüberschreitungen am häufigsten in den Wintermonaten und in den morgen- und abendlichen Spitzenstunden. Die Aktivierungshäufigkeit nahm von 2017 bis 2022 mit Ausbaustand und Häufigkeit der Spitzenbelastungen ab. Die realisierten Funktionen des UVE entsprechen den formulierten Maßnahmen von „Gesamtkonzept UVE 2015“ (Erfurt, 2015):

- Immissionsgrenzwerte wurden verlässlich und flächendeckend in gesamter Innenstadt eingehalten
- Monitoring von Klima-, Umwelt- und Verkehrsdaten erfolgt flächendeckend
- Strategiemanagement für kontinuierliches umwelterorientiertes Verkehrsmanagement ist umgesetzt

Wirkungskontrolle UVE

Die **Wirkung** des UVE ist **bestätigt**. Die Datenanalyse städtischer Verkehrsdetektoren und TLUBN Luftmessstationen von 2017 bis 2022 ergab keine negative Beeinflussung der Verkehrsqualität bei sinkender Schadstoffbelastung. Größte Wirkung hatte das UVE während Spitzenbelastungen. Das UVE wirkt im Verbund mit weiteren Maßnahmen und Rahmenbedingungen wie verbesserter Abgasreinigung und Flottenmixänderungen mit gestiegenen Anteilen von Hybrid- und batterieelektrischen Fahrzeugen. Im Vergleich mit anderen Städten hat Erfurt ein weitreichendes UVM aufgebaut. Die Stadt hat eine im Vergleich sehr gute Luftqualität und belegte 2022 Platz 10 der bundesweiten Luftqualität in Städten (EEA, 2023). Die mobilen Luftmesssysteme AQMesh liefern nutzbare Daten und können in UVE-Immissionsmodellierung integriert werden

6.2 Fazit

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das UVE ein wirksames Instrumentarium der umweltorientierten Verkehrssteuerung zu Zeiten verkehrlicher und umweltseitiger Spitzenbelastungen ist. Es trug im Verbund weiteren Faktoren wie Änderungen im Flottenmix zu den sinkenden Schadstoffbelastungen der letzten Jahre bei. Die Evaluation der Wirkung eines solchen Systems ist wegen der zahlreichen Einflussfaktoren und der umfassenden Wirkungszusammenhänge recht komplex. Der Zusammenhang verkehrlicher Emissionen und gemessener Immissionen hängt von vielen Faktoren wie Straßengeometrie, Oberflächenbeschaffenheit, Temperatur, Windrichtung und -stärke, Flottenzusammensetzung, Verkehrsfluss ab. Aus wissenschaftlicher Perspektive konnte die Maßnahmenwirksamkeit erst abschließend ermittelt werden, seitdem das Gesamtsystem in Betrieb ist. Dafür sollten Zeitreihenanalysen von aktiven und nicht aktiven Zeiten mit Verkehrsqualität und Immissionsbelastung betrachtet werden.

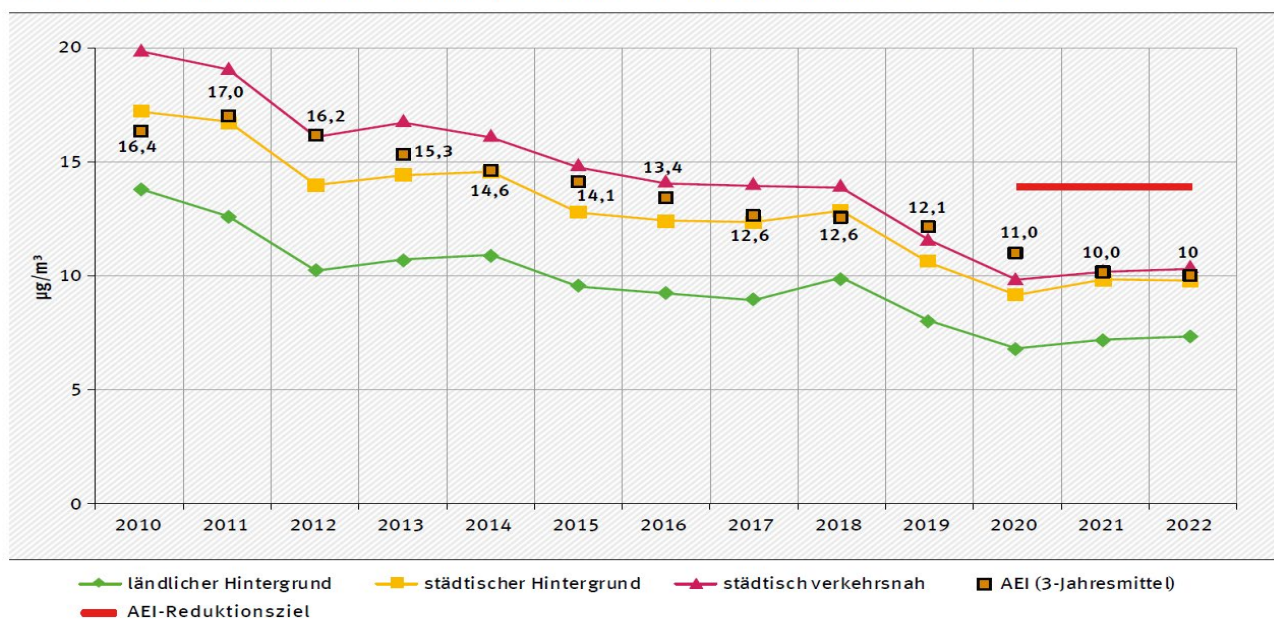
6.3 Ausblick

Durch den Aufbau mit vielen Teilkompartimenten und Datenschnittstellen kann das UVE für künftige Entwicklungen unter geringem Aufwand angepasst werden. Eine Möglichkeit wäre die Anpassung der Aktivierungsparameter für Zuflusdosierungen, variable Geschwindigkeitsbegrenzungen auf 30 km/h und Zufahrtsbeschränkungen für den Schwerverkehr.

Künftige Schadstoffgrenzwerte

Im Bundesvergleich hat Erfurt eine geringe Feinstaubbelastung. Jedoch wird laut WHO erst von einer guten Luftqualität gesprochen, wenn die Feinstaubbelastung höchstens $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beträgt (WHO, 2021). In Erfurt beträgt sie $8,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Durchschnitt über die letzten zwei Jahre. Es ist davon auszugehen, dass es Verschärfungen der Grenzwerte geben wird. Der EU-Grenzwert für $\text{PM}_{2,5}$ (Jahresmittelwert) gilt seit dem 01. Januar 2015 und darf $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten. In Deutschland wurde dieser Wert seitdem und auch

Entwicklung der $\text{PM}_{2,5}$ -Jahresmittelwerte und des Average Exposure Indicators (AEI)
im Mittel über ausgewählte Messstationen im jeweiligen Belastungsregime, Zeitraum 2010–2022



Quelle: Umweltbundesamt 2023

Abbildung 23: Entwicklung Immissionen Feinstaub ($\text{PM}_{2,5}$) Deutschland, Jahresmittelwerte 2010 bis 2022 [UBA 2023]

2022 nicht überschritten (Abbildung 23). Allerdings wird an fast allen der etwa 200 deutschen Stationen (99,5%) der strengere WHO-Richtwert von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel überschritten (UBA, 2023). Dies gilt auch für Erfurt (Abbildung 24). So ist zum Beispiel der Reifenabrieb maßgeblich am Plastikmüll in den Flüssen und Ozeanen verantwortlich (Baensch-Baltrusch et al., 2020).

Die aktuellen Grenzwerte für Feinstaub und Stickstoffdioxid sind vor mehr als 20 Jahren festgelegt worden und entsprechen nicht den heutigen wissenschaftlichen Erkenntnissen über die gesundheitlichen Auswirkungen von Luftverschmutzungen. Die EU-Kommission sieht daher teilweise massive Absenkungen der Grenzwerte für Luftschadstoffe bis 2030 vor. Sie hat am 26.10.2022 Ihren Vorschlag für neue Grenzwerte für zwölf Luftschadstoffe veröffentlicht (European Commission, 26. Oktober 2022). Der vorgeschlagene Jahresmittel-Grenzwert für Stickstoffdioxid soll künftig bei $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ statt wie bisher $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen. Für Feinstaub $\text{PM}_{2,5}$ soll der Jahresmittel-Grenzwert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reduziert werden. Für Feinstaub der PM_{10} -Fraktion soll der Jahresmittel-Grenzwert $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ statt bisher $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ betragen. Die künftigen Grenzwerte für NO_2 und PM_{10} würden in Erfurt aktuell schon eingehalten werden, für $\text{PM}_{2,5}$ aber noch nicht.

Mit dem UVE sind gute Voraussetzungen geschaffen, um auch hier positive Effekte zu erzielen. Durch Anpassungen der Maßnahmen kann dazu beigetragen werden den $\text{PM}_{2,5}$ -Feinstaub zu reduzieren und zukünftige Grenzwerte einzuhalten.

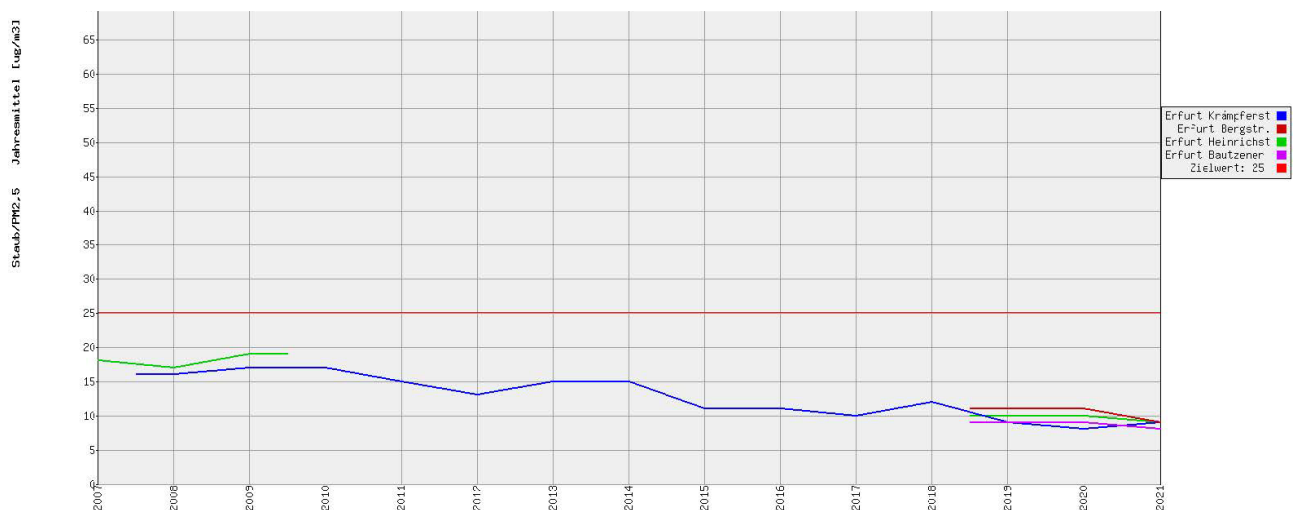


Abbildung 24: Immissionen Feinstaub ($\text{PM}_{2,5}$) Jahresmittel an offiziellen Luftmessstationen TLUBN in Erfurt 2007 bis 2021

Ausweitung Anwendungsbereiche

Das UVE Instrumentarium könnte hinsichtlich zusätzlicher Zielstellungen erweitert werden. So wäre auch ein Fokus auf die Verkehrssicherheit mit Reduktion von Unfallhäufungsstellen möglich.

Auch wäre es denkbar UVE-Maßnahmen im Rahmen von Forschungsprojekten zu untersuchen und zu optimieren.

- Im Rahmen des Projektes Bauhaus.MobilityLab (BML, 2020 - 2023) (Warweg, 10. Oktober 2023) konnten die Schnittstellen des Daten- und Strategiemanagementsystems beim Aufbau eines Real-labors im Erfurter Stadtteil Brühl integriert werden. Die Reallaborumgebung bietet die Möglichkeit, künftig UVE-Anwendungen zu evaluieren. So kann der am Gothaer Platz aufgebaute Forschungsknotenpunkt genutzt werden, um lokale UVE-Wirkungen zu messen und Optimierungsmöglichkeiten zu finden.

- Im Rahmen des Projektes InMeA (Lahmer und Walther, 2022) werden mit in UVE und BML aufgebauten Datenanbindungen datengetriebene Immissionsmodellierungen entwickelt. Diese könnten beitragen die Immissionsmodellierungen des UVE zu optimieren.
- Im Rahmen des Projekts EMI-V (Bauhaus-Universität Weimar, 10. Oktober 2023) werden am Gothaer Platz Emissionen von Reifen- und Bremsenabrieb gemessen und modelliert. Mit den Erkenntnissen werden Verkehrsflussoptimierungen gesucht, die diese Emissionen reduzieren. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse könnten das UVE zur weiteren Reduktion der Feinstaubbelastung optimieren.
- Im Rahmen der EU- Initiative European Digital Innovation Hubs (EDIH) (BMWK, 10. Oktober 2023) werden in Europa ein flächendeckendes Netz von Hubs aufgebaut, um die digitale Transformation der Wirtschaft und der Verwaltung zu unterstützen. Unter Koordinierung der Bauhaus-Universität Weimar wird dafür in Thüringen ein regionales Zentrum zur Beratung von KMUs und öffentlichen Einrichtungen aufgebaut. So könnte das UVE als Best-Practice Beispiel zur Digitalisierung im Verkehr über Erfurt kommuniziert und Erfurt sich als Standort innovativer und nachhaltiger Mobilitätskonzepte präsentieren,

Literatur

2010. 39. *BImSchV* [online]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_39/anlage_3.html

BAENSCH-BALTRUSCHAT, B., B. KOCHER, F. STOCK und G. REIFFERSCHIED, 2020. Tyre and road wear particles (TRWP) - A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment [online]. *The Science of the total environment*, **733**, 137823. The Science of the total environment. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137823

BAUHAUS-UNIVERSITÄT WEIMAR und PWP-SYSTEMS GMBH, 2023. *Abschlussbericht. Wissenschaftliche Begleituntersuchung mit Fokus auf Strategieevaluation für das interkommunale Verkehrsmanagement Untersuchungs-Korridor Böblingen (Ringzentrale) der Regionalen Mobilitätsplattform*. Weimar / Halle (Saale).

BAUHAUS-UNIVERSITÄT WEIMAR, 10 Oktober 2023, 12:00. *EMI-V* [online] [Zugriff am: 10. Oktober 2023]. Verfügbar unter: <https://www.uni-weimar.de/de/bauingenieurwesen/professuren/verkehrssystemplanung/forschung/emi-v/>

BERRY, D., J.B. MCMORRAN, D. GRANT MICKLE und W.N. CAREY JR., 1965. *Highway Capacity Manual*. National Academy of Sciences. Washington, D. C. 1328.

BMWK, 10 Oktober 2023, 12:00. *European Digital Innovation Hubs (EDIH)* [online] [Zugriff am: 10. Oktober 2023]. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/MittelstandDigital/european-digital-innovations-hub.html>

BOSCH, K., 1997. *Lexikon der Statistik. Nachschlagewerk für Anwender* [online]. 2., gründlich überarbeitete und stark erweiterte Auflage. Reprint 2018. Berlin: Oldenbourg Wissenschaftsverlag. ISBN 9783486793161. Verfügbar unter: <https://www.degruyter.com/isbn/9783486793161>

DÜRING, I., T. HOFFMANN, T. FLASSAK und T. NAGEL, 2014. Luftschadstoffprognosemodelle als Umweltmodule für umweltorientiertes Verkehrsmanagement [online]. - Erfahrungen und Empfehlungen aus Projekten in Halle, Magdeburg und Stuttgart, **002/106**. Verfügbar unter: doi:10.13140/2.1.2845.9847

EEA, 2023. *European city air quality viewer* [online] [Zugriff am: 1. Oktober 2023]. Verfügbar unter: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/urban-air-quality/european-city-air-quality-viewer>

EICHHORN, J., 2021. WinMISKAM [Software]. Version 6.42 [Zugriff am: 20. März 2023]. Verfügbar unter: <https://www.lohmeyer.de/downloads/software/>

ENVIRONMEMNTAL INSTRUMENTS LTD., 2018. AQMesh. technical-specification-V5.1.

ERFURT, 2015. *Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Erfurt (UVE). Gesamtkonzept*. Fortschreibung 2015. Stadtverwaltung Landeshauptstadt Erfurt. Erfurt.

ERFURT.DE, 20 März 2023, 12:00. *Parken und Reisen (Park and Ride)* [online] [Zugriff am: 20. März 2023]. Verfügbar unter: <https://www.erfurt.de/ef/de/leben/verkehr/mobil/auto/pr/index.html>

European Commission. *Commission proposes rules for cleaner air and water*, 26. Oktober 2022. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6278

FGSV, 2014. *Wirkung von Maßnahmen zur Umweltentlastung. Teil 3 Umweltsensitives Verkehrsmanagement (UVM)*. Arbeitspapier. Köln. 210/3.

HMUKLV, 2019. *Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Rhein-Main. 3. Fortschreibung Teilplan Darmstadt* [online]. Verfügbar unter: <https://umwelt.hessen.de/Luft-Laerm-Licht/Luftreinhaltung/Luftreinhalteplanung>

INFRAS, IFEU, MK CONSULTING, 2022. HBEFA [Software]. Version 4.2.

KBA, 2023. *Verkehr in Kilometern - Inländerfahrleistung* [online]. *Kurzbericht*.

KRAUS, T., U. PLANK-WIEDENBECK, I. VIEHMANN und P.O. KOHL, 2022. *Wissenschaftliche Begleituntersuchung eines Verkehrsversuches in der Clara-Zetkin-SträÙe, Erfurt*. Halle (Saale).

KRAUS, T., U. PLANK-WIEDENBECK, J. VOGEL, W. HAMEL und P.O. KOHL, 2021. *Wissenschaftliche Begleituntersuchung eines Verkehrsversuches für eine überarbeitete Fahrspru in der Talstraße, Erfurt*.

LAHMER, T. und C. WALTHER, 2022. *Bauhaus-Universität Weimar: InMeA: Intelligente Methoden zur automatischen und nachvollziehbaren Analyse umfangreicher Infrastruktur-, Verkehrs- und Umweltmessdaten* [online]. 24. Mai 2023 [Zugriff am: 24. Mai 2023]. Verfügbar unter: <https://www.uni-weimar.de/de/bauingenieurwesen/institute/ism/forschung/laufende-projekte/inmea/>

PWP-SYSTEMS GMBH, 19. Dezember 2022. Prüfung Vollständigkeit UVE.

PWP-SYSTEMS GMBH, 2019. *Projektdokumentation. Lieferung, Installation und Inbetriebnahme eines Umweltmonitoringsystems in der Landeshauptstadt Erfurt*. pwp-systems GmbH. Halle (Saale).

PWP-SYSTEMS GMBH, 2021a. *Dokumentation. Verkehrsmanagementplattform Erfurt*. Strategiemangement. pwp-systems GmbH. Halle (Saale).

PWP-SYSTEMS GMBH, 2021b. *Systemarchitektur der Verkehrsmanagementplattform Erfurt (VMP)*. pwp-systems GmbH. Halle (Saale).

PWP-SYSTEMS GMBH, 2021c. *VMP-EF_2021-03-04_Strategiemangement-Anlage-A_01-06_pwp*.

REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART, 2020. *Luftreinhalteplan für den Regierungsbezirk Stuttgart Teilplan Heilbronn. 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans zur Minderung der NO₂-Belastung* [online]. Verfügbar unter: https://www.heilbronn.de/fileadmin/daten/stadtheilbronn/formulare/umwelt_mobiltaet/luft/Luftreinhalteplan_fuer_den_Regierungsbezirk_Stuttgart_Teilplan2020_Heilbronn_2._Fortschreibung.pdf

STADT HALLE, 2018. *GCP-HAL - Masterplan Luftreinhaltung. Masterplan Luftreinhaltung Green City Plan* [online]. Verfügbar unter: <https://m.halle.de/de/Verwaltung/Stadtentwicklung/Green-City-Plan/>

SWE EVAG, 2023. *Zahlen und Fakten* [online]. Verfügbar unter: <https://www.evag-erfurt.de/evag/home/wir/zahlenundfakten>

TLVWA, 2012. *Luftreinhalteplan für die Landeshauptstadt Erfurt zur Reduzierung der Luftschadstoffbelastung durch Feinstaub und Stickoxide. 1. Fortschreibung* [online]. Weimar. Verfügbar unter: https://tlubn.thueringen.de/fileadmin/000_TLUBN/Umweltschutz/Immissionsschutz/Luftreinhalteplanung/lrp_erfurt.pdf

UBA, 2023. *Hintergrund // März 2023. Luftqualität 2022* [online]. Vorläufige Auswertung [Zugriff am: 20. März 2023]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2022>

VRS, 2023. *Verband Region Stuttgart: Mobilitätsplattform* [online]. 24. Mai 2023 [Zugriff am: 24. Mai 2023]. Verfügbar unter: <https://www.region-stuttgart.org/de/bereiche-aufgaben/mobilitaet/mobilitaetsplattform/>

WARWEG, O., 10 Oktober 2023, 12:00. *BML Ecosys – Bauhaus.MobilityLab Erfurt* [online] [Zugriff am: 10. Oktober 2023]. Verfügbar unter: https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Standardartikel/KuenstlicheIntelligenzProjekte/KuenstlicheIntelligenz_Alle_Projekte/ki-projekt_bml-ecosys.html

WELOVEAPPS.DE, 2020. Erfurt mobil [Software] [Zugriff am: 6. April 2023]. Verfügbar unter: <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.weloveapps.evag.efmobil&hl=de&gl=US&pli=1>

WHO, 2021. *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide* [online]. Bonn, Germany: WHO European Centre for Environment and Health. ISBN 9789240034228. Verfügbar unter: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK574594/>

Anlagen

Evaluation Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Erfurt (UVE)

Auftraggeber:

Abteilung Verkehr
Tiefbau- und Verkehrsamt
Stadtverwaltung
Landeshauptstadt Erfurt
99111 Erfurt

Auftragnehmer:

Bauhaus-Universität Weimar
Professur Verkehrssystemplanung
Marienstraße 13D
99423 Weimar

Fachliche Bearbeitung:

Marco Fedior

Weimar, 18.10.2023

Anlagen Evaluation UVE

Inhalt

Anlage I: Physische und Digitale Infrastruktur UVE.....	3
II.1 Leit- und Informationsebene	3
II.2 Managementebene.....	6
II.3 Feldebene	11
Anlage II: UVE im Einsatz	19
II.1 Dauer Aktivierung 2017 - 2022	19
II.2 Aktivierung Häufigkeit Tageszeit 2017 -2022	22
II.3 Aktivierungen Häufigkeit Jahreszeit 2017 -2022	25
Anlage III: Vergleich Immissionsmessungen AQMesh und TLUBN	28

Abbildungen

Abbildung 1: Wechselwegweiser Eisenacher/ Hersfelder Straße. Eigene Aufnahme 18.04.2023	3
Abbildung 2: Parkleitwegweiser Gothaer Straße. Eigene Aufnahme 18.04.2023.....	3
Abbildung 3: Standortübersicht Informationstafeln. Screenshot pwpTMPlattform.....	4
Abbildung 4: Stadtinformationstafel Weimarer Straße. Eigene Aufnahme 18.04.2023.....	4
Abbildung 5: MDM Datenabfrage Erfurt vom 20.03.2023. Screenshot.....	5
Abbildung 6: Verkehrsrechner Sitraffic Scala. Physische Infrastruktur. Eigene Aufnahme 08.02.2023	6
Abbildung 7: Verkehrsmodell PTV Visum – Gesamtverkehrsnetz (pwp-systems GmbH, 2021a).....	7
Abbildung 8: PTV Optima - Verkehrslage mit Zählstellen und Baustellen (pwp-systems GmbH, 2021)	8
Abbildung 9: MISKAM - Umweltmonitoring (NO ₂ -Immissionen, 30-min-Werte, Gebiet Clara-Zetkin-Straße ..	9
Abbildung 10: Prokas ^{Online} - Umweltmonitoring Screenshot 10.02.2023	9
Abbildung 11: pwpTMPlattform. Benutzeroberfläche in Erfurt. Eigene Aufnahme 08.02.2023	10
Abbildung 12: pwpTMPlattform. Screenshot 10.02.2023	10
Abbildung 13: Verkehrsstärke auf einem BAB Messquerschnitt. Abfrage über pwpTMPlattform. Screenshot 10.02.2023	11
Abbildung 14: FCD-basierte Verkehrslage. Screenshot 10.02.2023.....	12
Abbildung 15: Parkeinrichtungen. Screenshot 10.02.2023.....	13
Abbildung 16: Parkbezirke. Screenshot 10.02.2023	14
Abbildung 17: Verkehrsnahe Luftmessstation Bergstraße, TLUBN. Eigene Aufnahme 18.04.2023.	16
Abbildung 18: Standortübersicht Messstellen TLUBN und AQMesh. Screenshot 10.02.2023	16
Abbildung 19: AQMesh Luftmesssysteme. 1) Krämpferstraße, 2) Heinrichstraße, 3) Dalbergstraße, 4) Bergstraße, 5) Schillerstraße. Eigene Aufnahmen 18.04.2023.	17

Anlage I: Physische und Digitale Infrastruktur UVE

II.1 Leit- und Informationsebene

Gesamtaufbau	Leit- und Informationsebene
Teilsystem	Verkehrssteuerung: Lichtsignalanlagen
vollständig	Bis 31.12.2022
funktionsfähig	ja
Erläuterung	Die UVE-spezifischen Lichtsignalanlagen (LSA) sind Teil des UVE. Sie wurden teilweise mit Hardware ausgerüstet. Auf alle im UVE aktiven LSA wurden neue Signalprogramme aufgespielt. Diese sind bis auf eine Logik in Betrieb. Die finale Logik wird bis zum 31.12.2012 realisiert. Die Signalprogramme sind daher zum Umsetzungsende vollständig und funktionsfähig .

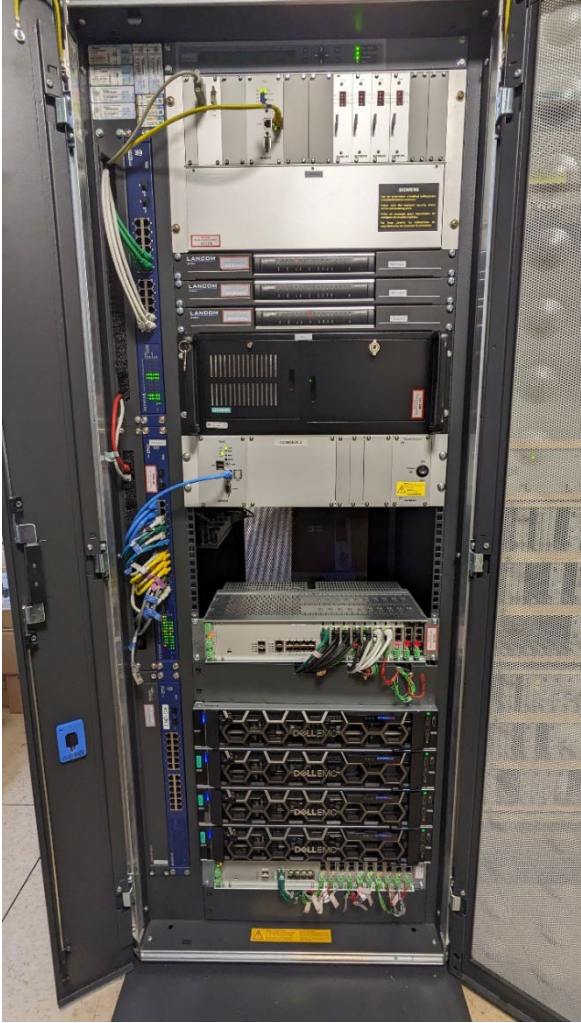
Gesamtaufbau	Leit- und Informationsebene
Teilsystem	Verkehrslenkung: Wechsel- und Parkleitwegweiser
vollständig	ja
funktionsfähig	ja
Erläuterung	Die Parkleitwegweiser sind Teil des städtischen Parkleitsystems. Der Wechselwegweiser Eisenacher/ Hersfelder Straße ist Teil des UVE. Er ist vollständig und funktionsfähig
Abbildung	 Abbildung 2: Parkleitwegweiser Gothaer Straße. Eigene Aufnahme 18.04.2023.  Abbildung 1: Wechselwegweiser Eisenacher/ Hersfelder Straße. Eigene Aufnahme 18.04.2023

Gesamtaufbau	Leit- und Informationsebene
Teilsystem	Verkehrsinformation: Stadtfotafeln
vollständig	83 %
funktionsfähig	ja
Erläuterung	Die Informationstafeln Stadtfotafeln sind Teil des UVE. Sie sind teils erneuert, teils neu aufgebaut. Bis auf zwei Tafeln sind alle Tafeln mit UVE-Information versorgt. Tafel 11 bis 19 sind vollständig und in funktionsfähig . Tafel 20 ist technisch versorgt. Der Aufbau steht auf Grund einer Bauteillieferung aus, die Tafel wird bis zum Umsetzungsende in Betrieb sein. Tafel 21 ist vollständig, der Aufbau ist in Planung.
Abbildung	Abbildung 3: Standortübersicht Informationstafeln. Screenshot pwpTMPlatform. Abbildung 4: Stadtfotafeln Weimarer Straße. Eigene Aufnahme 18.04.2023.

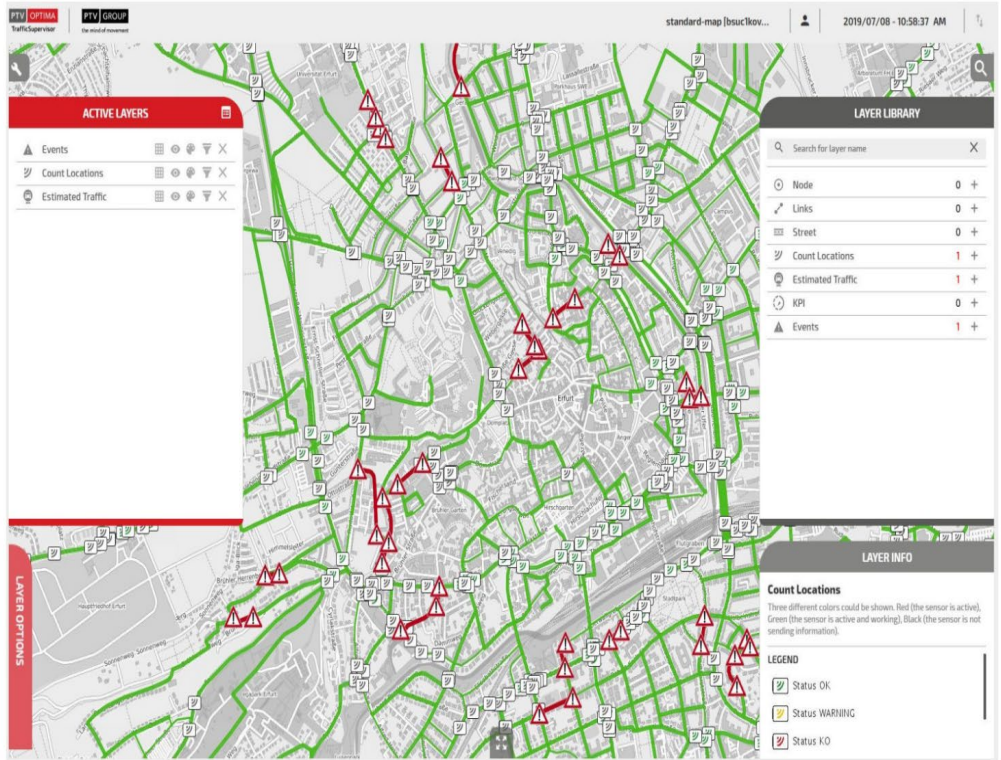
Gesamtaufbau	Leit- und Informationsebene
Teilsystem	Mobilitätsdatenmarktplatz (MDM)
vollständig	ja
funktionsfähig	ja
Erläuterung	Alle bestehenden Daten (Parkdaten, Verkehrslage, virtuelle Informationstafeln) werden im DATEX II Format auf dem Mobilitätsdatenmarktplatz (MDM) bereitgestellt. Die Daten sind nicht Teil des UVE. Es erfolgen keine neuen Publikationen durch das UVE. Aktuell werden die Daten an den MDM Nachfolger Mobilithek überführt. Die Bereitstellung ist vollständig und funktionsfähig.  Abbildung 5: MDM Datenabfrage Erfurt vom 20.03.2023. Screenshot

Gesamtaufbau	Leit- und Informationsebene
Teilsystem	Geoinformationssystem SVEGIS
vollständig	ja
funktionsfähig	ja
Erläuterung	Das SVEGIS ist nicht Teil des UVE. Die Datenanbindung der Verkehrslage- und Parkdaten an das SVEGIS erfolgt über das UVE Daten- und Strategiemanagementsystem, die pwpTMPlatform. Die Bereitstellung ist vollständig und funktionsfähig.

II.2 Managementebene

Gesamtaufbau	Managementebene
Teilsystem	Verkehrsrechnersystem Sitraffic Scala
vollständig	ja
funktionsfähig	ja
Erläuterung	Das Verkehrsrechnersystem Sitraffic Scala ist kein Teil des UVE. Es wurde um die Versorgung der strategischen Verkehrssteuerung des UVE erweitert. Die pwpTMPlatform sendet über eine Schnittstelle Situationsparameter (Verkehr, Parkraum, Umwelt) an Sitraffic Scala. Dieses ermittelt daraus eine Verkehrssteuerung und versorgt die LSA und Stadtinfotafeln mit Steuerungsinformationen. Die Datenbereitstellung der pwpTMPlatform ist in Betrieb, sie ist vollständig und funktionsfähig .
Abbildung	 Abbildung 6: Verkehrsrechner Sitraffic Scala. Physische Infrastruktur. Eigene Aufnahme 08.02.2023

Gesamtaufbau	Managementebene
Teilsystem	Verkehrsmodell (Verkehrsnachfrage und Verkehrsnetz)
vollständig	ja
funktionsfähig	ja
Erläuterung	Das Verkehrsmodell PTV Visum ist nicht Teil des UVE. Das Verkehrsmodell wird jährlich nachkalibriert. Mehrmals pro Jahr erfolgen Modellupdates durch pwp mit Daten aus UVE (neue Verkehrsdetektionen an LSA). Nach jedem Update wird das PTV Visum Gesamtmodell (Nachfrage- und Netzmodell) an PTV Optima übergeben. Das Netzmodell wird an die pwpTMPlatform und Prokas^{online} zur Referenzierung der dortigen Verkehrsnetze übergeben. Alle Schnittstellen sind aufgebaut. Die Datenweitergabe aus PTV Visum ist vollständig und funktionsfähig.
Abbildung	 Abbildung 7: Verkehrsmodell PTV Visum – Gesamtverkehrsnetz (pwp-systems GmbH, 2021a)

Gesamtaufbau	Managementebene
Teilsystem	Verkehrslagesystem PTV Optima
vollständig	ja
funktionsfähig	ja
Erläuterung	Das Verkehrslagesystem PTV Optima (Abbildung 32) ist nicht Teil des UVE. PTV Optima führt im Livebetrieb Onlineverkehrslageberechnungen auf Grundlage von PTV Visum, Baustelleninformationen (BIS) und Floating-Car-Data (FCD) aus. Die Daten werden durch Schnittstellen mit der pwpTMPlatform und PTV Visum bereitgestellt. Die Verkehrslageberechnung bildet eine Eingangsgröße des UVE Umweltmonitoringsystems. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig.
Abbildung	 Abbildung 8: PTV Optima - Verkehrslage mit Zählstellen und Baustellen (pwp-systems GmbH, 2021)

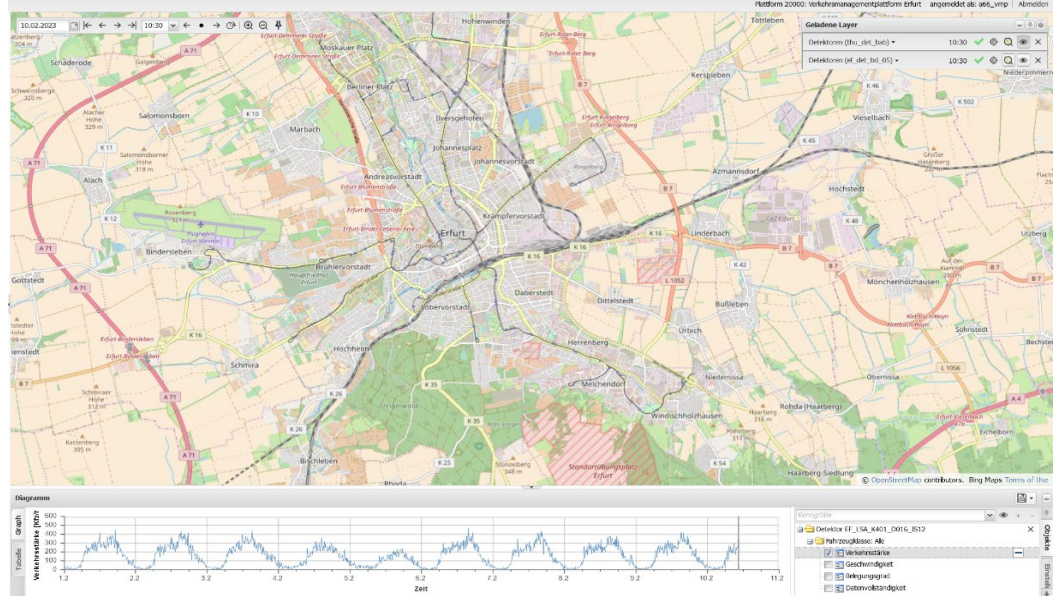
Gesamtaufbau	Managementebene
Teilsystem	Umweltmonitoringsystem Prokas ^{online} / MISKAM
vollständig	ja
funktionsfähig	ja
Erläuterung	Das Umweltmonitoringsystem ist Teil des UVE und wurde im Rahmen des Projekts neu aufgebaut. Prokas^{online} ermittelt kantenbezogene Emissionen auf Grundlage der aktuellen Verkehrsbelastung. Darauf berechnet es mit einem Ausbreitungsmodell kantenbezogene Immissionen. An Hotspots werden rasterbezogene Berechnung der Immissionen mit MISKAM durchgeführt. Die Datenübergabe erfolgt aus der pwpTMPlatform. Die Fahrzeugflotte (Fahrzeug- und Emissionsklassen) wird jährlich aktualisiert.). Aufbau und Pflege des Umweltmonitoringsystems erfolgt durch die Lohmeyer GmbH. Das Umweltmonitoringsystem ist vollständig und funktionsfähig.
Abbildung	Abbildung 9: MISKAM - Umweltmonitoring (NO₂-Immissionen, 30-min-Werte, Gebiet Clara-Zetkin-Straße) Abbildung 10: Prokas^{Online} - Umweltmonitoring Screenshot 10.02.2023

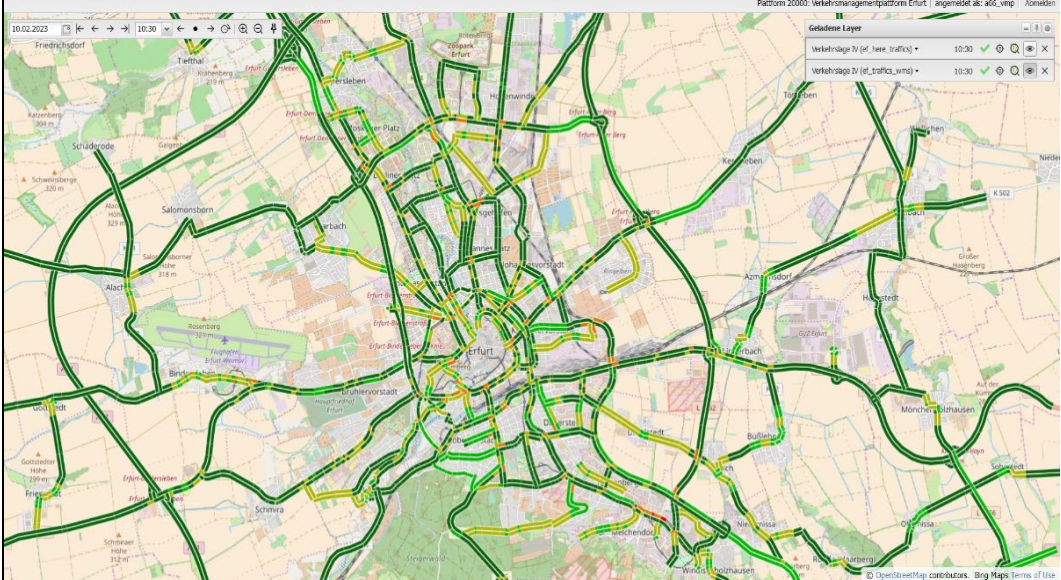
Gesamtaufbau	Managementebene
Teilsystem	Daten- und Strategiemanagementsystem pwpTMPlatform
vollständig	ja
funktionsfähig	ja
Erläuterung	Das Daten- und Strategiemanagementsystem, die pwpTMPlatform der pwp-systems GmbH (Abbildung 35 und Abbildung 36), ist Teil des UVE und wurde im Rahmen des Projekts neu aufgebaut. Die pwpTMPlatform ist eine serverbasierte Software zur kontinuierlichen Verarbeitung von Verkehrs- und Umweltdaten (Datenmanagement, Datenmonitoring und Datenanalyse) und bildet die zentrale Schnittstelle aller UVE-relevanten Daten. Sie ist vollständig und funktionsfähig .
Abbildung	Abbildung 11: pwpTMPlatform. Benutzeroberfläche in Erfurt. Eigene Aufnahme 08.02.2023 Abbildung 12: pwpTMPlatform. Screenshot 10.02.2023

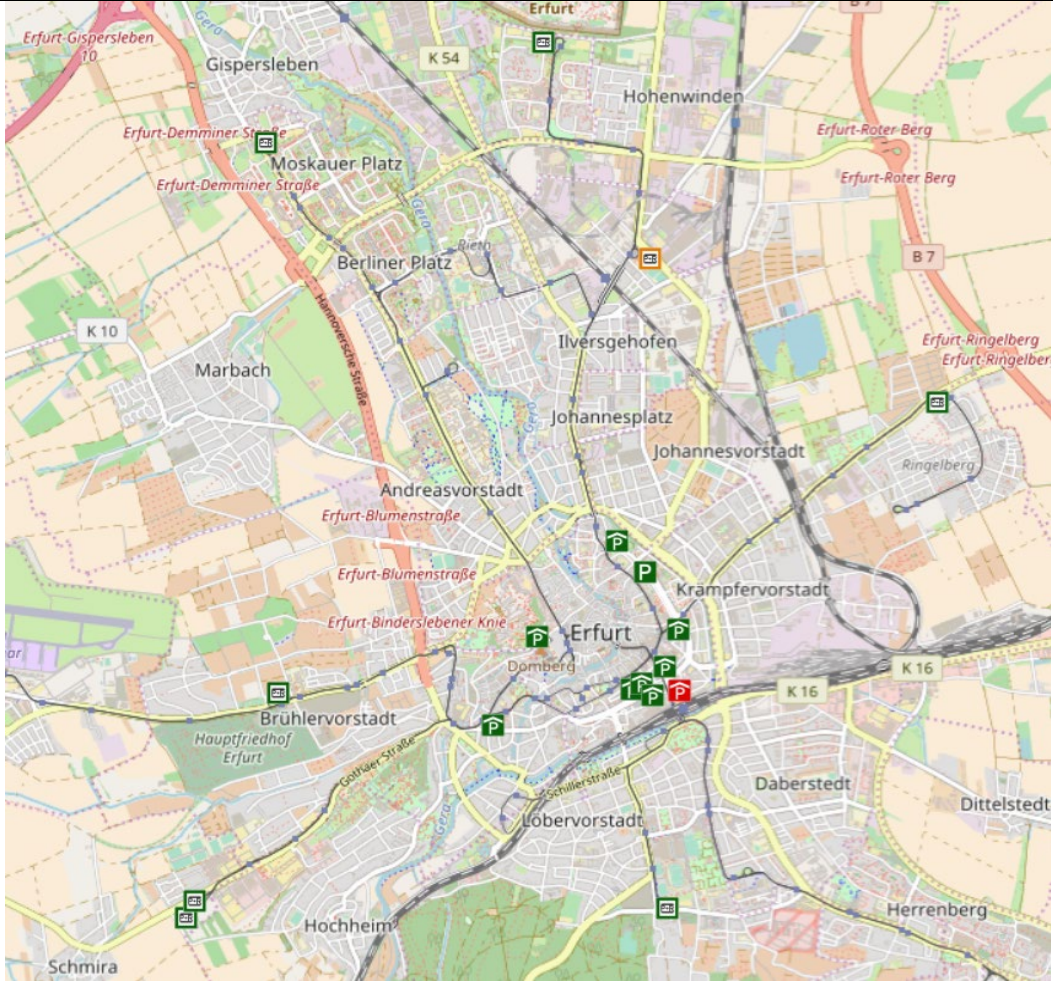
II.3 Feldebene

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Verkehrsdetektion: Lichtsignalanlagen, Messquerschnitte
vollständig	Ja
funktionsfähig	ja
Erläuterung	Die LSA und Messquerschnitte (MGS) wurden im Rahmen des UVE erweitert und liefern über Schnittstellen Messdaten zum Verkehrsrechnersystem. Die Infrastruktur und Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Verkehrsdetektion: Messquerschnitte BAB
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die MGS der BAB A4 und A 71 sind nicht Teil des UVE. Sie wurden im Rahmen des UVE an das VMP angebunden. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .

Abbildung	 Abbildung 13: Verkehrsstärke auf einem BAB Messquerschnitt. Abfrage über pwpTMPlatform. Screenshot 10.02.2023
-----------	---

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Verkehrslage: FCD-basierte Verkehrslage
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Floating-Car-Data sind nicht Teil des UVE. Sie wurden im Rahmen des UVE an die VMP angebunden. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .
Abbildung	 Abbildung 14: FCD-basierte Verkehrslage. Screenshot 10.02.2023

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Parkdaten: Parkeinrichtungen
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Parkdaten wurden im Rahmen des UVE um Detektion an den P & R Parkplätzen erweitert. P & R Ringelberg hatte bereits eine Detektion. Die Schnittstellen an die VMPsind vollständig und funktionsfähig .
Abbildung	 Abbildung 15: Parkeinrichtungen. Screenshot 10.02.2023

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Parkdaten: Öffentl. Straßenraum Kleiner Ring
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Parkdaten sind nicht Teil des UVE. Sie wurden im Rahmen des UVE an die VMP angebunden. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .
Abbildung	 Abbildung 16: Parkbezirke. Screenshot 10.02.2023

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Parkdaten: Parkscheinautomaten
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Parkdaten sind nicht Teil des UVE. Sie wurden im Rahmen des UVE an die VMP angebunden. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .

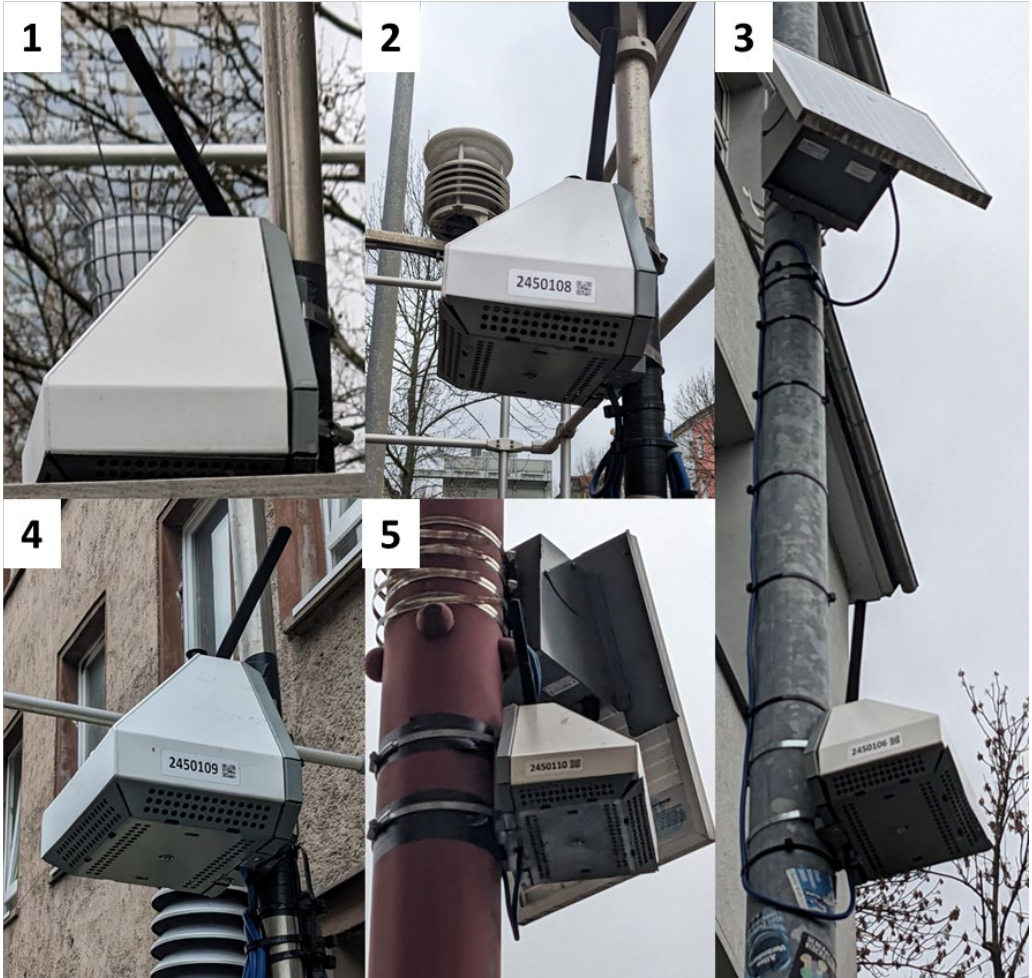
Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Parkdaten: Handyparken
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Parkdaten sind nicht Teil des UVE. Sie wurden im Rahmen des UVE an die VMP angebunden. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Verkehrereignisse: geplante Ereignisse Erfurt
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Verkehrereignisse sind nicht Teil des UVE. Sie wurden im Rahmen des UVE an die VMP angebunden. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Verkehrereignisse: geplante Ereignisse Thüringen
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Verkehrereignisse sind nicht Teil des UVE. Sie wurden im Rahmen des UVE an die VMP angebunden. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Umfeldmonitoring: Modellbasierte Wettervorhersage DWD
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die modellbasierte Wettervorhersage wurde im Rahmen des UVE an die VMP angebunden. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Umfelddetektion: Umweltdetektion TLUBN
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Umweltdetektion des TLUBN ist Teil des UVE. Sie wurde im Rahmen des UVE um die Luftmessstation Heinrichstraße erweitert. Alle Daten wurden an die VMP angebunden. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .
Abbildung	Abbildung 17: Verkehrsnahe Luftmessstation Bergstraße, TLUBN. Eigene Aufnahme 18.04.2023. Abbildung 18: Standortübersicht Messstellen TLUBN und AQMesh. Screenshot 10.02.2023

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Umfelddetektion: Umweltdetektion AQMesh
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die AQMesh Luftmesssysteme wurden im Rahmen des UVE an den Standorten der Umweltdetektion TLUBN und an Beleuchtungsmasten aufgebaut. Seit 2022 ist die Messensorik erneuert. Alle Daten wurden an die VMP angebunden. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .
Abbildung	 Abbildung 19: AQMesh Luftmesssysteme. 1) Krämpferstraße, 2) Heinrichstraße, 3) Dalbergstraße, 4) Bergstraße, 5) Schillerstraße. Eigene Aufnahmen 18.04.2023.

Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Umfelddetektion: Meteorologiedetektion DWD
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Ortswetterstationen sind nicht Teil des UVE. Sie wurden im Rahmen des UVE an die VMP angebunden. Ihre Daten versorgen das Umweltmonitoringsystem. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .

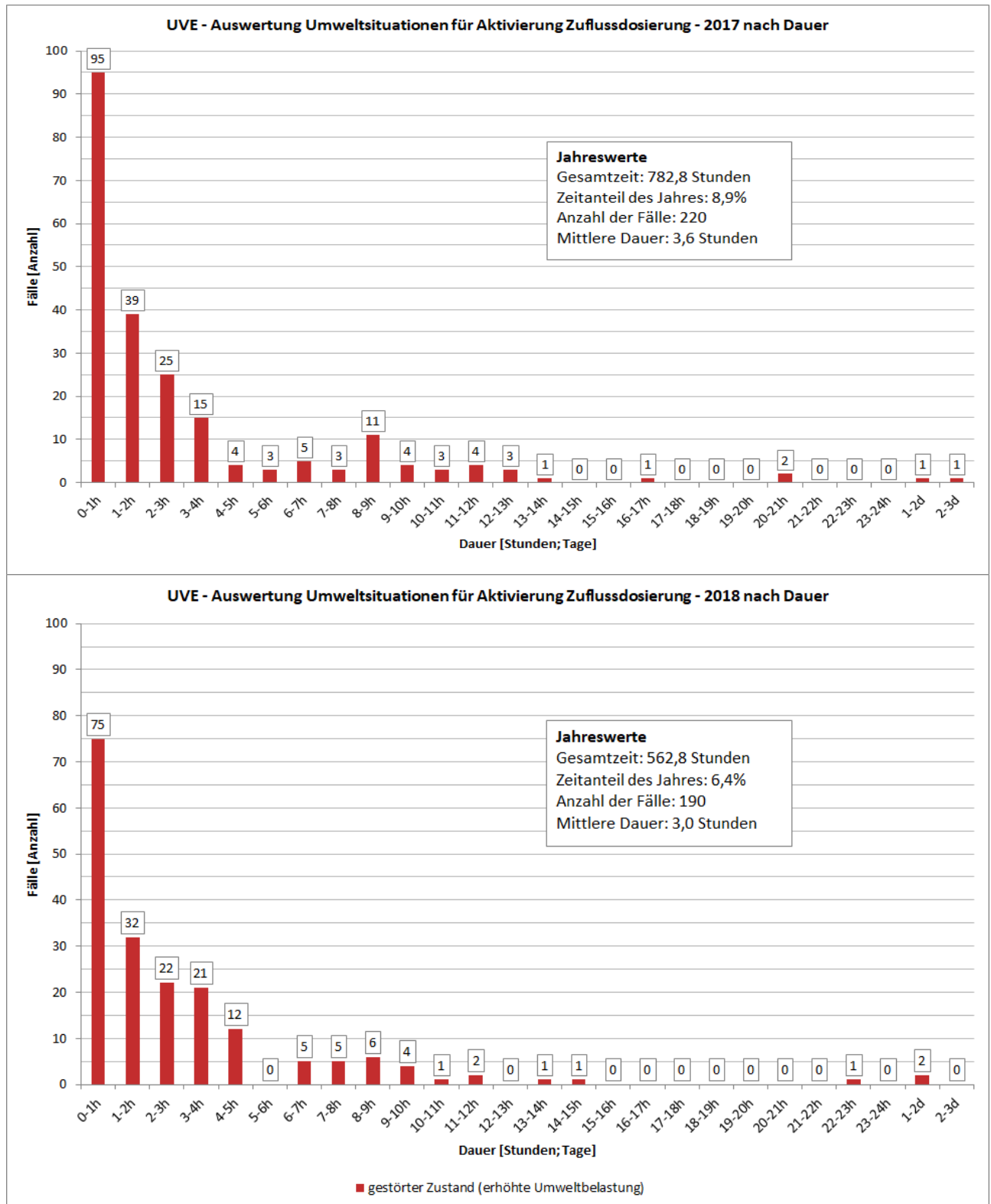
Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Umfelddetektion: Meteorologiedetektion EF-UNA
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Meteorologiedetektion des Umwelt- und Naturschutzamtes der Stadt Erfurt sind nicht Teil des UVE. Sie wurden im Rahmen des UVE an die VMP angebunden. Ihre Daten versorgen das Umweltmonitoringsystem. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .

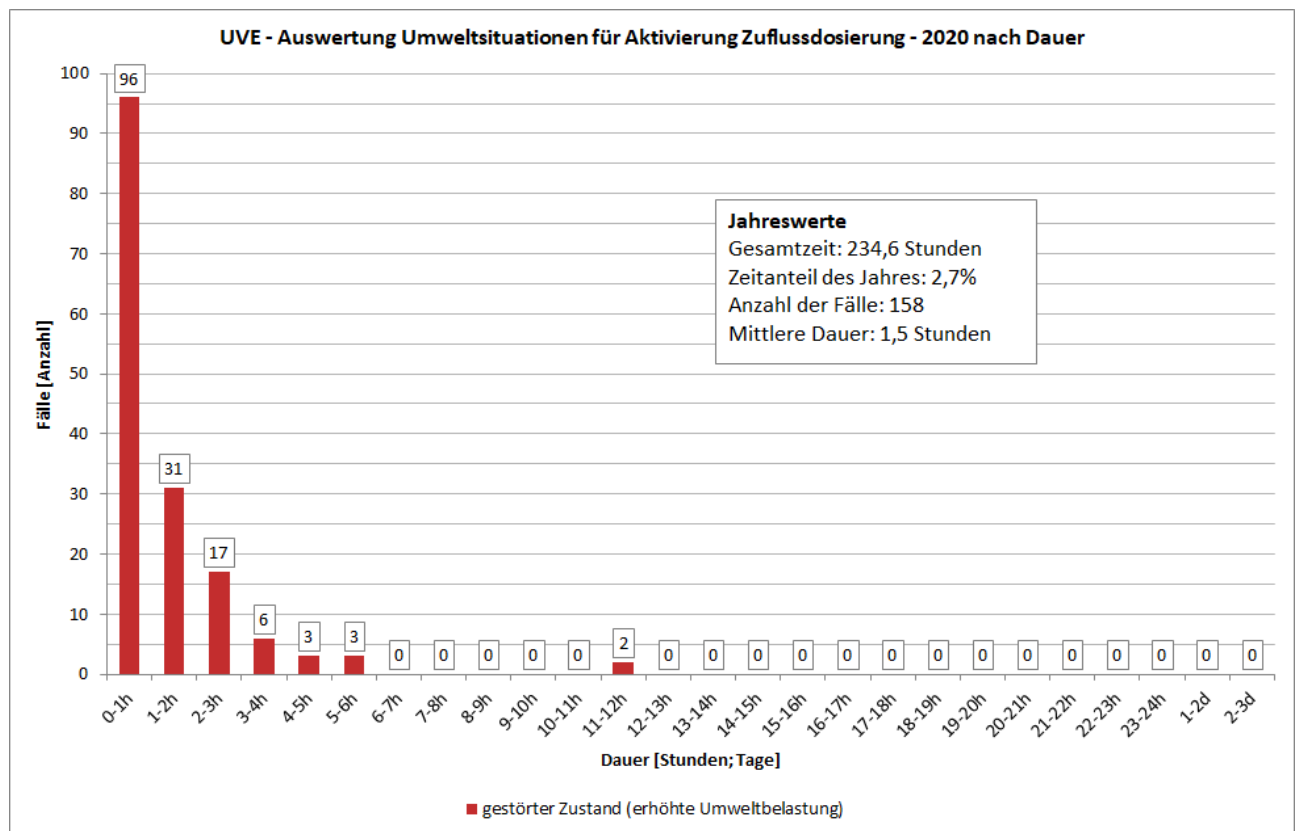
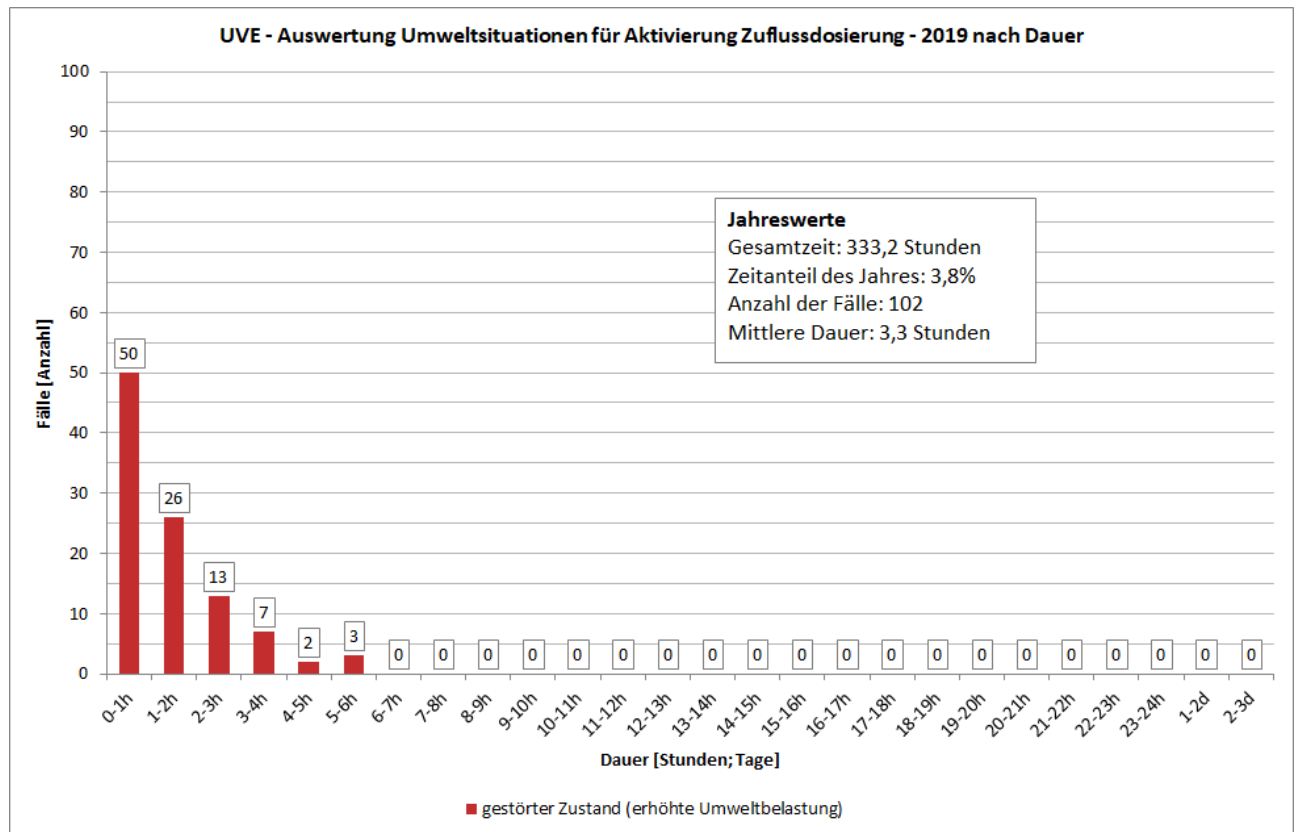
Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	Umfelddetektion: Glatteismeldedaten SWE
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Glatteismeldedaten der Stadtwerke Erfurt sind nicht Teil des UVE. Sie wurden im Rahmen des UVE an die VMP angebunden. Sie sind Situationsparameter für das Strategiemangement und werden auf den Stadtfotafeln angezeigt. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .

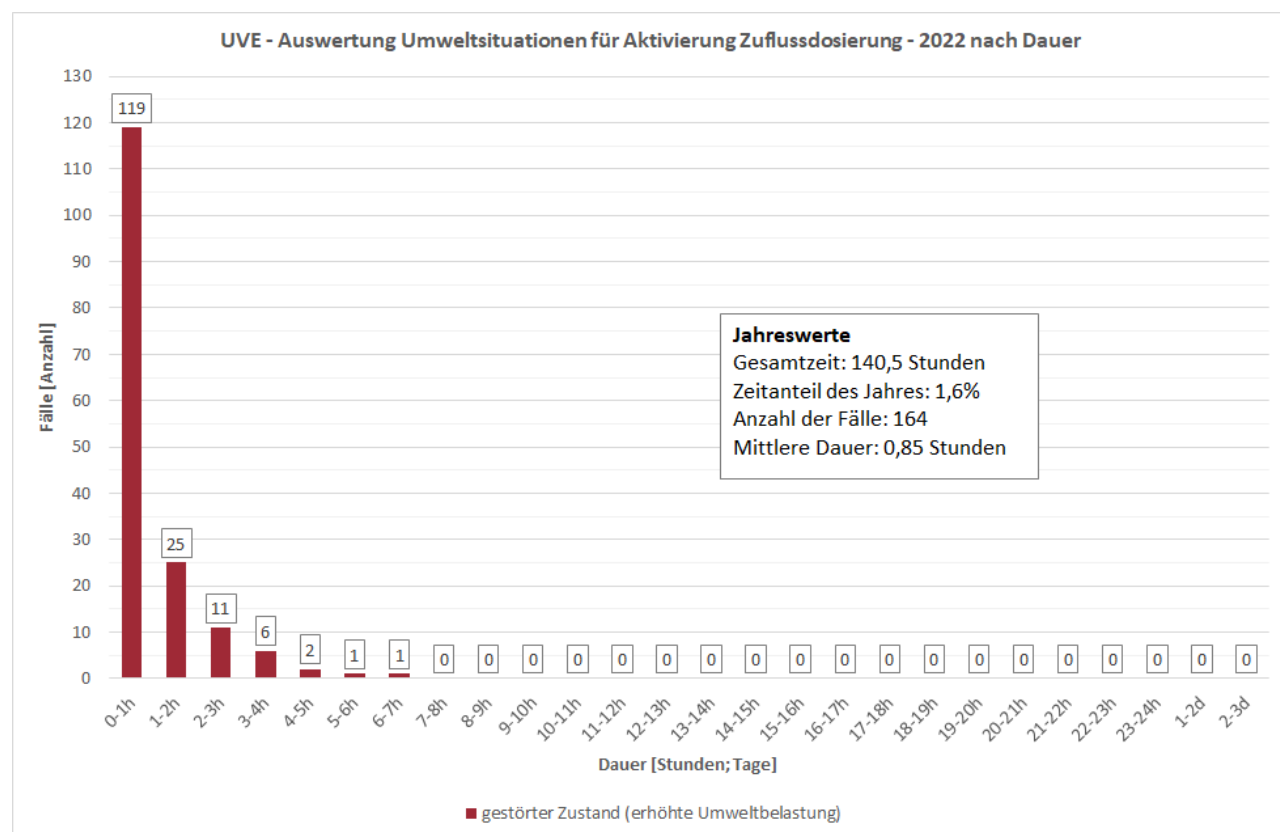
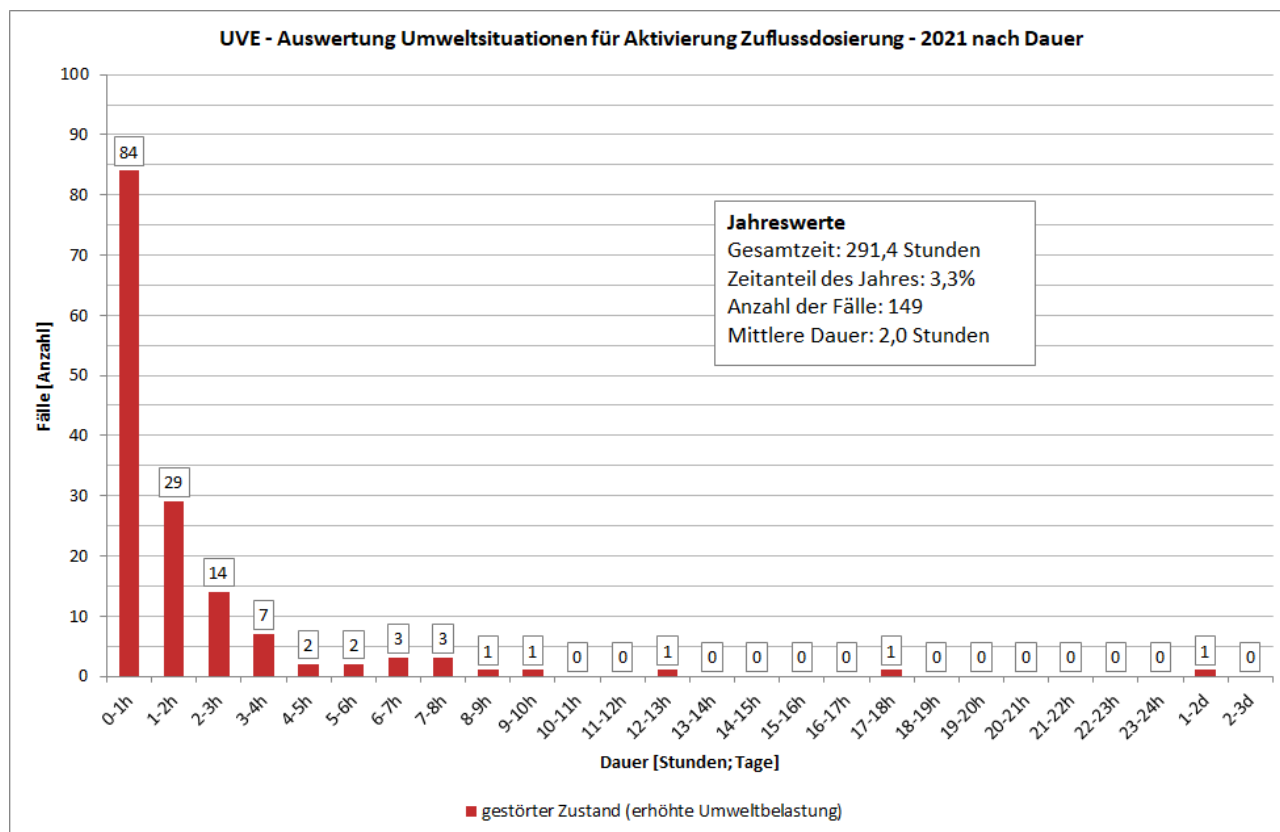
Gesamtaufbau	Feldebene
Teilsystem	ÖPNV-Daten: Haltestellenauskunft
vollständig	Ja
funktionsfähig	Ja
Erläuterung	Die Haltestellenauskünfte sind nicht Teil des UVE. Sie wurden im Rahmen des UVE an die VMP angebunden. Die Schnittstellen sind vollständig und funktionsfähig .

Anlage II: UVE im Einsatz

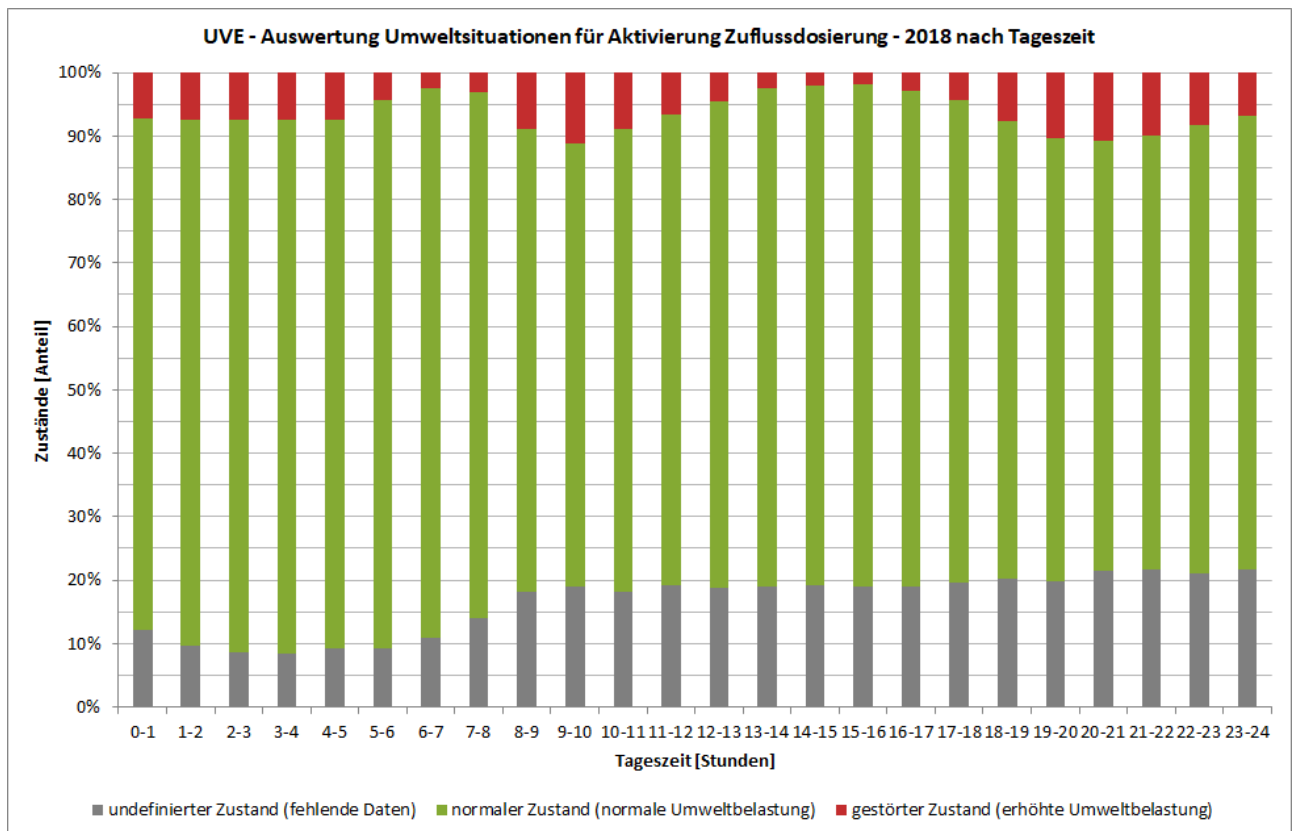
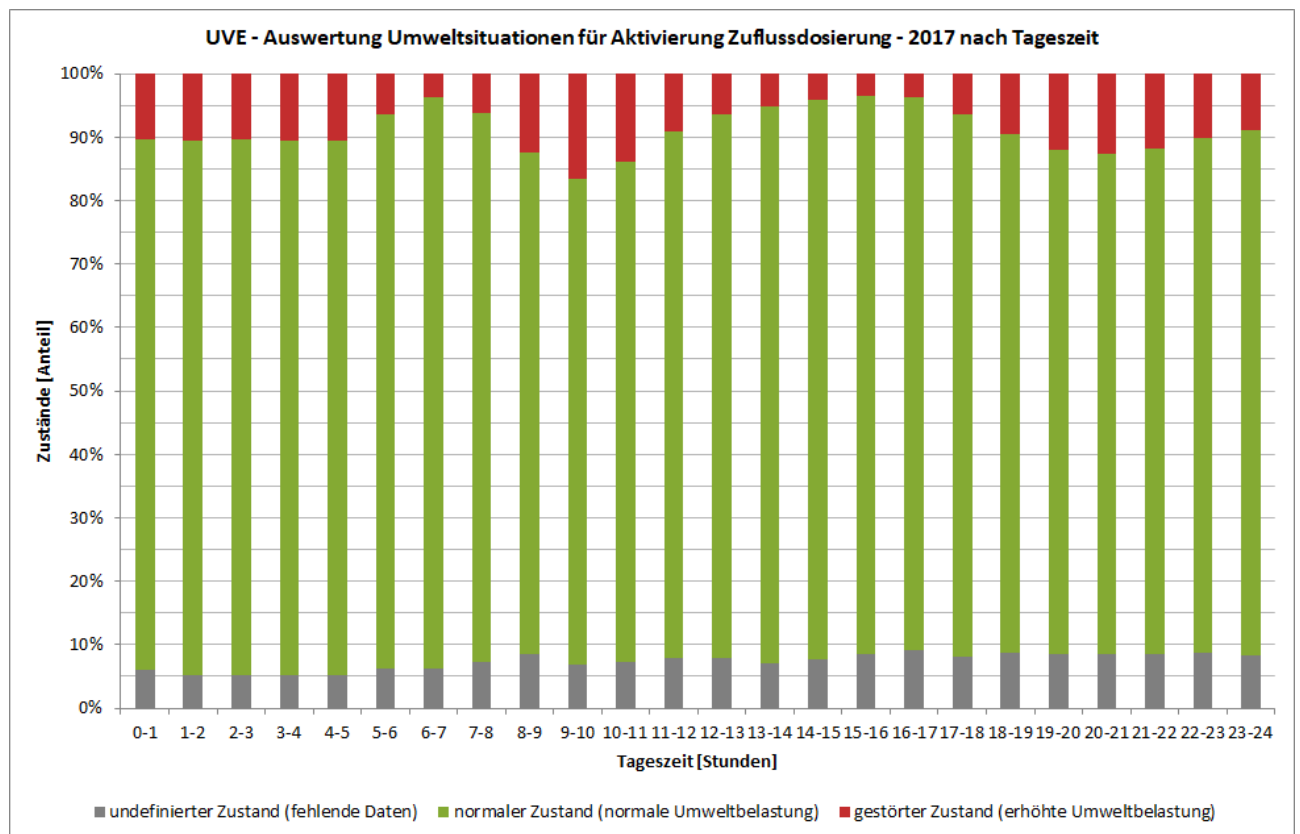
II.1 Dauer Aktivierung 2017 - 2022

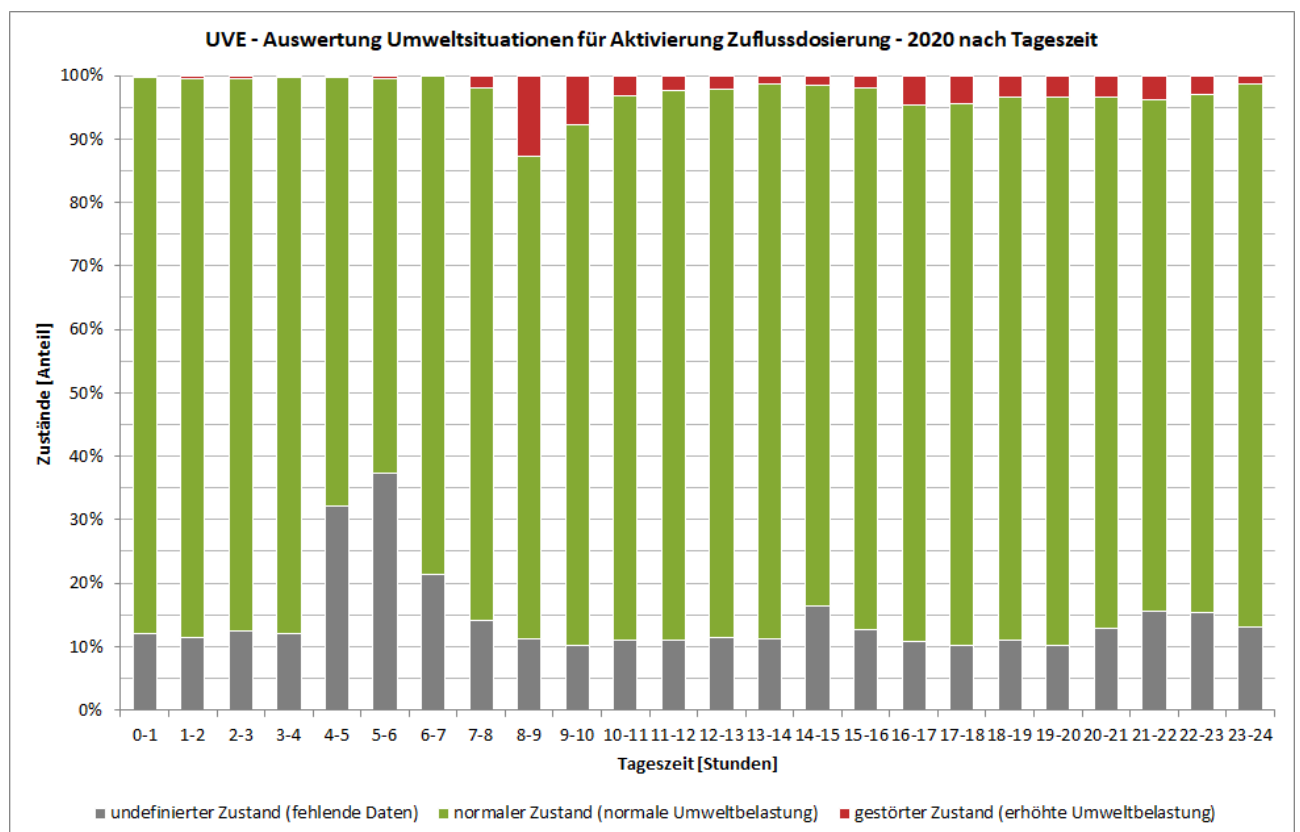
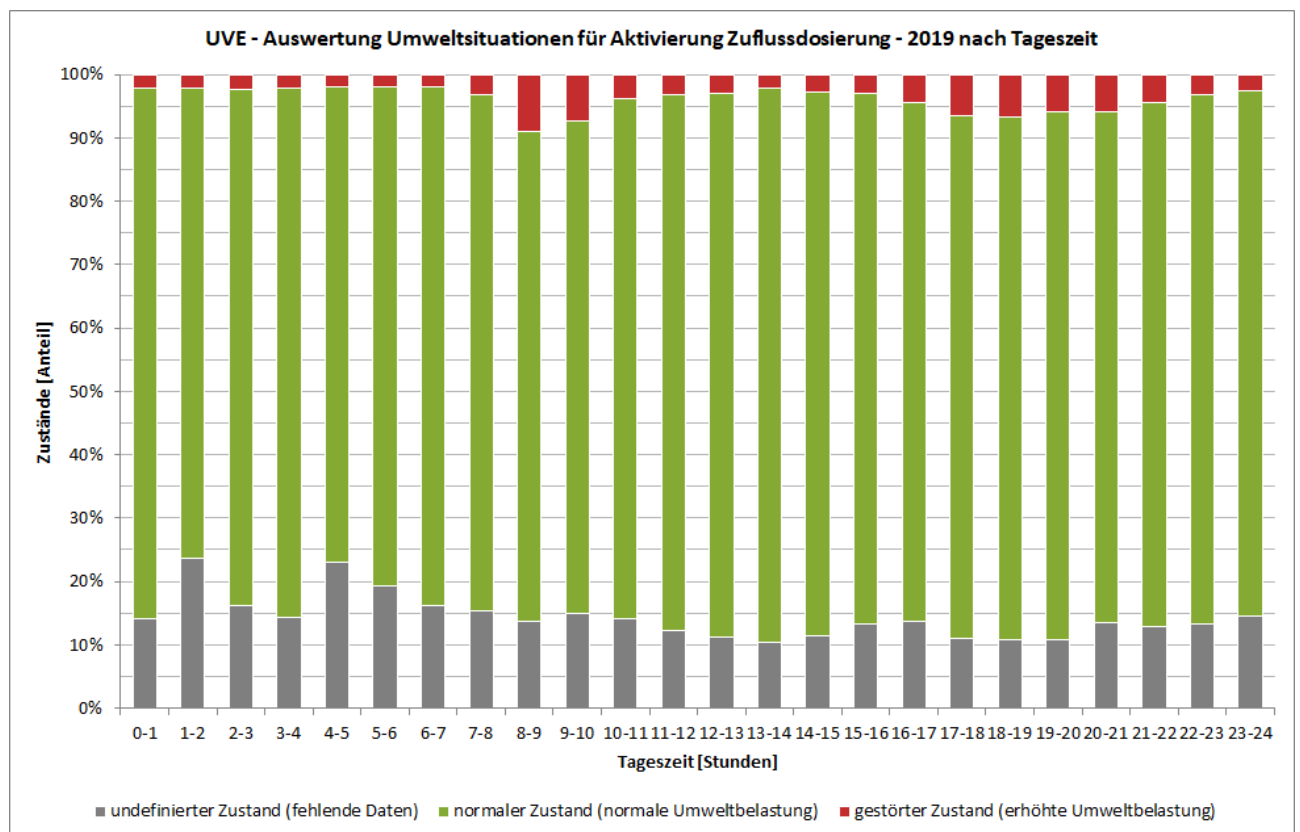


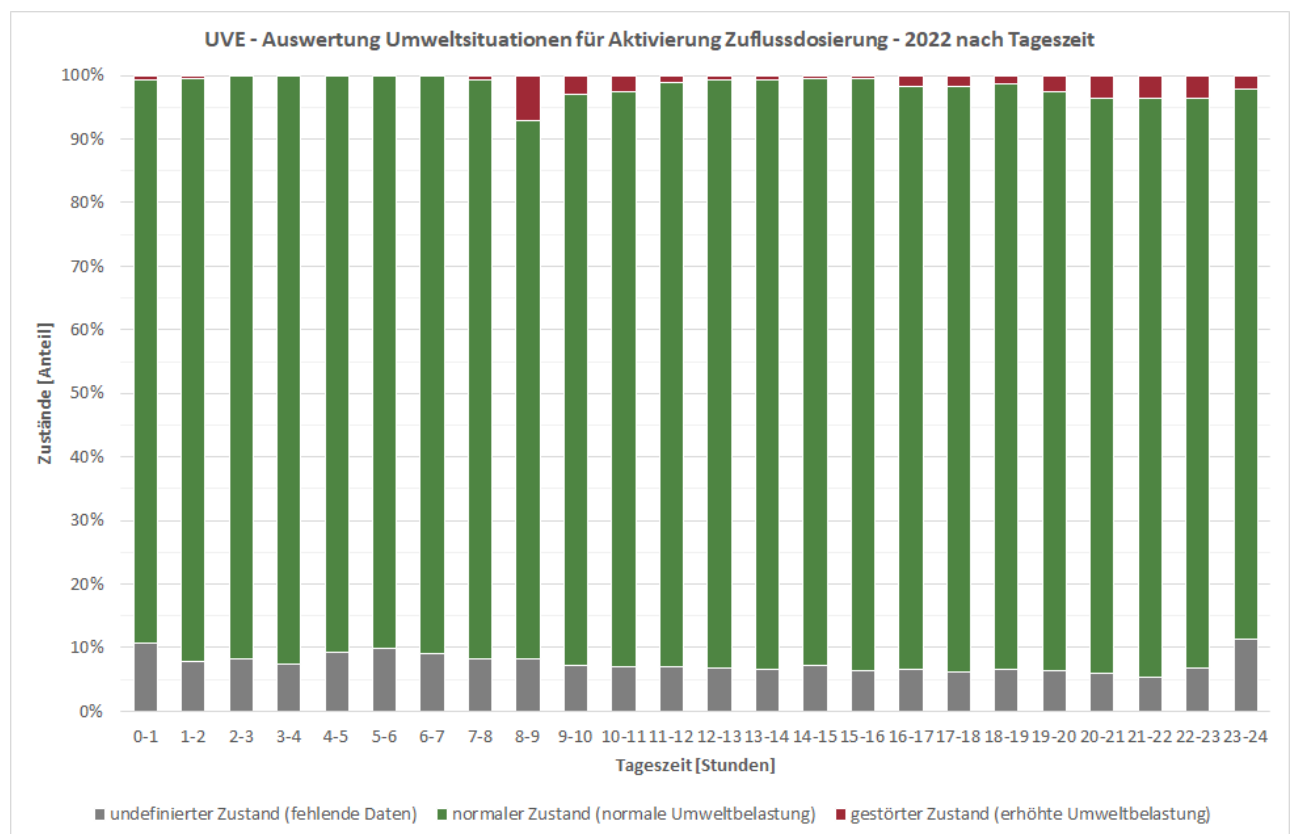
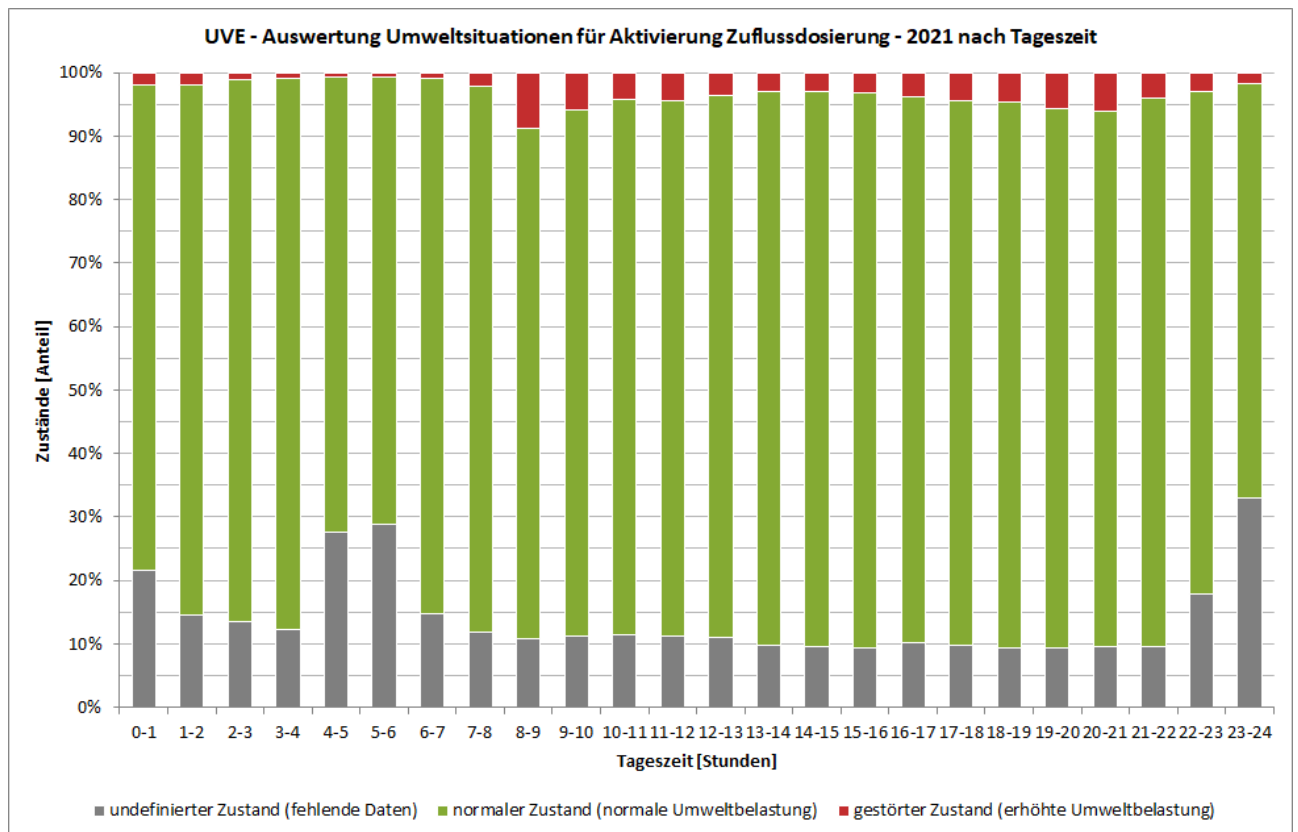




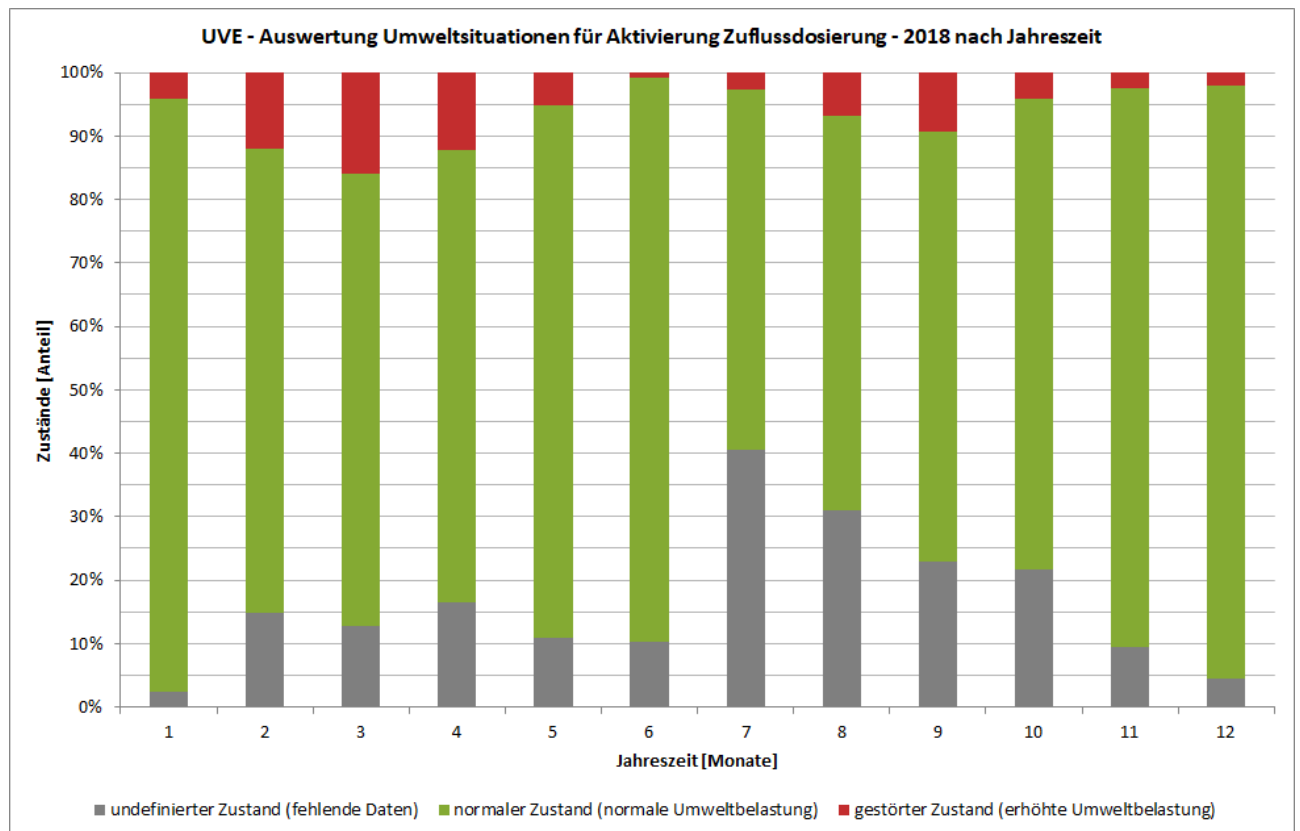
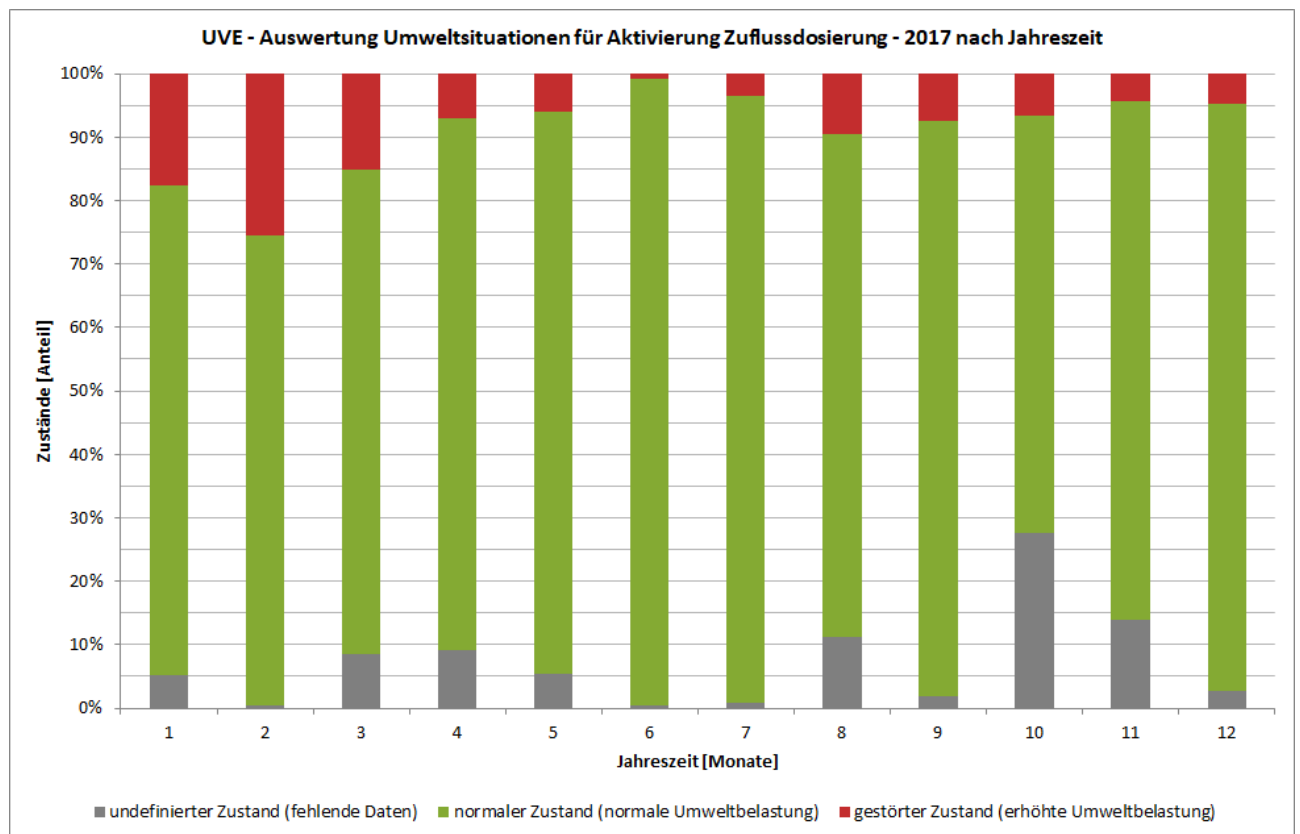
II.2 Aktivierung Häufigkeit Tageszeit 2017 -2022

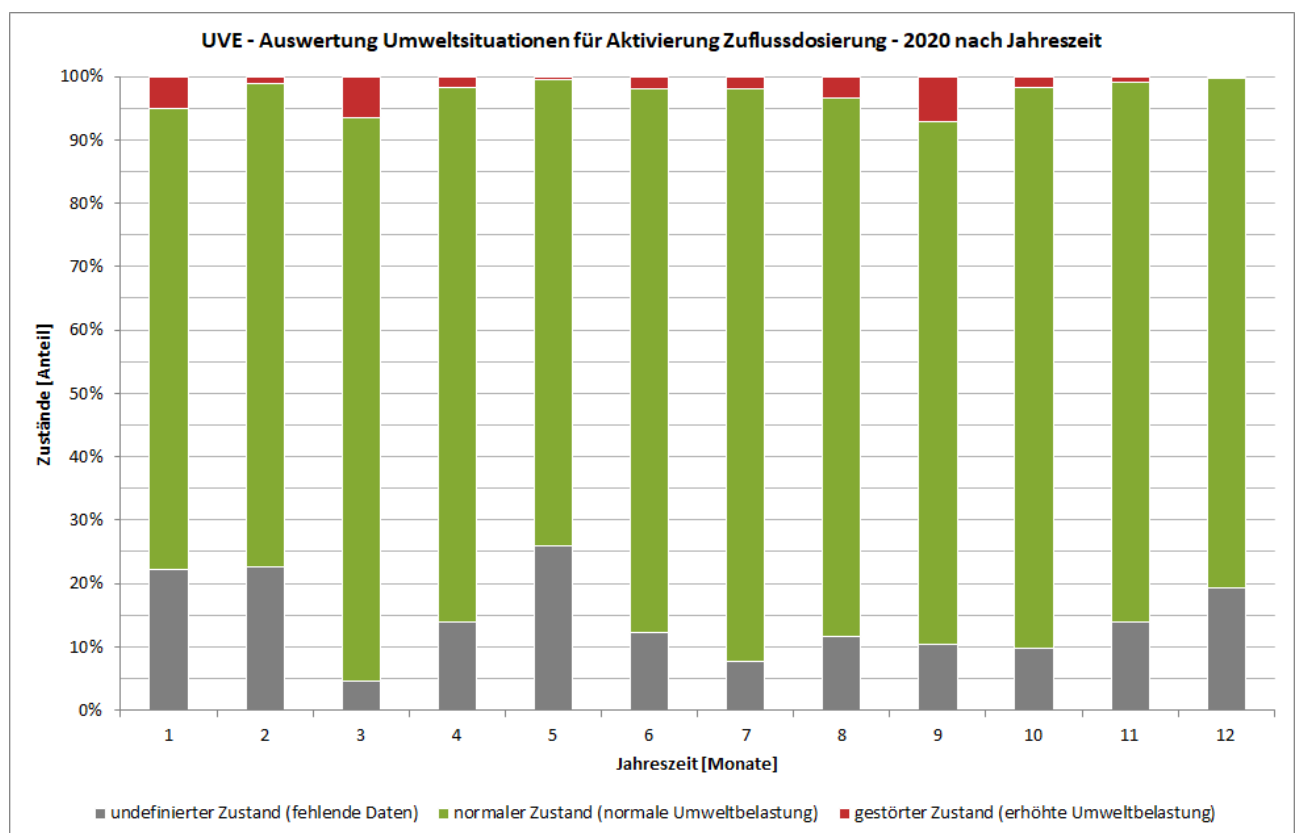
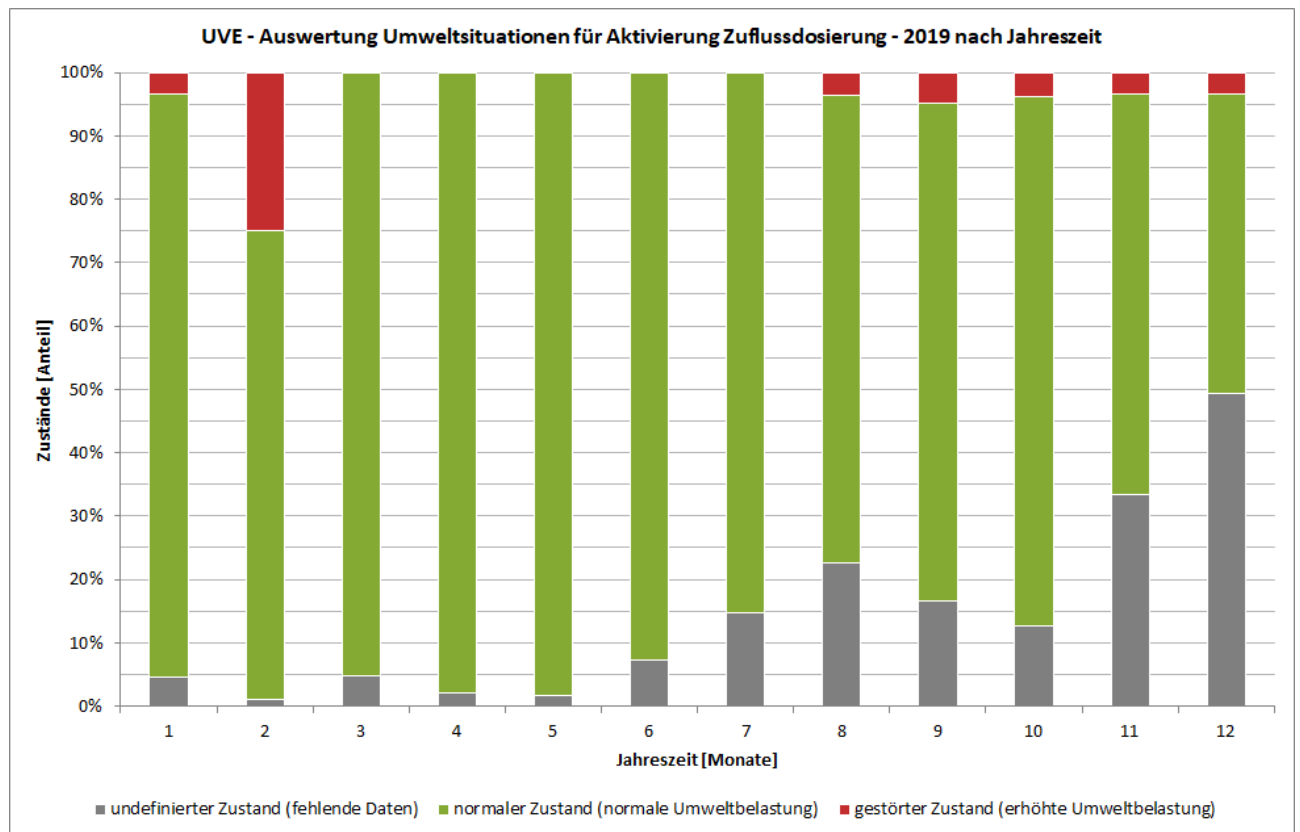


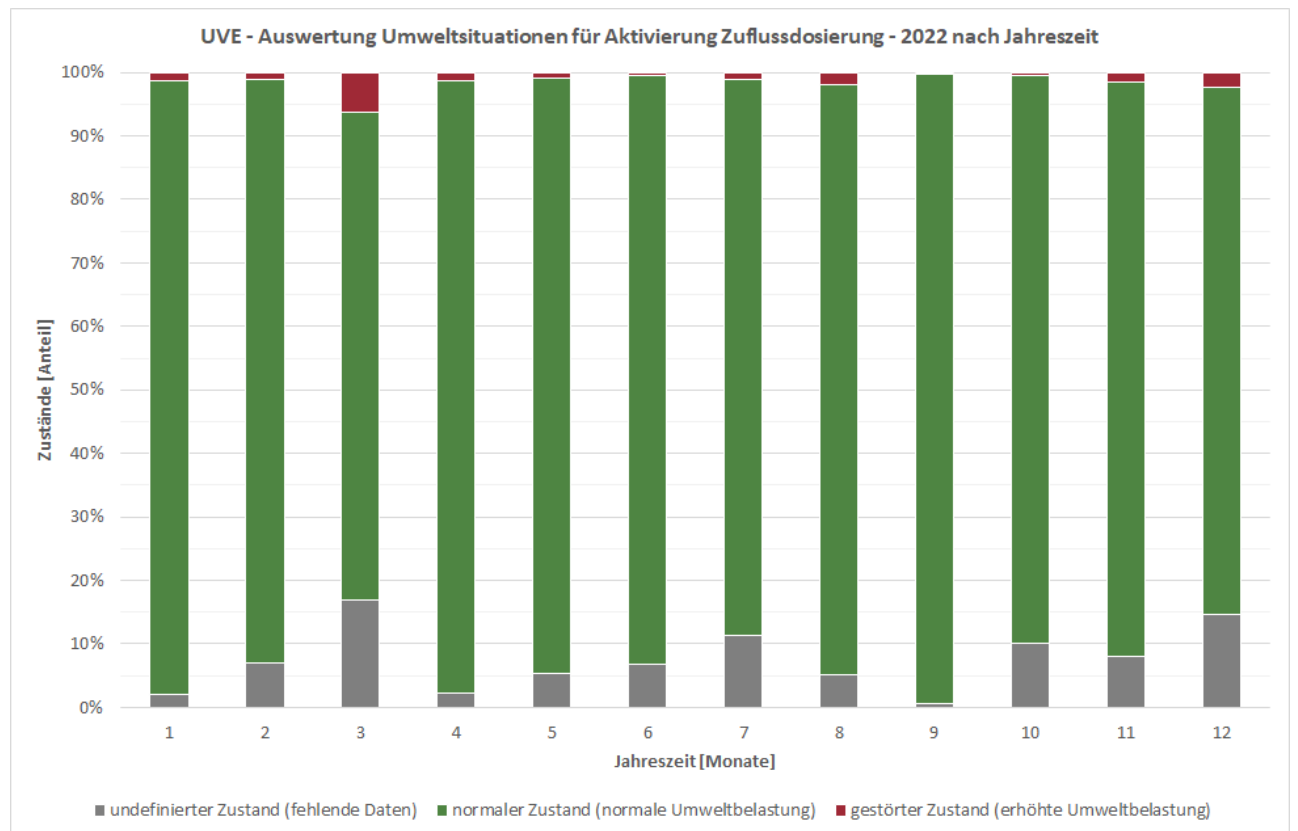
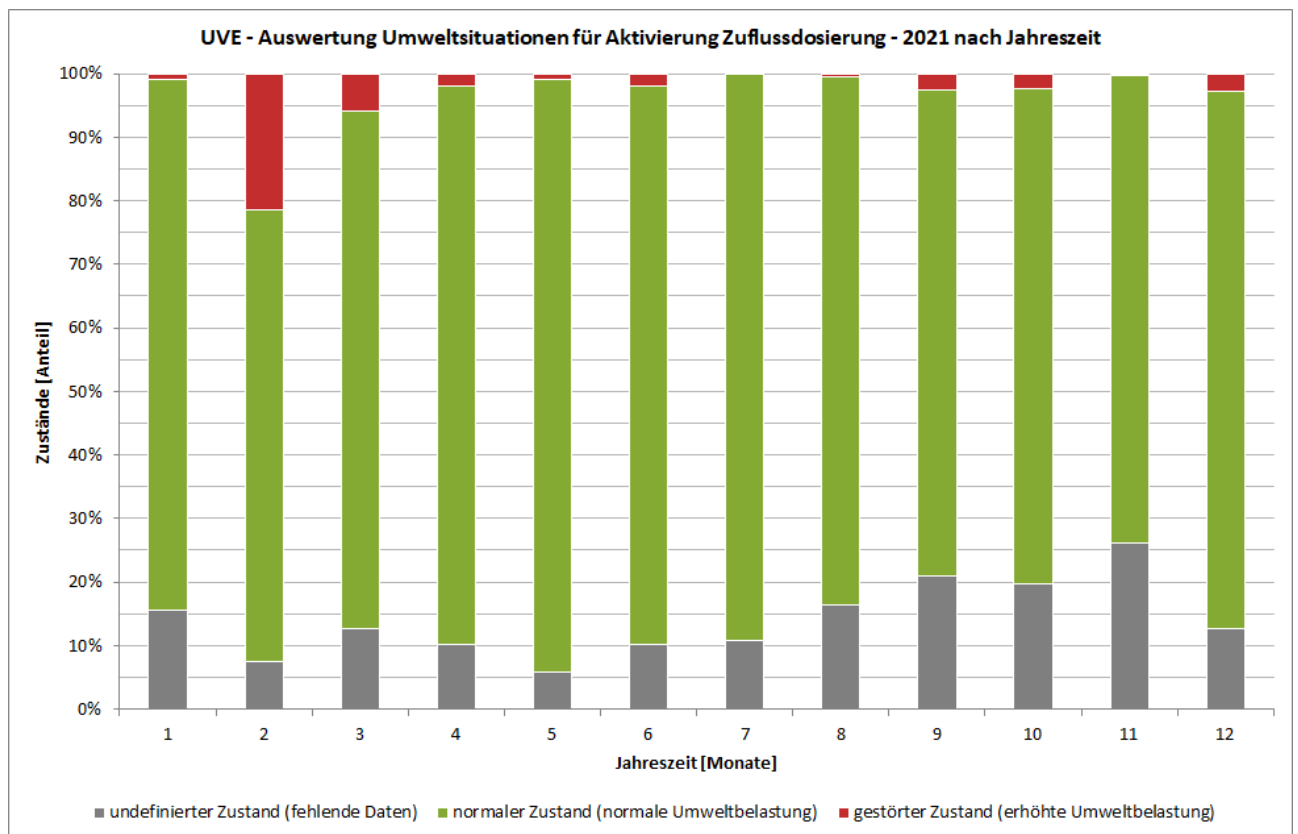




II.3 Aktivierungen Häufigkeit Jahreszeit 2017 -2022

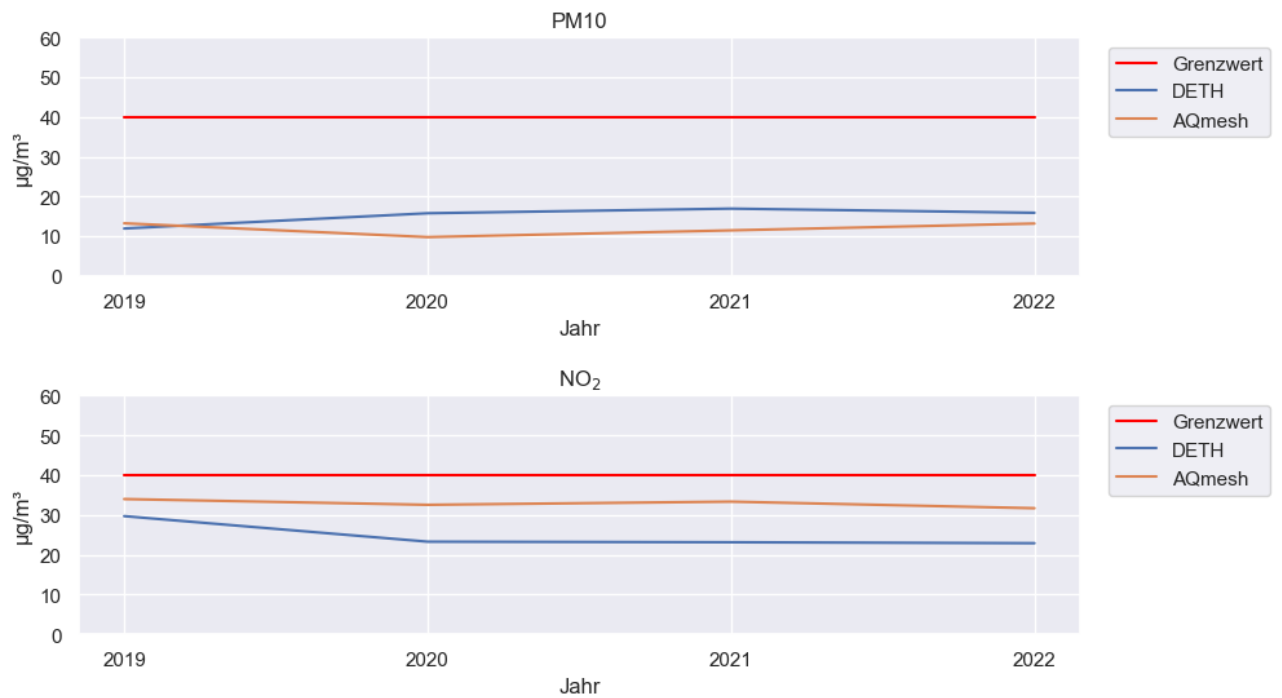






Anlage III: Vergleich Immissionsmessungen AQMesh und TLUBN

Vergleich DETH vs. AQmesh - Erfurt, Bergstraße, Jahresmittelwerte



Vergleich DETH vs. AQmesh - Erfurt, Heinrichstr, Jahresmittelwerte

