“ KI-basierte Informationsplattform für die Lokalisierung und Simulation von Hitzeinseln für eine innovative Stadt- und Verkehrsplanung”

Weitere Informationen zu diesem Dokument

KLIPS - Schlussbericht

Verantwortlicher Autor: Christian Gengenbach, christian.gengenbach@softwareag.com
Software AG, Uhlandstraße 12, 64297 Darmstadt, +49 6151 92-1448

Weitere Autoren: Das Dokument wurde mit Hilfe und unter Verwendung von Textbeiträgen aller Partner erstellt (siehe auch Liste der Autoren in „Empfohlene Zitierweise“ auf Seite 2)

Laufzeit des Vorhabens: 1.10.2020 – 31.03.2024
Berichtszeitraum: 1.10.2020 – 31.03.2024

Dokument Dateiname: Schlussbericht_KLIPS-FKZ_19F2134.v1.0
Version: Final
Fälligkeitstermin: 30. Juni 2024

https://www.klips-projekt.de/

Dokument Kontrolle

Version	Datum	Kommentar
0.1	04. Februar 2024	Neueinrichtung
0.2	29. März 2024	Einarbeitung der allgemeinen Teile abgeschlossen
0.3	2. Mai 2024	Weitere Überarbeitung und Bereitstellung der Kapitel für alle 9 Partner
0.4	17. Mai 2024	Weitere Überarbeitung und Vorbereitung der Einfügung der Kapitel der Partner.
0.5	18. Mai 2024	Einfügung der ersten vier Partnerkapitel (HHI, ter/meg, HSH, SAG).
0.6	23.Mai 2024	Einfügung der nächsten drei Partnerkapitel (IÖR, ERGO/PIKO, LHD) und Ergänzungen zum SAG Kapitel, Klärung des Status und der offenen Punkte, Letzte Ergänzungen und Updates.
0.7	29.5.2024	Fertig zum Verteilen an alle anderen Partner mit der Möglichkeit zu Reviewen und Feedback zu geben bis 17.6.2024.
0.8	26.6.2024	Alles Partner Feedback und letzte fehlende Teile eingefügt.
0.9	27.6.2024	Finale Formatierung, interne Referenzen, Korrekturlesen
1.0		

Empfohlene Zitierweise:

Gengenbach, Christian; Strobel, Gabriele; Müller, Rieke, Haas, Tim, Bernhardt-Aubron, Yannick, Lehmann, Helene; Meiers, Thomas; Labib Malak; Krala, Benjamin; Reuschenberg, David; Arndt, Jost; Gätzner, Matteo; Erbertseder, Thilo; Taubenböck, Hannes; Kalusche, Elena; Leichtle, Tobias; Handschuh, Jana; Weber, Beatrix; Lehmann, Marc; Mayer, Christian; Miksch, Jakob; Petry, Lisanne; Wright Juliane, Herold, Hendrik; Kiesewalter, André; Sperber, Alexander; Molina, Oscar; Mendt, Jacob; Müller, Matthias; Jansen, Marc; Rothstein, Ulrich; Dobbert, Svenja; Anz, Michael; Hecker, Jens; Janclas, Sabine; (2024): KI-basierte Informationsplattform für die Lokalisierung und Simulation von Hitzeinseln für eine innovative Stadt- und Verkehrsplanung. Abschlussbericht zum Projekt KLIPS. Software AG, Darmstadt.

Projekt Informationen und Konsortium

Projektname	KLIPS		
Kurzbeschreibung	KI-basierte Informationsplattform für die Lokalisierung und Simulation von Hitzeinseln für eine innovative Stadt- und Verkehrsplanung		
Fördermittelgeber	BMDV - mFUND, vertreten durch VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, PT mFUND, Berlin		
Förderkennzeichen	19F2134		
Gesamtaufwand	218 Personen-Monate		
Gesamtprojektvolumen	€3,102m		
Gesamtfördersumme	€2,324m		
Laufzeit	42 Monate (inklusive 6 Monate Verlängerung)		
Projektstart	1. Oktober 2020	Projektende	31. März 2024
Koordinator	Software AG		
Projekt Website	https://www.klips-projekt.de/		

Tab. 1: Projekt Informationen

DLR	DLR (19F2134B)	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	Weßling-Oberpfaffenhofen	Datenbereitstellung
ERGO Umweltinstitut GmbH	ERGO (19F2134C)	ERGO Umweltinstitut GmbH	Dresden	Sensornetzwerke
PIKOBYTES	PIKO	PIKOBYTES GmbH	Dresden	Sensornetzwerke
Fraunhofer HHI	HHI (19F2134D)	Fraunhofer Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut	Berlin	Datenanalyse & Künstliche Intelligenz
terrestris	TER (19F2134H)	terrestris GmbH & Co. KG		Bereitstellung der Dienste
meggsimum	MEG	meggsimum	Mutterstadt	Bereitstellung der Dienste
Hochschule Hof University of Applied Sciences	HSH (19F2134E)	Hochschule Hof, Institut für Informationssysteme	Hof	Datenmanagement und Datenschutzrecht
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung	IÖR (19F2134F)	Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.	Dresden	Anforderungsanalyse
software AG	SAG (19F2134A)	Software AG	Darmstadt	Konsortialleitung, Demonstrator
Dresden.	LHD (19F2134I)	Landeshauptstadt Dresden	Dresden	Anwendungspartner
Stadt Langenfeld	LAN	Stadt Langenfeld	Langenfeld	Anwendungspartner

Tab. 2: Projekt Konsortium

INHALTSVERZEICHNIS

Projekt Informationen und Konsortium 3
Abbildungsverzeichnis 5
Tabellenverzeichnis 6
Zusammenfassung 7
Ziel des Vorhabens 7
Umsetzung des Vorhabens 7
Besonderheiten des Vorhabens 8
1. Darstellung des Vorhabens 9
1.1. Gesamtziel des Vorhabens 9
1.2. Beschreibung des Vorhabens 11
1.3. Kurzdarstellung des Projektkonsortiums 13
1.4. Stand von Wissenschaft und Technik 16
1.5. Arbeits- und Zeitplanung 18
2. Beiträge der Partner zum Gesamtergebnis 19
2.1. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) 19
2.2. Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut (HHI) 27
2.3. Terrestris und meggsimum (ter/meg) 34
2.4. ERGO Umweltinstitut GmbH und PIKOBYTES GmbH (ERGO/PIKO) 38
2.5. Institut für Informationssysteme – Hochschule Hof (HSH) 43
2.6. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) 50
2.7. Landeshauptstadt Dresden (LHD) 58
2.8. Stadt Langenfeld, NRW (LAN) 65
2.9. Software AG (SAG) 67
3. Öffentlichkeitsarbeit, Dissemination 78
3.1. Corporate Design und Website 78
3.2. Pressearbeit 79
3.3. Social Media 79
3.4. Videos 79
3.5. Messen und Konferenzen 81
3.6. Vorträge und Veröffentlichungen 82
3.7. Berichtswesen 82
4. Organisation und Treffen 83
5. Erreichung der Projektziele 86
6. Zusammenfassung und Ausblick 87
Anhang: Tabelle Veröffentlichungen, Vorträge, Messen 88

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Realisierungskonzept von KLIPS 11

Abb. 2: Lösungskonzept von KLIPS 16

Abb. 3: Beispiele für die in der Mobilithek bereitgesellten Datenprodukte der gemittelten LST (oben) mit zugehöriger Anzahl Messungen (unten). Links für Dresden, gemittelt über alle Sommertage von 2013-2022 und rechts für Langenfeld, gemittelt über alle Sommermonate von 2013-2022. 23

Abb. 4: Zusammenhang von stationsbasierten Lufttemperaturen (vertikale Achse) mit satellitenbasierten Oberflächentemperaturen des Sensors Landsat (horizontale Achse). Links: Vergleich mit offiziellen Messdaten des DWD, Mitte: Vergleich mit Lufttemperaturdaten aus crowdsourcing, Rechts: Vergleich mit allen Lufttemperaturmessungen. 24

Abb. 5: Differenz der Oberflächen- und Lufttemperatur im Jahresgang für drei Landbedeckungskategorien. 24

Abb. 6: Multi-temporale Hot-/Cold-Spot Analyse auf Basis von zwei 5-Jahres-Intervallen der Oberflächentemperatur (2013-2017, 2018-2022). 25

Abb. 7: Schematischer Aufbau der im Projekt entwickelten Geodateninfrastruktur 35

Abb. 8: Die Worker innerhalb des KLIPS-Systems. 35

Abb. 9: Übersicht KLIPS Projekt der LH Dresden 58

Abb. 10: Workshop im Juni 22 in Dresden im Festsaal des „Landhauses“ der LHD 60

Abb. 11: Infotafeln, welche die Bevölkerung zusätzlich zum Vorhaben informierten und per QR-Code den Zugriff auf Messwerte ermöglichte 60

Abb. 12: Beispielhaft ein Steckbrief für die Entwicklung von Praktischen Anwendungsfällen 61

Abb. 13: Darstellung im WebGIS der LHD des WMS-Dienstes zum UHI 62

Abb. 14: Hitzeinformation zur Betroffenheit an Standorten im Stadtgebiet 62

Abb. 15: Praktische Anwendungsfälle, die in der Verwaltung erarbeitet wurden 63

Abb. 16: Der Login Dialog 68

Abb. 17: Das Einstiegsmenü 68

Abb. 18: Aktueller Hitzeindex und Prognose - Dresden 69

Abb. 19: Aktueller Hitzeindex und Prognose – Temperatur Graphik 70

Abb. 20: Aktueller Hitzeindex und Prognose - Langenfeld 70

Abb. 21: Hitzeindex (aggregiert) - 7 Uhr 71

Abb. 22: Hitzeindex (aggregiert) - 19 Uhr 72

Abb. 23: Hitzeindex (aggregiert) - 20 Uhr 72

Abb. 24: Hitzeinseleffekt (aggregiert) – 15 Uhr 73

Abb. 25: Hitzeinseleffekt (aggregiert) – 19 Uhr 73

Abb. 26: Simulationsbeispiel Dresden 74

Abb. 27: Sommerbeispiel Dresden: Hitzeindex 75
Abb. 28: Der Weg führt um die wärmere Innenstadt herum 76
Abb. 29: Der Benutzer wählt eine andere Startzeit 77
Abb. 30: Zu der gewählten Zeit ist die Innenstadt mittlerweile abgekühlt 77
Abb. 31: Folienvorlage mit Logo und prägnanten Farben 78
Abb. 32: Startseite der Projektwebsite 79
Abb. 33: Liste der Kurzvideos auf der Website 80
Abb. 34: Die Partner LH Dresden und ERGO/Pikobytes präsentierten KLIPS auf dem Smart City Expo Word Congress in Barcelona 81

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Projekt Informationen 3
Tab. 2: Projekt Konsortium 3
Tab. 3: Veröffentlichte Datensätze in Mobilithek – KLIPS Klimamessnetz 2023 45
Tab. 4: Veröffentlichte Datensätze in Mobilithek – Oberflächentemperatur Dresden 46
Tab. 5: Veröffentlichte Datensätze in Mobilithek – Oberflächentemperatur Langenfeld 47
Tab. 6: Veröffentlichte Datensätze in Mobilithek – Oberflächentemperatur Dresden 48
Tab. 7: Arbeitspakete, Beschreibung und Leitung 83
Tab. 8: Arbeitspakete und Balkendiagramm 83
Tab. 9: Meilensteine 83
Tab. 10: Arbeitspakete und Tasks 84
Tab. 11: Konsortialtreffen 85
Tab. 12: Veröffentlichungen, Vorträge, Messen 92

Zusammenfassung

Dies ist der Abschlussbericht des vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), ehemals Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen der Forschungsinitiative mFUND geförderten Projektes KLIPS (FKZ 19F2134). KLIPS steht für „KI-basierte Informationsplattform für die Lokalisierung und Simulation von Hitzeinseln für eine innovative Stadt- und Verkehrsplanung“.

Zum Projektkonsortium gehören das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in Oberpfaffenhofen (DLR), die ERGO Umweltinstitut GmbH (Ergo) mit dem Unterauftragnehmer PIKOBYTES GmbH, das Fraunhofer Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut in Berlin (HHI), die terrestris GmbH & Co. KG in Bonn (TER) mit dem Unterauftragnehmer meggsimum in Birkenheide (meg), die Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hof, Institut für Informationssystem in Hof (HSH), das Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. in Dresden (IÖR) und die Software AG in Darmstadt (SAG). Wesentlich für den Projekterfolg war die Mitarbeit des Anwendungspartners Landeshauptstadt Dresden (LHD) als Konsortialpartner und des Anwendungspartners Stadt Langenfeld (LAN) als assoziierter Projektpartner.

Nach 42 Monaten Laufzeit wurde das Projekt auf Basis der Gesamtvorhabenbeschreibung zum 31. März 2024 erfolgreich abgeschlossen. Aufgrund der Verzögerungen nach Ausstieg des Hauptanwendungspartner Leipzig acht Monate nach Projektstart, welcher erhebliche Zusatzaufwände für das Suchen eines Ersatz-Anwendungspartner generierte und auch für große Unsicherheiten im Konsortium über die tatsächliche Durchführbarkeit des Projektes sorgte wurde das Projekt zusätzlich zur ursprünglich geplanten Laufzeit von 36 Monaten um 6 Monate verlängert. Am 15. März 2024 wurden im Rahmen einer öffentlichen Abschlussveranstaltung die Projektergebnisse dem Zuwendungsgeber, dem Projektträger, der Presse und einer interessierten Öffentlichkeit vorgestellt.

Ziel des Vorhabens

Ziel von KLIPS ist es, die Stadt- und Verkehrsplanung aus einem Dilemma zu befreien: Während sich unsere Städte einerseits immer weiter verdichten müssen, um mit ihrem Wachstum Schritt halten zu können, fördert andererseits gerade dies die Entstehung sog. Hitzeinseln. Sie treten vereinfacht gesagt überall dort auf, wo große Beton-, Asphalt oder Glasflächen auf wenig Grün und Wind treffen. Hitzeinseln lassen sich deshalb nicht durch kurzfristige, sondern allein durch langfristige Maßnahmen bekämpfen. Um den Städten dies zu ermöglichen, wird in KLIPS eine KI-basierte Informationsplattform entwickelt. Mit der Plattform sollen z.B. die Auswirkungen geplanter Baumaßnahmen auf Hitzeinseln vorhergesagt und durch vorausschauende Anpassungen minimiert werden. Umgekehrt können geplante Maßnahmen zur Bekämpfung von Hitzeinseln im Voraus auf ihre Wirksamkeit überprüft und so ihre Effektivität maximiert werden.

Umsetzung des Vorhabens

Für KLIPS wird in Dresden sowie im rheinländischen Langenfeld – beide Städte sind besonders stark von Hitzeinseln betroffen – ein lokales Sensornetzwerk aus ca. 250 bzw. 80 Sensoren aufgebaut. Die Sensoren sind an strategischen Positionen im Stadtgebiet verteilt und messen laufend die Umgebungstemperatur. Mit Hilfe der Sensoren ist es möglich, Hitzeinseln in Echtzeit zu vermessen. Um sie auch vorhersagen bzw. simulieren zu können, werden die Temperaturdaten auf einer

Plattform eingespielt und mit weiteren Daten – u.a. Satelliten-, Kataster- und Verkehrsdaten sowie städtische Klimamodellen – zusammengeführt. Diese Daten werden mit Hilfe von KI ausgewertet, um das komplexe Zusammenspiel von Temperatur, Wind, Wetter, Bebauung und Verkehr zu analysieren.

Besonderheiten des Vorhabens

Der Klimawandel führt auch in Deutschlands zu steigenden Temperaturen. Damit wächst zugleich die Gefahr von städtischen Hitzeinseln. Hitzeinseln – ihre Temperaturen über-steigen die ihrer sowieso schon aufgeheizten Umgebung um bis zu 10 Grad Kelvin – schädigen dabei nicht nur die städtische Infrastruktur, sondern stellen vor allem auch eine ernste Gesundheitsgefahr für die Bevölkerung dar. Je höher die Temperatur, desto höher die Zahl der Herzinfarkte und Kreislaufkollapse. Mit der effektiveren Bekämpfung von Hitzeinseln hilft KLIPS dabei, den Folgen des Klimawandels zumindest entgegenzuwirken.

1. Darstellung des Vorhabens

1.1. Gesamtziel des Vorhabens

1.1.1. Einführung, Motivation, Ausgangssituation

Die Stadt- und Verkehrsentwicklung steht vor einem Dilemma. Wegen ihres ungebrochenen Wachstums verdichten sich unsere Städte durch engere Bebauung sowie den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur immer weiter, gleichzeitig müssen sie die Folgen des Klimawandels bewältigen. Hitzeinseln – sie entstehen durch große Beton-, Glas- und Asphaltflächen sowie den Mangel an Grün und Luftzirkulation – sind logische Folge dieses Dilemmas. Während die Verdichtung ein probates Mittel ist, der steigenden Nachfrage nach Wohn-, Gewerbe und Verkehrsflächen nachzukommen, führt genau dies zur Entstehung von Hitzeinseln. Diese Hitzeinseln – ihre Temperaturen übersteigen die ihrer Umgebung um bis zu 10 Kelvin – mindern dabei nicht nur die Lebensqualität, sondern verursachen durch Straßen- und Gleisschäden auch hohe Kosten.

Von dieser Problematik ist Dresden als sächsische Landeshauptstadt, deren Wohnflächenbedarf seit 1990 um ein Drittel gestiegen ist, – besonders betroffen. Dank flächendeckender Stadtklimaanalysedaten sind diejenigen Gebiete bekannt, die zur Entstehung von Hitzeinseln neigen. Ähnlich die Situation in Langenfeld. Aufgrund ihrer geografischen Lage ist die Stadt einerseits besonders anfällig für die Entstehung von Hitzeinseln, andererseits wächst sie durch Zuzug, vor allem aus Köln und Düsseldorf, beständig. Obwohl in Größe von Bevölkerung und Stadtgebiet höchst unterschiedlich stellen sich in der Stadtplanung sowohl für Dresden als auch für Langenfeld daher zwei zentrale Herausforderungen: Erstens soll die nötige Verdichtung so geplant werden, dass möglichst keine neuen Hitzeinseln entstehen. Zweitens sollen die existierenden Hitzeinseln durch planerische Maßnahmen verkleinert bzw. verringert werden. Für beide Ziele muss der Raumkonflikt zwischen Wohnen, Arbeiten und Mobilität auf der einen und der Klimaanpassung auf der anderen Seite aufgelöst werden.

1.1.2. Kernziel des Vorhabens und Projektidee

Ziel von KLIPS war es, heterogene Datensätze in einer (prototypischen) Informationsplattform so zu bündeln, dass der raumbezogene Zielkonflikt (Klimawandel vs. Nachverdichtung vs. Verkehr) systematisch erfasst und simuliert werden kann. Gespeist aus einer Vielzahl verschiedenster Datenquellen (in-situ, Fernerkundung, statistische Datensätze, etc.) liefert die Plattform dabei nicht nur in Echtzeit einen genauen Überblick über die aktuell im Stadtgebiet auftretenden Hitzeinseln, sondern bietet dank KI auch Prognose bzw. Simulation darüber, wo Hitzeinseln zukünftig auftreten werden. Während die Prognosen dazu genutzt werden können, um die Bewohner kurzfristig vor Hitzeinseln zu warnen, ermöglichen es die Simulationen, die Auswirkungen baulicher oder planerischer Maßnahmen aufs Stadt-klima im Vorhinein durchzuspielen. Dies erlaubt es zum einen, die Entstehung von Hitzeinseln durch Anpassungen oder Umplanungen proaktiv zu verhindern oder zumindest ihre Ausdehnung zu begrenzen. Zum anderen können Maßnahmen zur Bekämpfung von Hitzeinseln im Vorfeld auf ihre Effektivität geprüft und diese ggf. noch in der Planungsphase optimiert bzw. derjenigen Alternativen zu identifizieren, die bei gleicher Wirkung die geringsten Nebeneffekte an anderer Stelle hat.

Zugleich schafft KLIPS ein besseres Verständnis des Raumkonflikts – durch räumlich wie zeitlich hochgenaue Daten und der Fähigkeit, aus diesen vielfältigen Daten die wechselseitigen Abhängigkeiten zu identifizieren und zu analysieren. Mit diesem ganzheitlichen Raummanagement ermöglicht

es KLIPS der Stadt- und Entwicklungsplanung, dem Klimawandel begegnen zu können, ohne darüber die vielfältigen Ansprüche der wachsenden Stadt vernachlässigen zu müssen – und vice versa. Obwohl initial für Dresden und Langenfeld realisiert – die beiden Städte sind aufgrund des besonders hohen Problemdrucks sowie der daraus resultierenden breiten Informations- und Datengrundlage als Pilotanwender prädestiniert – lässt sich KLIPS auch auf weitere Kommunen übertragen. So sind sowohl prototypisch realisierte Informationsplattform als auch angelernte KI-Algorithmen generisch. Die Kommunen können Daten und Informationsprodukte in ihre internen Systeme einbinden und für die Kommunikation mit den Bürgern nutzen. Sie können daher, die Existenz eines lokalen Sensornetzwerks vorausgesetzt, auch in anderen Städten eingesetzt werden. Die Beteiligung einer Großstadt sowie einer Mittelstadt sichert dabei die Übertragbarkeit auf Kommunen verschiedener Größe.

1.1.3. Erläuterung des Bezugs des Vorhabens zur Förderrichtlinie

Die Förderrichtlinie „Modernitätsfonds“ zielt auf die Förderung datenbasierter Innovationen und umsetzungsnaher Anwendungsfälle im Sinne eines Open Data-Ansatzes. KLIPS nutzt nicht nur bestehende Daten, sondern erhebt auch weitere Daten in Dresden und Langenfeld. So wurden in Dresden über 260 und in Langenfeld 80 Sensoren im Stadtgebiet installiert, um die Datenlücke zu schließen und diese neuen engmaschigen Daten mit den bereits vorhandenen aktuellen und historischen Daten zu verknüpfen zu. Die neu erhobenen Daten werden eine Optimierung der Datenlage im Bereich der Hitzeinseln sein. Sie werden erstens auf einer Plattform für die Landeshauptstadt Dresden und Langenfeld nutzbar dargestellt und zweitens – sofern dies nicht den Verwertungsinteressen der KLIPS-Partner fundamental zuwiderläuft – der Allgemeinheit als Open Data in der mobilithek, der Datenplattform des mFund) zur Verfügung gestellt (https://mobilithek.info/). Erste KLIPS-Daten wurden dabei bereits zum 18. Projektmonat als Open Data bereitgestellt werden. Die Landeshauptstadt Dresden und Langenfeld nutzen die Anwendung direkt für stadtplanerische sowie verkehrsplanerische Zwecke. Darüber hinaus werden über Satellitendaten auch baulichen Maßnahmen sowie die Entwicklung von Hitzeinseln über die vergangenen Jahrzehnte systematisch für die Stadtgebietsanalyse herangezogen.

1.1.4. Abgrenzung und Alleinstellungsmerkmal

Innerhalb der mFUND-Förderung befassen sich bereits verschiedene Projekte mit Wetterdaten und Wettervorhersagen. Einige sind dabei auf die Visualisierung sowie die Verwertbarkeit und Nutzbarmachung von Wetterdaten fokussiert (Bsp. FAIR, WebEnVisWetter). Die meisten fokussieren sich jedoch auf die Erfassung und kurzfristige Vorhersage von Niederschlagsereignissen, insbesondere von Starkregenereignissen (Bsp. OEPNV-Wetter, mobileVIEW, MeteoValue, SENSARE).

KLIPS fokussiert sich hingegen, mit Hilfe von Wetterdaten, auf das Wetterextrem der städtischen Hitzeinsel und baute hierfür ein engmaschiges Sensornetzwerk auf. Bei FloWKar werden Sensordaten aus fahrenden Fahrzeugen erhoben. Um belastbare Daten über einen längeren Zeitraum (Tagesverlauf, Jahreszeiten etc.) und an unterschiedlichen Fahrbahnstandorten (Nähe zu Grünflächen, Straßenkreuzungsbereiche, Breite der Straße etc.) zu erhalten, wurden die Sensoren von KLIPS stationär befestigt. Außerdem grenzt sich KLIPS gegenüber anderen mFUND-Projekten ab, da die baulichen Rahmenbedingungen (Versiegelung, Verkehrswege, Nähe zu Grün- und Wasserflächen, etc.), die die Entstehung von Hitzeinseln begünstigen bzw. verhindern, (wissenschaftlich) untersucht werden.

KLIPS greift zudem auf die bereits vorhandenen Infrastrukturen und Daten des abgeschlossenen mFUND-Projektes SAUBER zurückgreifen, an dem ein Großteil der KLIPS-Partner schon zusammengearbeitet haben.

1.2. Beschreibung des Vorhabens

1.2.1. Kurze Erläuterung des wissenschaftlichen Ansatzes des Vorhabens

Für die Lokalisierung und Simulationen von Hitzeinseln greift KLIPS auf eine Vielzahl unterschiedlicher Daten zurück (siehe auch Abb. 1). Die meisten der benötigten Daten existieren bereits. Hervorzuheben sind hierbei zum einen die Datenbestände der Städte Dresden und Langenfeld sowie zum anderen die Satellitendaten der Sentinel-Flotte des Erdbeobachtungsprogramms Copernicus. Diese beiden Quellen liefern u.a. (historische und aktuelle) Wetterdaten, Klimadaten, Landbedeckungsdaten, Schadstoffdaten, Verkehrsdaten, digitale Höhenmodelle sowie morphologische Informationen zur Bebauung (3D-Gebäudemodellen sowie Bevölkerungsdichte). Um die räumliche Auflösung dieser Daten zu erhöhen und lokal verlässliche Messdaten zu gewinnen, wurden für KLIPS in-situ Sensornetzwerke in Dresden und Langenfeld aufgebaut. Positioniert an neuralgischen Stellen im Stadtgebiet messen sie permanent die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit.

Alle Daten werden auf einer Datenplattform zusammengeführt, aufbereitet und analysiert. Durch die Analyse – insbesondere durch die Kombination aus flächendeckenden Satellitendaten und lokalen Sensordaten – können Hitzeinseln in Echtzeit aufgespürt werden. Darüber hinaus dienen die Daten dazu, über geeignete Verfahren des Maschinellen Lernens die KI-Algorithmen zu trainieren. Dadurch ist es möglich, die Folgen der Bau- oder Verkehrsplanung auf Hitzeinseln bzw. die Wirkung geplanten Maßnahmen zur Bekämpfung von Hitzeinseln abzuschätzen. Die KI-Algorithmen sind dabei selbstlernend. Je mehr Daten im Laufe der Zeit gesammelt werden, desto genauer und besser lassen sich die Hitzeinseln vorhersagen.

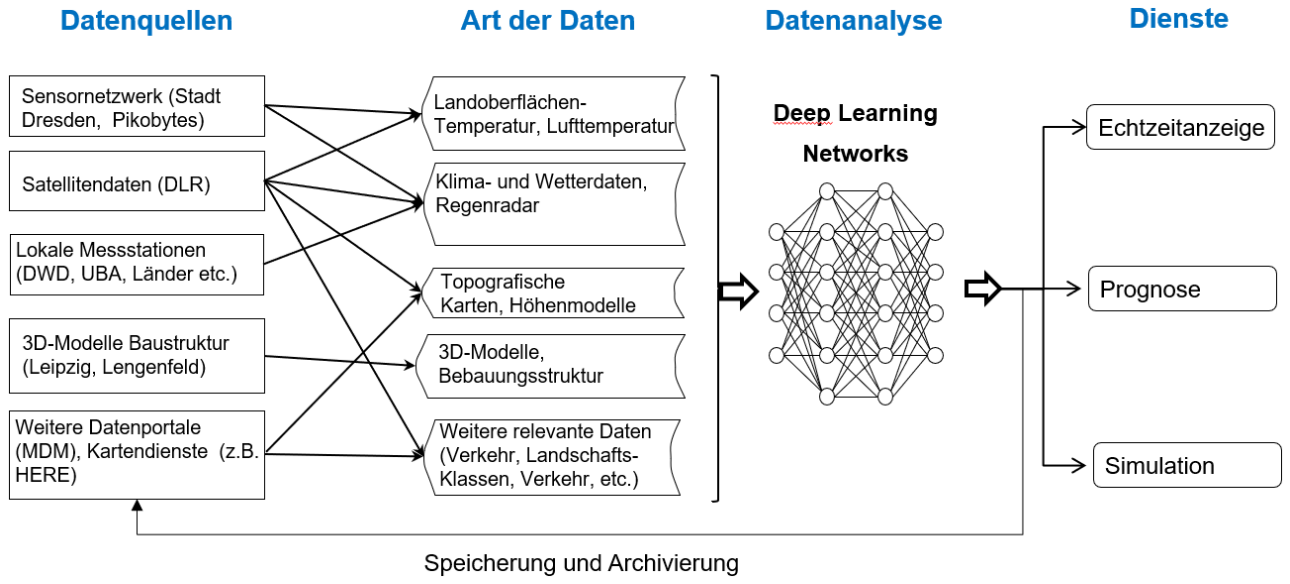

Abb. 1: Realisierungskonzept von KLIPS

1.2.2. Digitale Innovationen im Bereich der Mobilität

Die städtische Mobilität spielt im Spannungsfeld zwischen den Auswirkungen des Klimawandels und dem ungebrochenen Zuzug von Menschen in die Städte eine Schlüsselrolle.

Einerseits bestimmt die Art der Fortbewegung in den Städten die Höhe von Treibhausgas- und Schadstoffausstößen, andererseits nimmt die Verkehrsinfrastruktur einen großen Teil der Stadtfläche in Anspruch und beeinflusst damit auch die Klima Resilienz der Städte. KLIPS zielt darauf ab, diese Abhängigkeiten aufzudecken und die Effekte der Mobilität in diesem Spannungsfeld zu verorten. Die Herausforderungen, denen die Stadt- und Verkehrsplanung gegenüberstehen, können nicht einzeln bewältigt werden: Vielmehr müssen die Städte als hochkomplexe und dynamische Raumsysteme ganzheitlich betrachtet werden. Hier setzt KLIPS an, indem es heterogene Datenquellen nutzt, um die Veränderungen in den Bereichen Verkehr, Klima und Nachverdichtung sowie deren Wechselwirkungen zu untersuchen. Mit Hilfe von KI wird im Anschluss nicht nur die Auswirkungen von verkehrlichen Maßnahmen mit dem Ziel städtische Hitzeinseln zu verhindern bzw. vermindern simuliert, sondern ebenso städtebauliche Maßnahmen getestet und deren Effektivität bewertet.

1.2.3. Gesellschaftlicher Mehrwert

Hitzeinseln fügen unseren Städten schwere Schäden zu: Sie ziehen durch aufgeplatzte Asphaltdecken und verzogene Gleise die Verkehrsinfrastruktur in schwere Mitleidenschaft und erhöhen zudem über stärker laufende Klimaanlagen den Energieverbrauch. Darüber hinaus mindern Hitzeinseln nicht nur die Lebensqualität in den Städten, sondern stellen auch ein ernstes Gesundheitsrisiko für ihre Bewohner dar. Der Hitzestress verringert nicht nur die Konzentrationsfähigkeit der Verkehrsteilnehmer, sondern lässt auch die Zahl der Kreislaufkollapse stark steigen. Durch den voranschreitenden Klimawandel – in Zukunft werden auch in Deutschland tage- oder gar wochenlange Hitzeperioden mit Temperaturen von über 30 Grad Celsius die Regel sein – gewinnt das Problem städtischer Hitzeinseln dabei weiter an Brisanz.

In der Bekämpfung von Hitzeinseln stehen unsere Städte jedoch vor dem Dilemma, dass dies – sofern isoliert für sich betrachtet – zwangsläufig zu Lasten der wachsenden Nachfrage nach Wohn-, Gewerbe- und Verkehrsflächen geht. Hitzeinseln lassen sich nicht durch kurzfristige Maßnahmen wie z.B. der Oberflächenbewässerung, sondern allein durch aufgelockerte Bebauung und/oder Schaffung von Grünflächen bzw. Luftschneisen eindämmen. Diese Freiflächen fehlen dann zwangsläufig für andere Dinge. Indem KLIPS die Konkurrenz um städtische Flächen durch sein integratives Raummanagement zumindest entschärft, leistet es einen wichtigen Beitrag, den stadtplanerischen Widerspruch zwischen Verdichtung einerseits und Klimaanpassung andererseits zu mildern. Ganz unmittelbar wird sich dank KLIPS die Entstehung neuer Hitzeinseln in Dresden und Langenfeld verhindern oder zumindest so weit wie möglich begrenzen sowie die Bekämpfung existierender Hitzeinseln optimieren lassen. Mittelbar ermöglicht KLIPS die Bekämpfung von Hitzeinseln auch in anderen Städten, da sich die im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse – insbesondere die für KLIPS pilotierte Informationsplattform sowie die angelernten KI-Algorithmen – auf weitere Kommunen übertragen lassen. Um den Nutzen eines Projektes wie KLIPS zu verdeutlichen, wird Dresden die Projektergebnisse für seine Bürger aufbereiten und mit Informationsangeboten verdeutlichen.

1.2.4. Geplante Datenerhebungen und Datenverfügbarkeit

Um die Kosten der Datenerhebung auf ein Minimum zu begrenzen, greift KLIPS weitgehend auf bereits existierende Datenbestände zurück. Zu nennen sind hierbei erstens umfassende amtliche Geodaten, das 3D-Stadtmodell, Stadtklimaanalysedaten sowie weitere Umweltinformationen der Landeshauptstadtstadt Dresden. Die Stadt Langefeld verfügt über ein 3D-Gebäudemodell sowie eine Klimaanalyse im Raster von 100 x 100 Meter, eine höher aufgelöste Klimaanalyse im Maßstab 10 x 10 Meter befindet sich derzeit noch in Arbeit. Zweitens nutzt KLIPS die Satellitendaten der Sentinel-Flotte des Erdbeobachtungsprogramms Copernicus, die u.a. Informationen zu Landoberfläche und Atmosphäre liefern. Durch die Beteiligung des federführend an Copernicus beteiligten DLR ist die Verfügbarkeit dieser – durch das DLR bereits aufbereiteter Daten – sichergestellt. Drittens kann KLIPS die Daten bzw. Zwischenergebnisse des bereits laufenden mFund-Verbundvorhabens SAUBER verwenden. Dies sind Daten von lokalen Messstationen und Satelliten u.a. der Copernicus Sentinel-Flotte (Landoberflächen- und Atmosphärendaten), Daten von Portalen (Verkehrsdaten) sowie Daten bzgl. Landnutzung, Bevölkerungsdichte und Topografie. Softwaremodule zur Akquise der Daten und zur Speicherung in einer ProgreSQL-Datenbank sind implementiert und schon jetzt im Einsatz. Historische Daten stehen teilweise ab 1990 zur Verfügung; diese werden laufend mit aktuellen Daten ergänzt.

Um die räumliche Auflösung der genannten Daten zu erhöhen und so Hitzeinseln genauer lokalisieren und simulieren zu können, wurden für KLIPS zwei in-situ Sensornetzwerke in Dresden und Langenfeld aufgebaut. Diese von Ergo entwickelten Sensoren messen permanent die Temperaturen ihrer Umgebung und wurden an neuralgischen Punkten des Stadtgebiets installiert. Das dadurch generierte Datenvolumen ist erheblich, sodass für die Datenhaltung und -verarbeitung eine von Pikobytes entwickelte spezielle Time Series Database zum Einsatz kommt. Der Zugriff erfolgt über einen entsprechend optimierten Webdienst, der mit der KLIPS-Plattform verknüpft wird.

1.3. Kurzdarstellung des Projektkonsortiums

Die **Software AG (SAG)** ist das zweitgrößte Softwareunternehmen Deutschlands. 2018 erzielte sie einen Umsatz von 873 Mio. Euro Umsatz und beschäftigte knapp 4.300 Mitarbeiter. Mit „Cumulocity IoT“ verfügt die Software AG über eine der weltweit führenden IoT-Plattformen. Für KLIPS kann die Software AG auf die (Zwischen)Ergebnisse mehrerer Forschungsprojekte zurückgreifen, in denen sie die Entwicklung einer Datenplattform verantwortet. Hervorzuheben sind hierbei Daten Tanken (BMWi), Cartox² (BMVI) sowie ZDMP (EU): Ziel von Daten Tanken ist der wirtschaftliche Betrieb der in der Landeshauptstadt Dresden aufgebauten Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge über datenbasierte Dienste. Leitende Idee von Daten Tanken ist der Tausch von Daten gegen verbilligten – ggf. sogar kostenlosen – Strom. Während des Ladens gewährt der Fahrzeughalter dem Ladesäulenbetreiber Zugriff auf die Daten seines Autos. Die so gewonnenen Fahrzeugdaten werden auf eine Serviceplattform eingespielt und in die digitalen Dienste überführt, die nicht nur die Kosten des verbilligten Stroms, sondern auch die der Ladeinfrastruktur refinanzieren. Ziel von Cartox² ist es, Basisdienste fürs autonome Fahren – namentlich Informationen zur Mobilfunkabdeckung, zur Verfügbarkeit des Edge-Computings sowie zur Bewertung von Verkehrsrisiken – als Service anzubieten. Im Zentrum von Car-tox² steht eine Serviceplattform. Auf ihr werden alle relevanten Daten zusammengeführt, analysiert und in die Basisdienste fürs autonome Fahren überführt. Diese Basisdienste können „As-a-Service“ bequem von Dritten bezogen und in die eigenen Angebote eingepflegt werden. Cartox² greift als Datenquellen zum einen auf Open Data wie z.B. den Breitbandatlas, das DB-Netzradar oder Wetterdaten zurück. Zum anderen werden über Testfahrzeuge auch eigene Konnektivitätsdaten erhoben. Ziel von ZDMP ist es, eine digitale Plattform für die (teil)automatisierte Null-Fehler-Produktion zu entwickeln. Hierfür werden auf einer Plattform

standort- und unternehmensübergreifend alle relevanten Produktionsdaten eingespielt und in Echtzeit ausgewertet. Dank KI lassen sich Normabweichungen nicht nur frühzeitig entdecken, sondern sogar präzise vorhersagen, so dass sie billiger beseitigt, unter Umständen sogar ganz vermieden werden können.

Die **ERGO Umweltinstitut GmbH (Ergo)** ist als akkreditiertes Prüflabor und bekanntgegebene Messstelle nach Bundesimmissionsschutzgesetz seit fast 30 Jahren im Markt der Umweltmesstechnik und Felddatengewinnung aktiv. Dabei werden sowohl messtechnische Kundenprojekte routinemäßig durchgeführt als auch verschiedenste Geräteentwicklungen durchgeführt. Hervorzuheben ist u.a. ein Entwicklungsprojekt zur Überwachung von Oxydationskatalysatoren an Stationärmotoren, welches gemeinsam mit einem großen Energieversorgungsunternehmen realisiert wurde. Im Sektor Umweltmeteorologie liegen langjährige Felderfahrungen vor. Ergo betreibt mehrere Wetterstationen nach DWD-Standard zur Erfassung verschiedener meteorologischer Größen für Kundenprojekte

Das Earth Observation Center des **Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)** ist das Kompetenzzentrum für Erdbeobachtung in Deutschland. Es stellt mit seinen nationalen und internationalen Bodenstationen den unmittelbaren Zugang zu den Daten nationaler und internationaler Erdbeobachtungssatelliten her, prozessiert die Daten zu Informationsprodukten, verteilt diese an die Nutzer und sichert alle Daten langfristig im Deutschen Satellitendatenarchiv (D-SDA). Es entwickelt Auswerteverfahren, um aus reinen Bilddaten multitemporale Informationsprodukte über die physische Stadt und ihre Struktur abzuleiten. Durch die Verbindung dieser Informationsprodukte mit statistischen, demographischen und sozialwissenschaftlichen Daten werden geographische Fragestellungen im Kontext von Risiko-, Expositions- und Vulnerabilitätsanalysen untersucht. Die Abteilung Atmosphäre stützt sich auf die Grundlage satellitengestützter Messungen in der Atmosphäre (essenzielle Klimavariablen, Copernicus-Produkte) für die Klima- und Atmosphärenforschung und die Bearbeitung gesellschaftlich relevanter Themen (z. B. Energie, Luftqualität und Gesundheit, Extremereignisse, Konventionsmonitoring).

Die Projektarbeiten am **Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut (HHI)** werden in der Abteilung „Video Coding & Analytics“ durchgeführt. Dort liegt eine langjährige Erfahrung in der Bild- und Videoanalyse vor. Seit einigen Jahren wird verstärkt Forschung und Entwicklung im Bereich „Maschinelles Lernen“ betrieben, die auf leistungsfähige, interpretierbare und effiziente Datenanalysetechniken für eine Bandbreite von verschiedenen Anwendungen angewendet werden. Es wurden eine Vielzahl von Deep Learning Network Architekturen für eine Bandbreite von komplexen Anwendungen wie semantische Bilderkennung, Spracherkennung, Erkennung von Gesichtern, Analyse von Zeitreihen entwickelt und evaluiert. Das Fraunhofer HHI beschäftigte sich in diesem Projekt schwerpunktmäßig mit der Akquise und Speicherung von Daten aus einer Vielfalt verschiedener Quellen, der Aufbereitung und insbesondere der Analyse dieser Daten mit Hilfe von Verfahren aus dem Bereich des Maschinellen Lernens.

Ziel des **Instituts für Informationssysteme der Hochschule Hof (HSH)** ist es, zur Weiterentwicklung des Rechtsrahmens, insbesondere zu Rechtsfragen der Digitalisierung, Datenschutz und Rechtstatsachenforschung durch IT beizutragen und damit anwendungsnahe Lösungen in Einklang mit Recht und Compliance zu bringen. Ergebnisse konnten im Projekt sd-kama und der Begleitforschung Recht des Rahmenprogrammes ”Innovations from Smart Data“ des BMWi und derzeit im Projekt SAUBER des BMVI (mFUND) Modellprozesse zu neuen Technologien, insbesondere im Bereich der Implementierung der Datenschutzgrundverordnung unter dem Aspekt ”Privacy by Design“ entwickelt werden.

Das **Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)** ist eine raumwissenschaftliche Forschungseinrichtung der Leibniz-Gemeinschaft mit Ausrichtung auf ökologische Fragen nachhaltiger Entwicklung. Das IÖR erarbeitet wissenschaftliche Grundlagen für eine dauerhaft

umweltgerechte Entwicklung von Städten und Regionen im nationalen und internationalen Zusammenhang. Neben Wandel und Management von Landschaften, Ressourceneffizienz von Siedlungsstrukturen sowie Umweltrisiken in der Stadt- und Regionalentwicklung beschäftigt sich das IÖR intensiv mit Fragen zum Monitoring der Siedlung- und Freiraumentwicklung. Im Vordergrund stehen dabei automatisierte datengetriebene Erhebung-, Monitoring-, Analyse-, Visualisierungs- und Bewertungsverfahren für die räumliche Beschreibung von Flächennutzungsstrukturen, Gebäudebeständen sowie der Verkehrsinfrastruktur und deren Entwicklung. Für das Vorhaben besonders hervorzuheben sind die Projekte SAUBER (mFUND), meinGrün (mFUND), Quantitative Siedlungsstrukturanalyse - Methodische Beiträge für das Verständnis von Siedlungsstrukturen (DFG), Wissensentdeckung in Datenbeständen zur Flächeninanspruchnahme in Deutschland (DFG) sowie Regionales Klimaanpassungsprogramm Modellregion Dresden (BMBF) und HeatResilientCity (BMBF).

Die **terrestris GmbH & Co. KG (ter)** ist auf die Verarbeitung sowie Darstellung raumbezogener Daten mit Geoinformationssystemen spezialisiert. Zum maßgeschneiderten Aufbau von Geodateninfrastrukturen (GDI) nutzt sie Open Source und setzte dabei auf bewährte Technologien, Standards und freie (Geo-)Daten. In den vergangenen 18 Jahren seit der Gründung konnte terrestris in zahlreichen erfolgreichen Projekten Erfahrungen diesbezüglich sammeln. Herauszuheben sind hierbei: a) das vielfältige Kundenklientel, welches jeweils spezifische Anforderungen mitbringt, die verstanden und analysiert werden wollen, b) die Konzeption flexibler und nachhaltiger GDI aus harmonisch abgestimmten Einzelkomponenten und c) die konsequente, aber nicht unhinterfragte Verwendung von Standards, vornehmlich solcher des OGC.

Ziel der **Landeshauptstadt Dresden** ist es, die Lebensqualität in Dresden zu verbessern. Den Weg dorthin ermöglichen die Entwicklung zu einer Smart City, welche in der Lage ist, u. a. Umweltereignisse strukturiert zu erfassen, zu bewerten, für Bürger transparent zu machen und in Handlungsaufgaben umzusetzen. Umweltinformationen bieten die Möglichkeit, in Form von (digitalen) Karten und Daten, komplexe und vielfältige Sachverhalte aufzubereiten und zu verstehen.

1.3.1. Assoziierter Partner

Das Klimaschutzteam der **Stadt Langenfeld** ist im Referat für Umwelt, Verkehr und Tiefbau angesiedelt. Die Beteiligung an KLIPS ermöglicht es ihm, die im kommunalen Klimaschutzplan der Stadt entwickelten Maßnahmen zielgenau umzusetzen und auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen.

1.3.2. Arbeitsteilung und Kompetenzen im Konsortium

Die **Software AG** verantwortete als Konsortialführerin Konzeption und Entwicklung der prototypischen KLIPS-Plattform. Hierfür greift sie auf ihre IoT-Plattform „Cumulocity IoT“ zurück, die anwendungsspezifisch für KLIPS weiterentwickelt wurde. Dabei arbeitete sie eng mit **terrestris** sowie ihrem Unterauftragnehmer **meggsimum** zusammen, deren Kernaufgaben im Aufbau der zentralen Geodateninfrastruktur sowie in der Entwicklung der KLIPS-Services lagen. **Ergo** konzipierte und entwickelte in Kooperation mit **PIKOBYTES** Technologie und Methoden für die hyperlokale meteorologische Datenerfassung mit Schwarmsensorik und installierte und betreut die Sensornetzwerke in Dresden sowie Langenfeld. Als akkreditiertes Prüflabor (DIN EN ISO/IEC 17025) verfügt **Ergo** über langjährige Erfahrungen mit meteorologischen Messungen nach DWD-Standard. Das **Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt** brachte neben seiner Expertise in der Meteorologie seine weltweit führenden Kompetenzen in der Anbindung, Aufbereitung und Anreicherung von Satellitendaten in KLIPS ein. In der Datenanalyse wurde es vom **Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut** unterstützt, das sich neben der visuellen Aufbereitung vorrangig mit der Adaption des Maschinellen Lernens für KLIPS beschäftigt. Hierbei wurde auf das tiefe Know-how des **Leibniz-Instituts für ökologische Raumplanung** über das komplexe Wechselspiel zwischen Bebauung, Verkehr und Temperatur zurückgegriffen. Darüber hinaus bringt das **Leibniz-Institut für ökologische**

Raumentwicklung eigene Daten ins Vorhaben ein und übernimmt zunächst den Betrieb des Sensornetzwerkes in Dresden während der Laufzeit des Projektes. Das **Institut für Informationssysteme der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hof** hat als Rechtsberater KLIPS intensiv begleitet und so für die datenschutzrechtskonforme Umsetzung gesorgt. Die Städte **Dresden** und **Langenfeld** stellten KLIPS nicht nur zahlreiche Daten bereit, sondern begleiten als Pilotanwender die Umsetzung von KLIPS über die gesamte Laufzeit hinweg. Dabei definierten sie zum einen die fachlichen bzw. funktionalen Anforderungen an die Plattform und evaluierten diese fortlaufend aus Nutzerperspektive. Zum anderen unterstützten sie im Rahmen ihrer Möglichkeit den Aufbau der lokalen Sensornetzwerke in ihren Stadtgebieten. Sie informierten die Bevölkerung zum Vorhaben nicht zuletzt über ihre Webseiten und bieten dort nach Möglichkeit Dienste aus KLIPS an.

1.3.3. Lösungskonzept von KLIPS

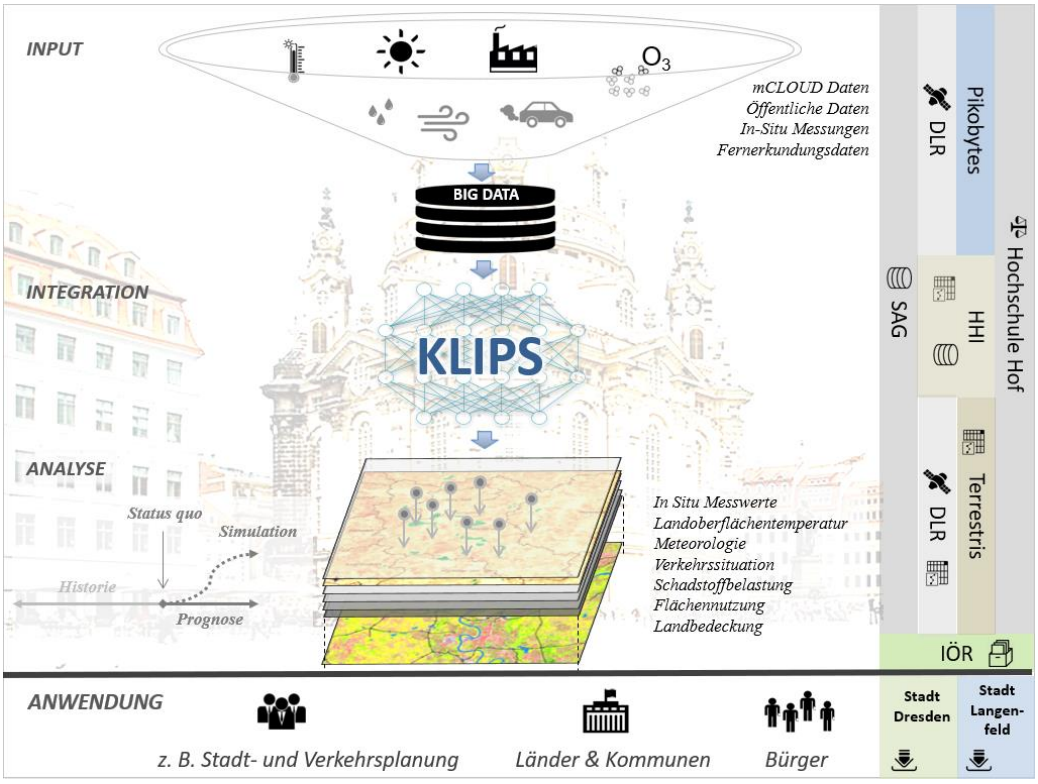

Abb. 2: Lösungskonzept von KLIPS

1.4. Stand von Wissenschaft und Technik

1.4.1. Internationale und nationale Arbeiten zum Thema des Vorhabens

Der Klimawandel hat sowohl national als auch international eine rege Forschungstätigkeit zur Frage ausgelöst, welche konkreten Folgen er für unsere Städte hat. Zu nennen sind hierbei u.a. die Forschungsprojekte URBANFLUXES (Horizon 2020), HeatResilientCity (BMBF), MAtchUP (Horizon2020) sowie Stadtklima im Wandel - Urban Climate Under Change [UC]². Letzterem kommt wegen seines Umfangs und seiner thematischen Nähe zu KLIPS eine besondere Bedeutung zu. Ziel von [UC]² ist es, ein Stadtklimamodell (PALM-4U) zu entwickeln, das für Städte der Größe von Stuttgart bis Berlin atmosphärische Prozesse gebäudeauflösend mit einer Gitterweite von 10 bis 1 Meter

simulieren kann. Dieses Modell soll es den Städten ermöglichen, Bewertungsanalysen durchzuführen und Maßnahmen zur Klimaanpassungen zu planen.

Trotz der inhaltlichen Nähe unterscheidet sich KLIPS in drei Punkten von [UC]²: Erstens zielt es nicht auf die Entwicklung eines Stadtklimamodells, sondern auf die Lokalisierung und Vorhersage von städtischen Hitzeinseln ab. KLIPS ist also auf einen – neuralgischen und drängenden – Ausschnitt des städtischen Klimas fokussiert. Insbesondere die hochverdichteten Messdaten der für KLIPS in den Städten Dresden und Langenfeld verbauten Sensornetzwerke erlauben eine hochlokale Messung der Überwärmung ohne die bekannten Modellunsicherheiten von Simulationen. Um Hitzeinseln flächendeckend vorhersagen bzw. simulieren zu können, greift KLIPS im Gegensatz zu [UC]² zweitens nicht auf modellhafte Annahmen zurück, sondern nutzt Verfahren des Maschinellen Lernens, um aus der Auswertung historischer Daten Prognosen bzw. Wirkungszusammenhänge abzuleiten. Drittens adressiert KLIPS mit der Konkurrenz um städtischen Raum einen konkreten Anwendungsfall, während in [UC]² Anwendungsfälle zur Evaluierung und Validierung des Stadtklimamodells – d.h. als Mittel zum Zweck – genutzt werden.

Der Deutsche Wetterdienst betreibt einen bundesweiten Hitzewarndienst. Der Schwerpunkt liegt hier bei der Kurzfristprognose von Hitzetagen und -episoden im Zusammenhang mit Großwetterlagen. KLIPS unterscheidet sich davon in Bezug auf die räumliche Skala (engmaschiges Monitoring in Dresden und Langenfeld), die Ausrichtung auf Aspekte der Stadt- und Verkehrsplanung sowie durch die Nutzung von KI. Zudem betreibt der Deutsche Wetterdienst das Informationsportal für Klimaanpassung in Städten (INKAS), das sich als web-basiertes allgemeines Beratungswerkzeug für Planer und Kommunen versteht.

1.4.2. Expertise des Konsortiums

Neben ihren individuellen Kompetenzen können einige der Partner – namentlich DLR, HHI, HSH, IÖR, die HSH, meggsimum sowie SAG – für KLIPS auch auf die im gemeinsamen mFUND-Projekt SAUBER gewonnenen Erfahrungen und Ergebnisse zurückgreifen. Ziel von SAUBER war es, eine Informationsplattform zu entwickeln, die sowohl einen Überblick über die aktuelle als auch über die zukünftige Luftverschmutzung bietet. Droht ein Grenzwert überschritten zu werden, kann die Schadstoffbelastung durch proaktive Maßnahmen reduziert ggf. sogar ganz vermieden werden. Durch die Nutzung von Satellitendaten – mittlerweile lassen sich Schadstoffe wie Stickoxide oder Feinstaub in hoher Auflösung aus dem Orbit erfassen – geht SAUBER in der Flächenabdeckung deutlich über die punktuellen Erhebungen der stationären Messstationen hinaus. Das Herzstück von SAUBER bildet eine Plattform, auf der alle relevanten Daten eingespielt, analysiert und zur Anzeige, Prognose und Simulation von Luftschadstoffen genutzt werden. Zu den Datenquellen zählen neben den Satelliten des Copernicus-Programms u.a. (aktuelle und historische) Verkehrs-, Wetter- bzw. Klimadaten sowie Ergebnisse der lokalen Messstationen oder Informationen zur Topographie bzw. Morphologie. Diese Daten werden miteinander verschnitten, um ein flächendeckendes und dabei dennoch detailliertes Bild der Luftverschmutzung zu zeichnen. Mit Hilfe von KI sollen Zusammenhänge bzw. Abhängigkeiten aufgespürt und in entsprechende Prognosen und Simulationen für die Stadt- bzw. Regionalentwicklung überführt werden.

Viele der in SAUBER erforschten Konzepte und Verfahren können zwar für KLIPS adaptiert werden, eins zu eins übertragen lassen sie sich jedoch nicht. Hierfür sind zum einen die Ursachen der Luftverschmutzung auf der einen und von Hitzeinseln auf der anderen Seite – trotz gewisser Wechselwirkungen zwischen ihnen – zu verschieden. Deshalb müssen für KLIPS nicht nur andere Daten genutzt und analysiert, sondern auch die neuronalen Netze neu aufgesetzt und die KI-Algorithmen

von Neuem angelernt werden. Zum anderen geht KLIPS durch den Aufbau eines lokalen Sensornetzwerkes in der räumlichen Auflösung deutlich über SAUBER hinaus, was sowohl höhere Anforderungen an die zu entwickelnde Geodateninfrastruktur als auch an die KLIPS-Dienste zur Identifikation und Prognose von Hitzeinseln stellt.

Über SAUBER hinaus kann KLIPS auch auf die von Pikobytes im von der Landeshauptstadt Dresden geförderten Forschungsprojekt Smart Rain gewonnenen Erkenntnisse im Aufbau und Betrieb von in-situ Umweltsensornetzwerken zurückgreifen. Außerdem bringt es „SensorHub“, die Technologie der firmeneigenen Open-Data-Plattform OpenSensorWeb, zur Erfassung, Verarbeitung und Analyse der in-situ Messdaten in das Projekt mit ein. Als akkreditiertes Prüflabor (DIN EN ISO/IEC 17025) verfügt Ergo über langjährige Erfahrungen mit meteorologischen Messungen nach DWD-Standard und bringt diese Kompetenz in die Technologieentwicklung, Messnetzplanung und Datenauswertung mit ein.

1.4.3. Daten- und Patentlage

Zur Lokalisierung und Vorhersage von Hitzeinseln zieht KLIPS eine Vielzahl unterschiedlicher Daten heran. Für die Landeshauptstadtstadt Dresden sind hierbei die Daten aus der amtlichen Geodateninfrastruktur sowie das 3D-Stadtmodell und Stadtklimaanalysedaten hervorzuheben. Für die Stadt Langenfeld sind insbesondere die städtischen Klimaanalysen im Raster von 100 x 100 Meter bzw. 10 x 10 Meter sowie das 3D-Gebäudemodell zu nennen. Des Weiteren greift KLIPS auf ein Satellitendaten-portfolio u.a. des Erdbeobachtungsprogramms Copernicus zurück, das flächendeckend (historische und aktuelle) Informationen zu Wetter, zu Landabdeckung und Oberflächentemperaturen, zu Gebäudehöhe- und vor allem -ausrichtung, zu Vegetation und öffentlichem bzw. privatem Baumbestand sowie zur Schadstoffbelastung liefert. Zur Verfeinerung dieser Satellitendaten sind für KLIPS über 260 Sensoren in Dresden sowie 80 in Langenfeld verbaut, die permanent hochaufgelöste Temperaturdaten liefern. Alle genannten Daten wurden entweder von den KLIPS-Partnern ins Vorhaben eingebracht oder sind als Open Data verfügbar. Somit war bereits zu Vorhabensbeginn ein großer und exzellenter Datengrundstock vorhanden.

Für die Entwicklung der Informationsplattform brachte die Software AG ihre IoT-Plattform „Cumulocity IoT“ in KLIPS ein, die durch zahlreiche Patente des Unternehmens geschützt ist. Zur Erfassung und Verarbeitung der in-situ-Daten stellt Pikobytes die firmeneigene Lösung „Sensor-Hub“ in KLIPS zur Verfügung. Für den Aufbau der in die Plattform integrierte Geodateninfrastruktur werden ebenso ausgewählte Open Sourcen-Komponenten eingesetzt wie für die Realisierung KLIPS-Dienste. Die vom Fraunhofer HHI genutzten Verfahren des Maschinellen Lernens sind entweder durch einschlägige Patente des Instituts geschützt oder sind ebenfalls Open Source. Die Landeshauptstadt Dresden strebt an, verfügbare Daten über die städtische Urban Plattform verfügbar zu machen und für verschiedene Aufgaben zu nutzen.

1.5. Arbeits- und Zeitplanung

Für die Umsetzung von KLIPS waren insgesamt 218 Personenmonate (PM) erforderlich, die sich auf 9 Arbeitspakete (AP) verteilen. Ziele, Ergebnisse, Umfang und Beteiligung der Partner an den 9 AP von KLIPS sind hier dargestellt. Die einzelnen Tasks der AP können der Gesamtvorhabenbeschreibung und dem Kapitel 2 entnommen werden. Beginn und Ende der einzelnen AP sowie die eingeplanten Meilensteine sind im Kapitel 4 in Tabellen detailliert dargestellt.

2. Beiträge der Partner zum Gesamtergebnis

2.1. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

2.1.1. Aufgabenstellung und Ziele des Teilvorhabens

Mit seiner Expertise im Bereich der Satellitenfernerkundung, Meteorologie und Stadtklimatologie kamen dem DLR im Projekt verschiedene Aufgaben zu. Zum einen war das DLR für die Akquise und Aufbereitung geeigneter Satellitendatensätze für die Klassifikation der Landoberflächen in Dresden und Langenfeld sowie der Aufbereitung von satellitenbasierten Oberflächentemperaturen verantwortlich, die auch von anderen Projektpartnern genutzt wurden. Neben der Datenbeschaffung und Bereitstellung wurden vom DLR vor allem wissenschaftliche Aufgaben übernommen. Hierzu zählen die Einbringung der meteorologischen Fachexpertise, die (Mit-)Konzeption wichtiger Zielgrößen im Projekt, die Analyse der verwendeten Daten, sowie die wissenschaftliche Aufbereitung der Ergebnisse zur Publikation in internationalen Fachzeitschriften sowie der Präsentation auf nationalen und internationalen Konferenzen. Die Datenanalyse des DLR in KLIPS umfasst die retrospektive Analyse satellitenbasierter Zeitreihen der Oberflächentemperatur in Relation zur Bebauungsstruktur sowie der Landbedeckung.

Aufgaben und Ziele nach Arbeitspaketen

Arbeitspaket 0: Projektmanagement und Dissemination

- Erfüllung der Berichtspflichten und Bekanntmachung von KLIPS und dessen Ergebnissen in Wissenschaft und Gesellschaft.

Arbeitspaket 1: Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur

- Beitrag zur Abstimmung der erarbeiteten spezifischen Anforderungskataloge für Dresden und Langenfeld. Diskussion und Bewertung realisierbarer Anforderungen.
- Beitrag zur Erstellung der finalen Lösungsarchitektur in Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern.

Arbeitspaket 2: Datenakquise, Datenintegration und Datenbereitstellung

- Leitung und Koordination des Arbeitspakets
- Systematische Recherche geeigneter Datenquellen, dabei insbesondere Berücksichtigung von Satellitendaten (Langzeitbeobachtungen der Landoberflächentemperatur, der Landbedeckung und urbaner Strukturelemente wie z.B. Gebäuden und Vegetation).
- Bewertung der Satellitendaten hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit, den Nutzungsbedingungen, des Datenzugriffs und der räumlichen und spektralen Auflösung.
- Ableitung von Landoberflächentemperaturen aus multitemporalen satellitengestützten Messungen im Thermalbereich
- Aufbereitung multi-temporaler Landbedeckungsklassifikationen für die Untersuchungsgebiete inklusive hochaufgelöster Vegetationserfassung
- Bereitstellen der aufbereiteten Daten (im einheitlichen Format) an das HHI für die Implementierung in deren KI-Algorithmen (neuronale Netz)
- Einbindung der Satellitendaten und generierten Informationsprodukte in die KLIPS-Plattform
- Entwicklung von Schnittstellen für die Bereitstellung geeigneter Daten
- Evaluierung der verwendeten Satellitendaten und Informationsprodukte hinsichtlich Nutzungsbedingungen und Lizenzrechten

- Veröffentlichung der positiv geprüften Daten als Open Data in der Mobilithek

Arbeitspaket 4: Datenanalyse

- Analyse der Entwicklung der Landoberflächentemperatur in Dresden und Langenfeld über die letzten Jahrzehnte
- Entwicklung von Methoden des maschinellen Lernens, um hochgenaue 4-dimensionale Stadtmodelle abzuleiten
- Korrelation satellitenbasierter Eingangsgrößen mit In-situ-Messungen
- Analyse von Zusammenhängen zwischen Bebauung, Besiedelung, Verkehrsinfrastruktur und Städtischer Erwärmung
- Anwendung eines Verfahrens zur satelliten-gestützten und damit regional übertragbaren Identifikation und Kartierung von städtischen Wärmeinsen, auch multi-temporal

Arbeitspaket 7: Pilotierung, Optimierung und Evaluierung

- Mitarbeit an Konzeption und Vorbereitung des KLIPS-Demonstrators
- Integration der entwickelten Teillösungen in den KLIPS-Demonstrator
- Beratung zur standardisierten Darstellung

2.1.2. Zusammenfassung: Erzielte Ergebnisse, Verwertung der Ergebnisse, Ausblick

Arbeitspaket 0: Projektmanagement und Dissemination

Das DLR nahm an allen regelmäßigen, meist wöchentlichen Videokonferenzen teil. Darüber hinaus brachte sich das DLR in verschiedene themenspezifische Arbeitsgruppen ein und koordinierte die Arbeitsgruppe „Hitzeindex“. Das DLR nahm am Auftakttreffen, allen Konsortialtreffen sowie dem Abschlusstreffen zu KLIPS jeweils in Präsenz teil. Das DLR ist seinen Berichtspflichten im Projekt nachgekommen und hat die geforderten Zwischenberichte sowie den Abschlussbericht fristgerecht eingereicht.

Im Laufe des Projektes hat das DLR das Projekt KLIPS auf folgenden Veranstaltungen präsentiert:

- Dresden Nexus Conference 2022, 23.-25.05.2022, Dresden.
- DLR DFD-GZS Seminar, 29.07.2022, Oberpfaffenhofen.
- European Space Imaging (EUSI) Conference 2022, 13.-15.12.2022, München.
- 16. Mobiles GIS-Forum, 20.-21.04.2023, Augsburg.
- Joint Urban Remote Sensing Event, 17.-19. Mai 2023, Heraklion, Griechenland.
- Kolloquium der Universität Bochum „Urbane Fernerkundung“, 28.06.2023, Bochum.
- 23rd European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, 14.-17.09.2023, Braga, Portugal.
- Deutscher Kongress für Geographie, 19.-23.09.2023, Frankfurt am Main.
- AI4EO conference, Ottobrunn, Deutschland.
- EuroGEO Workshop 2023, 02.-04.10.2023, Bozen, Italien.
- AI4EO Symposium 2023, 09.-10.10.2023, München.
- Data Science Summit: Städte & Kommunen, 09.11.2023, Frankfurt am Main.
- GEO Week and Ministerial Summit 2023, 06-10.11.2023, Kapstadt, Südafrika.
- Graduiertenkolleg Urban Green Infrastructure, 04.-06.03.2024, Raitenhaslach.

- #GEOHeatSprint Workshop of GEO and WMO, 28-29.02.2024, Genf, Schweiz.
- 10. BIOMET-Tagung "Lebensräume im Wandel", 19.-21.03.2024, Offenbach am Main
- Woche der Umwelt, 04.-05.06.2024, Berlin.

Das DLR war außerdem an folgenden Veröffentlichungen im Kontext von KLIPS beteiligt:

- Leichtle T, Helgert S, Müller M, Handschuh J, Erbertseder T, Wurm M & Taubenböck H (2023): Opposing land surface and air temperatures from remote sensing and Citizen Science for quantification of the Urban Heat Island effect. IEEE-CPS Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), 17.-19. Mai 2023, Heraklion, Greece. doi: 10.1109/JURSE57346.2023.10144135.
- Leichtle T, Kühnl M, Droin A, Beck C, Hiete M & Taubenböck H (2023): Quantifying urban heat exposure at fine scale - modeling outdoor and indoor temperatures using citizen science and VHR remote sensing. Urban Climate 49, 101522. doi: 10.1016/j.uclim.2023.101522.
- So trennt Hitze die deutschen Städte - Zeit Online Artikel https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2023-08/soziale-ungleichheit-hitze-stadtklima-beton-klima-anpassung
- Reuschenberg D, Meiers T, Handschuh J, Leichtle T, Petry L, Hendrik H (): Investigating the optimal number and spatial distribution of sensors for the deep learning-based air temperature prediction. In Vorbereitung.

Ergebnisse aus KLIPS flossen in Lehrveranstaltungen der Julius-Maximilians-Universität Würzburg (drei Gastvorträge) sowie dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (ein Gastvortrag) ein.

Im Rahmen von KLIPS wurden am DLR insgesamt sechs Praktika erfolgreich durchgeführt und drei Masterarbeiten betreut und abgeschlossen.

Arbeitspaket 1: Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur

Es wurden diverse Workshops mit den Städten Dresden und Langenfeld sowie dem KLIPS-Konsortium abgehalten um die spezifischen Anforderungen in Sachen Realisierbarkeit und Umsetzung abzustimmen und zu priorisieren. Das DLR hat sich aktiv an den Workshops beteiligt und seine Fachexpertise eingebracht. Das DLR unterstützte außerdem die Erstellung der finalen Lösungsarchitektur in Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern.

Arbeitspaket 2: Datenakquise, Datenintegration und Datenbereitstellung

Das Arbeitspaket 2 wurde vom DLR geleitet und koordiniert. Hauptaufgabe war die Identifikation und die Aufbereitung von für das Projekt relevanten Satelliten-basierten Datensätzen zur Landoberflächentemperatur (Land Surface Temperature - LST) und zur Landbedeckung (Land Cover - LC).

Zunächst wurde eine systematische Recherche nach geeigneten Satellitendaten durchgeführt und deren Charakteristika gesammelt. Die verschiedenen Datenquellen wurden unter Berücksichtigung ihrer Verfügbarkeit, den Nutzungsbedingungen, des Datenzugriffs sowie der räumlichen und spektralen Auflösung bewertet. In Absprache mit dem Konsortium wurden schließlich konkrete Datenquellen identifiziert. Für KLIPS wurden zwei Satellitenprodukte mit Messungen zur LST von den Sensoren Landsat und MODIS herangezogen. Zur Klassifikation der Landbedeckung wurden optische Satellitendaten der Sensoren Sentinel-2 und WorldView-2/3 ausgewählt.

LST-Daten der Landsat-Satelliten 7, 8 und 9 sind als Einzelaufnahmen (Szenen) über ein online Download-Portal des Datenproviders USGS frei zugänglich. Für den Zeitraum von 2013-2022

wurden etwa 2800 Einzelszenen als Level-2 Produkte heruntergeladen. Die Aufbereitung dieser Daten für die Zwecke von KLIPS erfolgte in mehreren Schritten, die Methodik und entsprechende Prozessketten wurden am DLR implementiert. Zunächst wurden die vom Satelliten gemessenen Helligkeitstemperaturen in Oberflächentemperaturen umgerechnet. Im nächsten Schritt wurden die Daten mithilfe von Wolkenmasken gefiltert, um die Qualität der abgeleiteten Daten zu gewährleisten. Nach der Maskierung wurden die Einzelszenen für die jeweilige Zielregion verschnitten und die Werte sich überlappender Pixel gemittelt.

Tägliche MODIS-LST-Produkte stehen auf der LAADS DAAC Download-Plattform der NASA zur Verfügung. Es wurden zunächst alle verfügbaren Szenen der beiden Satelliten Terra und Aqua für ganz Deutschland heruntergeladen und auf ein regelmäßiges 0,01°-Gitter gebracht. Anschließend wurden die einzelnen Szenen für Deutschland verschnitten. So wurden tägliche LST-Datensätze für Deutschland für den Zeitraum 2018-2022 erzeugt. Für KLIPS wurden anschließend die beiden Zielregionen Dresden und Langenfeld ausgeschnitten. Wegen Datenlücken aufgrund der Wetterbedingungen und der Bewölkung wurden die MODIS-Daten zu Monatsmittelwerten aggregiert.

Zur Klassifikation der Landbedeckung kommen multi-temporale optische Aufnahmen der Sensoren Sentinel-2A/B mit einer räumlichen Auflösung von 10m zum Einsatz. Dazu wurde am DLR ein innovatives KI-basiertes Klassifikationsverfahren implementiert, das zum Training und zur Validierung u.a. punktuell verfügbare in-situ Informationen der LUCAS (Land Use and Cover Area frame Survey) Kartierung verwendet. Folgende Klassen der Landbedeckung werden unterschieden: Wasserflächen, bebaute Flächen, Wiesen & Grünland, landwirtschaftliche Flächen, Laubwald, Nadelwald, offener Boden. Die Gesamtgenauigkeit des Verfahrens wurde für das Jahr 2015 auf 93,6%, für 2018 auf 91,4% abgeschätzt.

Die kommerziellen Datensätze der Sensoren WorldView-2/3 wurden vom DLR beschafft. Für Dresden steht eine WorldView-3 Szene vom 22.10.2021, für Langenfeld eine WorldView-2 Aufnahme vom 14.07.2018 zur Verfügung. Die Daten wurden zunächst, in Form von Georeferenzierung und Mosaikierung der Rohdaten, vorprozessiert. Anschließend wurde die Objekt-basierte Klassifikation der Landbedeckung für Dresden und Langenfeld implementiert und umgesetzt. Folgende Klassen der Landbedeckung werden unterschieden: Wasserflächen, Gebäude, Wiesen & Grünland, Sträucher, landwirtschaftliche Flächen, Wald & Einzelbäume, Straßen, versiegelte Flächen, offener Boden. Darüber hinaus werden Schattenbereiche und durch Wolken verdeckte Gebiete annotiert.

Wichtiges Ziel im Projekt war die Bereitstellung von in KLIPS generierten Datenprodukten als Open Data, um sie der Öffentlichkeit und insbesondere den spezifischen Nutzergruppen zugänglich zu machen. Zu diesem Zweck hat das DLR die generierten Einzelszenen der LST von Landsat 7-9 für Dresden und Langenfeld zu aggregierten Datensätzen veredelt. Hierfür wurden die Einzelszenen für verschiedene Hitzekenntage (heiße Tage, Sommertage, Tropennächte) bzw. Jahreszeiten (Sommer: Juni/Juli/August) über den gesamten Zeitraum von 2013-2022 gemittelt und so flächendeckende Datensätze der LST für Dresden und Langenfeld erzeugt. Diese Datensätze wurden in der mCLOUD hochgeladen (Meilenstein 3) und später in die Mobilithek migriert. Die Datensätze für Dresden sind unter folgendem Link zu finden: https://mobilithek.info/offers/573212749352333312. Die Datensätze für Langenfeld hier: https://mobilithek.info/offers/573212565385916416. Es stehen Aggregate für folgende Kenntage bzw. Jahreszeiten zur Verfügung:

- Sommertage: alle Tage mit Temperaturmaximum ≥25°C und <30°C
- heiße Tage: alle Tage mit Temperaturmaximum ≥30°C
- Tropennächte: alle Tage mit Temperaturminimum ≥20°C

- Sommer: alle Tage der Monate Juni, Juli und August

Für jedes Aggregat wurde ein eigener Datensatz als zip-File bereitgestellt. Dieser enthält die gemittelten LST-Daten sowie die Anzahl der Landsat-Beobachtungen pro Pixel, die in die Mittelwerte eingeflossen sind (siehe Abb. 3).

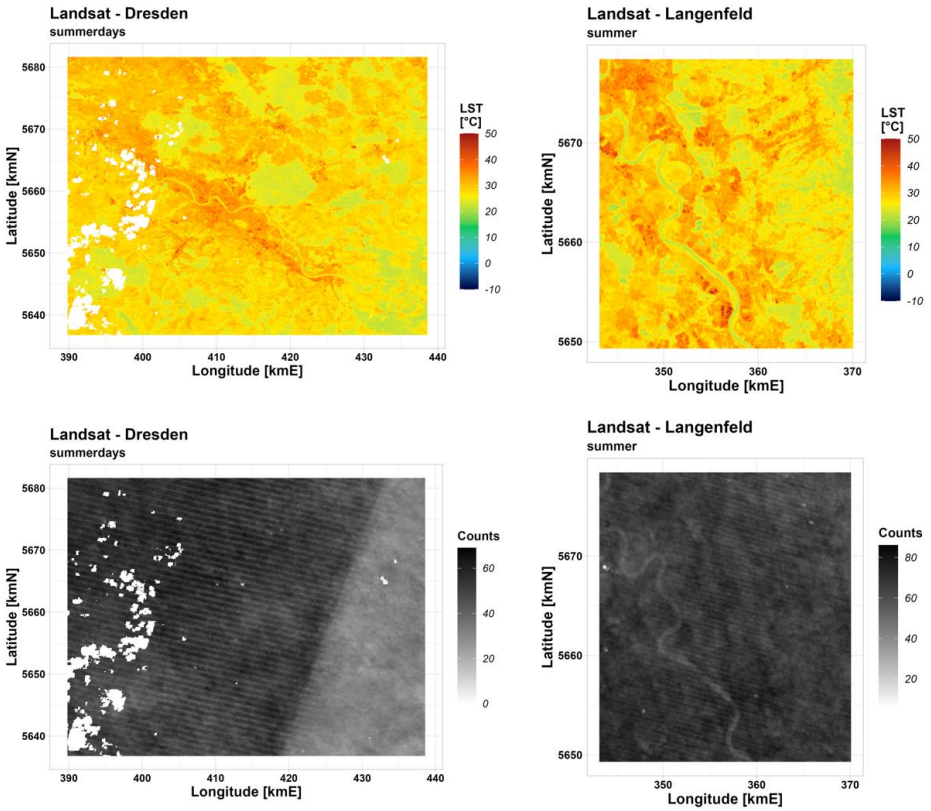

Abb. 3: Beispiele für die in der Mobilithek bereitgesellten Datenprodukte der gemittelten LST (oben) mit zugehöriger Anzahl Messungen (unten). Links für Dresden, gemittelt über alle Sommertage von 2013-2022 und rechts für Langenfeld, gemittelt über alle Sommermonate von 2013-2022.

Arbeitspaket 4: Datenanalyse

Im Rahmen der Datenanalyse wurden zunächst die Temperaturdaten aus verschiedenen Quellen gegenübergestellt und verglichen. Dies umfasst den Vergleich von Lufttemperaturdaten aus Crowdsourcing mit offiziellen Messdaten des DWD, als auch die Gegenüberstellung der in-situ gemessenen Lufttemperaturen mit satellitenbasierten Oberflächentemperaturdaten des Sensors Landsat. Dabei zeigte sich ein starker Zusammenhang auf Basis eines Bestimmtheitsmaßes von bis zu 90% (Abb. 4).

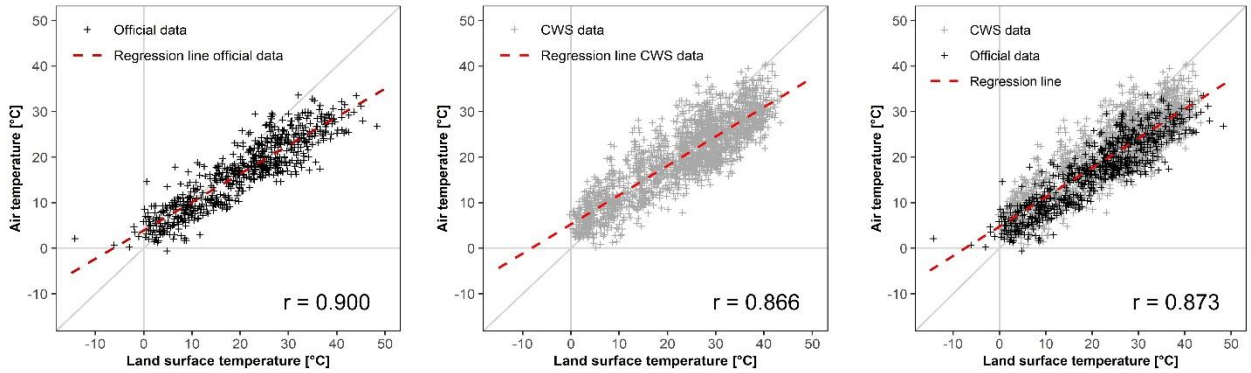

Abb. 4: Zusammenhang von stationsbasierten Lufttemperaturen (vertikale Achse) mit satellitenbasierten Oberflächentemperaturen des Sensors Landsat (horizontale Achse). Links: Vergleich mit offiziellen Messdaten des DWD, Mitte: Vergleich mit Lufttemperaturdaten aus crowdsourcing, Rechts: Vergleich mit allen Lufttemperaturmessungen.

Die Temperaturdaten wurden anschließend mit Informationen der Landbedeckung und der Bebauungsstruktur verknüpft. Hier zeigten sich erwartungsgemäß sowohl bei Oberflächentemperaturdaten als auch bei Lufttemperaturen höhere Temperaturen auf bebauten Flächen, sowie geringere Temperaturen bei Grün- und Wasserflächen. Für bebaute Flächen sowie hohe und niedrige Vegetation wurde daher die Differenz der beiden Temperaturmessungen (d.h. Oberflächen- und Lufttemperatur) im Detail analysiert, um die Überwärmung dieser Flächen im Jahresgang darzustellen (Abb. 5). Es zeigt sich erwartungsgemäß eine starke Überwärmung aller Oberflächen in den Sommermonaten und in Abhängigkeit der Einstrahlung. Darüber hinaus können Unterschiede in Abhängigkeit von der Landbedeckung beobachtet werden. So zeigt sich beispielsweise im Juni und Juli eine deutlich geringere Aufheizung von Vegetationsflächen und insbesondere baumbestandenen Flächen (hohe Vegetation) im Vergleich zu den anderen Monaten.

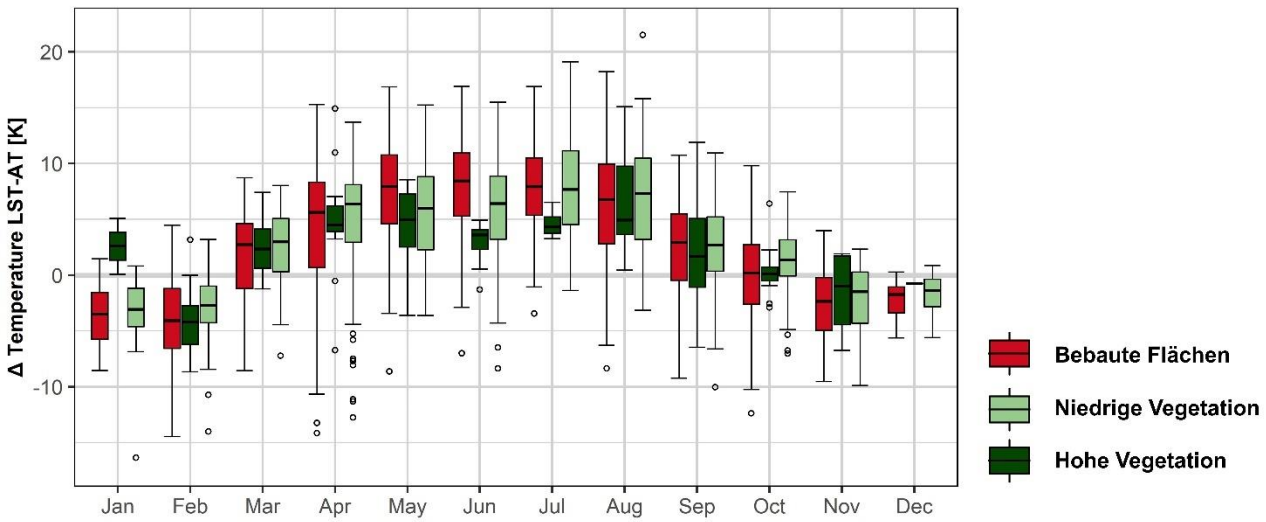

Abb. 5: Differenz der Oberflächen- und Lufttemperatur im Jahresgang für drei Landbedeckungskategorien.

Auf Basis der 10-jährigen Zeitserie der satellitenbasierten Oberflächentemperaturdaten von Landsat 7-9 wurde eine multi-temporale Hot-/Cold-Spot Analyse durchgeführt, um die zeitliche Entwicklung der Temperaturverteilungsmuster im Stadtgebiet abzubilden. Um möglichst konsistente und robuste Daten zugrunde zu legen, wurden Veränderungen von Hot- bzw. Cold-Spots im Vergleich der zweier Zeitintervalle, den 5-Jahres-Intervalln 2013-2017 gegenüber 2018-2022 untersucht (Abb. 6). Im Ergebnis zeigten sich vor allem stabile Hot-Spots sowie stabile Cold-Spots im Stadtgebiet. Hinsichtlich veränderter Gebiete zeigten sich insbesondere erwärmende Gebiete in Bereichen stabiler Cold-Spots sowie Abkühlungseffekte in der Nachbarschaft stabiler Hot-Spots. In diesem Zusammenhang fällt eine eindeutige Interpretation mangels geeigneter Referenzdaten schwer, punktuell können diese Flächen jedoch mit Bautätigkeit und Verdichtungsmaßnahmen bzw. Begrünungs- und Entsiegelungsmaßen in Verbindung gebracht werden.

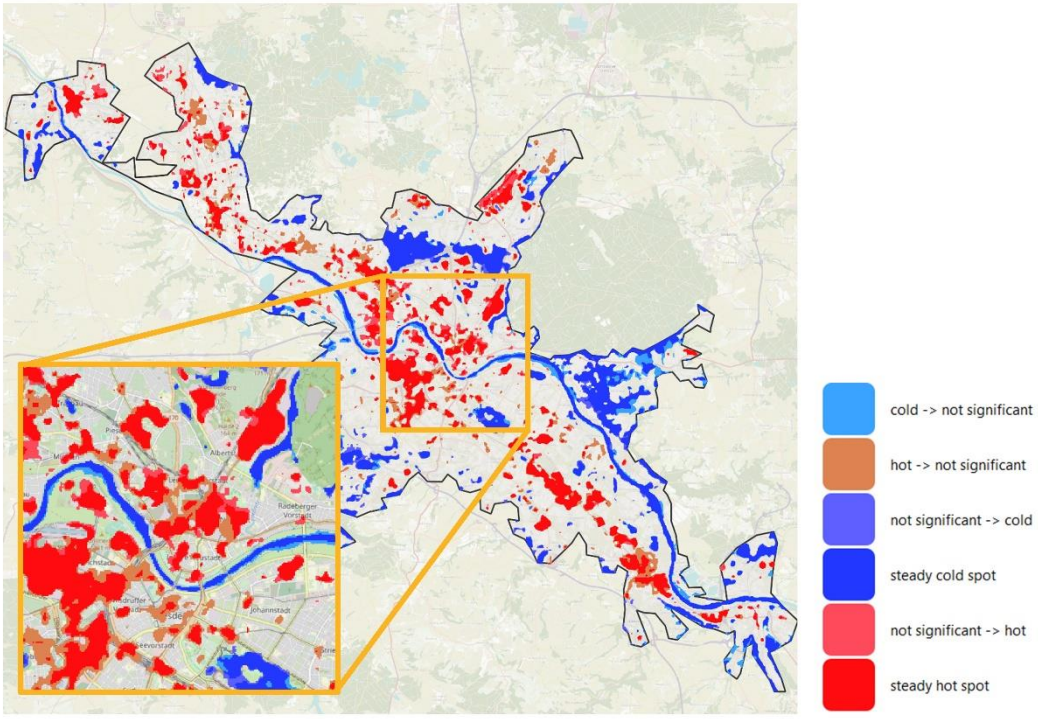

Abb. 6: Multi-temporale Hot-/Cold-Spot Analyse auf Basis von zwei 5-Jahres-Intervallen der Oberflächentemperatur (2013-2017, 2018-2022).

Arbeitspaket 7: Pilotierung, Optimierung und Evaluierung

Das DLR hat sich in diesem Arbeitspaket insbesondere in beratender Funktion beteiligt und an der Konzeption und Vorbereitung des KLIPS-Demonstrators mitgewirkt. Vor allem hinsichtlich wissenschaftlicher Standards bei der Darstellung der KLIPS-Inhalte hat das DLR Input für das Arbeitspaket geliefert.

Verwertung und Ausblick

Das DLR hat die in KLIPS gewonnenen Forschungsergebnisse in Form von peer-review Publikationen sowie Präsentationen bei einschlägigen Fachkonferenzen verwertet. Es fand zudem ein reger Austausch zu den Teilergebnissen mit FachkollegInnen innerhalb und außerhalb des DLR statt. Die Projektergebnisse wurden außerdem für die Förderung und Ausbildung des wissenschaftlichen

Nachwuchses genutzt. Es wurden im Rahmen des Projektes mehrere Praktika erfolgreich durchgeführt sowie Masterarbeiten mit KLIPS-relevanten Ergebnissen abgeschlossen.

Die in KLIPS gewonnenen Forschungsergebnisse und Methoden sind auch für die zukünftige Forschung am DLR von großem Wert und im Projekt angewandte Methoden können und sollen über Projektende hinaus weiterentwickelt und anschließend veröffentlicht werden.

Die thematische Ausrichtung von KLIPS ist nicht nur für lokale Behörden oder Entscheidungsträger, sondern für die breite Bevölkerung von großem Interesse. Die Auswirkungen von Hitze auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt und die Infrastruktur sind bei weitem noch nicht vollständig verstanden und müssen weiter erforscht werden. Die Projektergebnisse aus KLIPS bieten eine gute Grundlage für weiterführende Forschungsarbeiten. Die im Projekt erhobenen Daten, insbesondere die Kombination von Stationsmessungen und Satellitendaten bietet großes Potential für zukünftige Anwendungen. Für das DLR wäre unter anderem eine Erweiterung des KLIPS-Datenpools um Parameter zur Luftqualität in Städten interessant, die eine Analyse des Zusammenhangs der beiden Einflussfaktoren Hitze und Luftschadstoffe auf Umwelt und Gesundheit ermöglichen würde. Darüber hinaus sind Analysen und Modellsimulationen zum Einfluss von Stadtplanungsmaßnahmen auf die Hitzeentwicklung in Städten von großem Interesse, die auf den in KLIPS gewonnenen Ergebnissen aufbauen können.

2.2. Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut (HHI)

2.2.1. Aufgabenstellung

Das Teilvorhaben „KLIPS: KI-basierte Analyse“ ist Teil des Gesamtvorhabens KLIPS. Das Gesamtvorhaben hat zum Ziel, aus einem Bündel von Daten eine hochaufgelöste Temperaturverteilung zu berechnen und hieraus Hitzeinseln in Echtzeit zu bestimmen, zu prognostizieren und für stadtplanerische Zwecke zu simulieren. Das Hauptziel des Teilvorhabens liegt in der Analyse der Daten. Dabei sollen neueste Methoden aus dem Bereich des Maschinellen Lernens, insbesondere Deep Neural Networks (DNN), zum Einsatz kommen. Aus einer Vielzahl von Eingabedaten, dies sind:

- Strukturdaten der Städte Leipzig und Langenfeld (Daten aus Liegenschaftskataster-, Umwelt- und Klimainformationssystemen sowie 3D Stadt- bzw. Gebäudemodellen),
- Satellitendaten aus dem Sentinel-Programm (Atmosphären- und Wetterdaten, Daten bzgl. der Landschaftsform)
- Sensordaten (Wetterstationen, aus Stationen zur Messung der Schadstoffbelastung)
- Daten aus den in-situ Sensornetzwerken des Partners ERGO) sowie
- Daten aus Portalen bzgl. Landnutzung und Topographie

soll eine räumlich hochaufgelöste Karte der Temperaturverteilung für die beiden Stadtgebiete Dresden und Lengenfeld in Echtzeit berechnet werden, aus denen das Vorhandensein von Hitzeinseln abgeleitet werden kann (**Echtzeitanzeige**). Außerdem soll mit Hilfe von DNNs die Entwicklung von Hitzeinseln für die nächsten 48 Stunden prognostiziert werden (**Prognose**). Als weiterer Dienst soll der Zusammenhang zwischen stadtplanerischen Größen und der Entstehung von Hitzeinseln erforscht und in einem Modell abgebildet werden. Hiermit kann die Auswirkung von stadtplanerischen Maßnahmen auf die Entstehung von Hitzeinseln simuliert werden (**Simulation**)

2.2.2. Datenakquise & Datenintegration & Datenbereitstellung

Es wurde der im Projektantrag aufgeführte Server angeschafft und für Datenspeicherung und die KI-Analyse mit den dafür notwendigen Programmen und Werkzeugen eingerichtet.

Zur Realisierung der KLIPS-Dienste wurde gemeinsam mit den anderen Partnern eine Sichtung der in Frage kommenden Datenquellen vorgenommen. Für das Vorhaben relevante Datenquellen wurden ermittelt.

Um eine Analyse durchführen zu können, müssen die für die Projektziele relevanten Daten heruntergeladen und in einem einheitlichen Format gespeichert werden. Es wurden für jede Datenquelle zwei Softwaremodule implementiert. Ein Softwaremodul baut eine Verbindung zu der Datenquelle auf und lädt die relevanten Daten herunter (Fetcher-Modul), das zweite Softwaremodul (Storage-Modul) formt diese Daten in ein einheitliches Datenformat um und speichert diese in einer PostgreSQL-Datenbank ab.

In der PostgreSQL-Datenbank wird für jede Datenquelle eine eigene Tabelle angelegt. Die Tabellen haben einen gemeinsamen Aufbau. Dieser Aufbau der PostgreSQL-Datenbank erlaubt die Zusammenstellung beliebiger Datensätze für die weitere Analyse. Es können Abfragen über Zeiträume und Regionen über mehrere Tabellen gestartet werden und die Daten, angepasst an die Analyse, aufbereitet werden.

Statische Daten, z.B. Infrastrukturdaten werden in Form von geoTIFF oder csv Dateien gespeichert. Diese werden einmalig erzeugt und müssen nicht permanent aktualisiert werden.

Folgende Datenquellen wurden in der PostgreSQL – Datenbank eingebunden:

Sensordaten (Pikobytes, ERGO): Die beiden Konsortialpartner Pikobytes und ERGO haben in der Landeshauptstadt Dresden ca. 260 und in der Stadt Langenfeld ca. 70 Sensoren aufgestellt, mit denen die Lufttemperatur sowie die Luftfeuchtigkeit lokal gemessen wird. Auf diese Weise wurde ein räumlich fein aufgelöstes Sensornetz ermöglicht. Diese Sensordaten bilden die Grundlage für die KI-basierte Analyse.

Satellitendaten MODIS (DLR): MODIS wurde am 18. Dezember 1999 auf dem Satelliten TERRA (EOS AM-1) in den Orbit gebracht. Das Moderate Resolution Imaging Instrument MODIS ist ein 36-kanaliges Spektrometer mit 250 m Pixelsize, das in 1-2 Tagen eine globale Datenerfassung erreicht. Mit diesem System werden u.a. die Strahlungstemperatur und das Reflexionsverhalten für die beiden Anwendungsgebiete Stadt Langenfeld und Stadt Dresden flächendeckend erfasst. Die beiden Satelliten MOD und MYD liefern täglich jeweils einen Wert zur Mittags- und zur Nachtzeit. Die räumliche Auflösung beträgt dabei 1km x 1km. Die Werte sind rückwirkend bis zum Jahr 2000 verfügbar.

Satellitendaten Landsat: Die Landsat-Satelliten sind eine Serie von zivilen Erdbeobachtungssatelliten der NASA zur Fernerkundung der kontinentalen Erdoberfläche. Diese Satelliten liefern u.a. flächendeckende Daten zur Strahlungstemperatur, zwar mit einer höheren räumlichen Auflösung (30m x 30m), allerdings mit einer deutlich geringeren zeitlichen Auflösung. Die Messungen über das gleiche Gebiet erfolgt nur etwa alle 8 bis 9 Tage.

Wetterdaten von openweathermap (OWM): Das Wetterportal openweathermap.org liefert sowohl historische Daten als auch Wettervorhersagedaten für die nächsten 5 Tage. Dabei sind die wichtigsten Wetterparameter wie Lufttemperatur, Windrichtung, Windstärke, Niederschlagsdauer, Bewölkung verfügbar. Die Daten können für beliebige Orte mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde abgerufen werden.

Infrastrukturdaten (IÖR, DLR): Die Partner IÖR und DLR stellten in Absprache mit den Anwendungspartnern aber auch aus eigenen Quellen verschiedene Daten zur Infrastruktur zur Verfügung. Dies sind Daten, die aus LOD-Modellen (3D-Modelle zur Gebäudedarstellung) oder aus Satellitendaten berechnet wurden. Die Infrastrukturdaten, die in die KI-Modelle als Eingangsdaten einflossen, wurden in Form von geoTIFF – Karten mit einer Auflösung von 10m x 10m realisiert. Solche Karten wurden sowohl für die Stadt Dresden als auch für die Stadt Langenfeld generiert. Zunächst für die Stadt Dresden

- Flächennutzung (38 Klassen, erhalten von dem IÖR)
- Landbedeckungskarten (8 Klassen, erhalten von der DLR)
- Baumkronendichte (Copernikus, open access), Werte liegen zwischen 0 – 100%
- Dachart (12 Klassen, erhalten von der IÖR, berechnet aus LOD2 – Karten)
- DGM (Höhenmodell, in m)
- Gebäudehöhe (in m, erhalten von der IÖR, berechnet aus LOD2-Karten)
- Grünvolumenzahl (Werte zwischen 0 und 30.7, über Satellit und Laserscan)
- Gründächer (true, false – Flag)

Bzgl. der Stadt Langenfeld fehlen Angaben zu Gründächern, die Grünvolumenzahl wurde durch Daten aus Baumkatastern ersetzt.

2.2.3. Berechnung des Hitzeinseleffekts und Hitzeindex

In einer eigenen Arbeitsgruppe wurde die Größe Hitzeinseleffektindex (auch abgekürzt: UHI urban heat index) genauer gefasst. Sie wird als Temperaturdifferenz zwischen der bodennahen Lufttemperatur in einem bestimmten Stadtgebiet und der bodennahen Lufttemperatur in einem außerhalb der Stadt im nahen Umfeld liegenden unbebauten Gebiet angegeben, aggregiert über heiße Sommertage bzw. über tropische Sommernächte. Es wurde auf Wunsch der Anwendungspartner der UHI für jede Tagestunde berechnet. Zur Bestimmung der Temperaturdifferenz wurden sowohl für Dresden als auch für Langenfeld Referenzsensoren auf unbebautem Gebiet festgelegt. Die Differenz der Temperaturen der „städtischen" Sensoren zu dem Median der von den Referenzsensoren gemessenen Temperaturen wurde berechnet. Aggregiert über heiße Sommertage bzw. tropische Sommernächte erhält man einen UHI – Wert für jeden städtischen Sensor, aufgeschlüsselt nach den 24 Tagesstunden. Durch die hohe Anzahl der Sensoren (ca. 260 in Dresden sowie 70 in Langenfeld) konnten auf diese Weise sehr viele UHI – Werte an Standorten mit verschiedener baulicher Struktur bestimmt werden. Dies ist eine wichtige Voraussetzung zur KI-basierten Modellierung des Zusammenhangs zwischen baulicher Struktur und dem UHI. Der Hitzeindex, dies ist die gefühlte Temperatur, wurde nach Steadman unter Berücksichtigung der Luftfeuchte berechnet, aggregiert über heiße Sommertage und tropische Nächte. Durch die Aggregation über heiße Sommertage und tropische Sommernächte wurden kurzfristige Wetterlagen „herausgerechnet". Auf diese Weise erhält man durch die KI-Modellierung einen direkten Zusammenhang zwischen baulicher Infrastruktur (siehe AP2: Infrastrukturdaten) und der langfristigen Überhitzung in Städten.

2.2.4. KI-basierte Modellierung des Hitzeinseleffekts und des Hitzeindex

Vorgehensweise

1.Schritt: Modellierung des UHI basierend auf Strahlungstemperaturen

Da die Sensoren zur Messung des Hitzeinseleffekts erst sehr spät im Projekt zur Verfügung standen (Installation in Dresden erfolgte zwischen Mai und September 2023, und die in Langenfeld noch um zwei Monate verzögert) und da für das Auftreten des Hitzeinseleffektes genügend heiße Sommertage benötigt wurden, war die Modellierung des Hitzeinseleffekts basierend auf den von den Sensoren gemessenen Lufttemperaturen erst ab September 2023 möglich. Um jedoch schon vorher Modellierungen zu entwerfen wurde der UHI im ersten Schritt nicht aus Sensorwerten sondern aus satellitenbasierten Strahlungstemperaturen (Landsat – Satellit) berechnet.

Um Daten sowohl für das Training als auch für die Prädiktion von Neuronalen Netzen einsetzen zu können, mussten sie in einem Vorverarbeitungsschritt auf ein einheitliches Format gebracht werden. Die Infrastruktur-geoTIFFs, die verschiedene räumliche Auflösungen hatten (von 2,5m bis 30m) wurden alle auf eine einheitliche räumliche Auflösung von 10m x 10m gebracht. Auf der Ausgabeseite wurde aus den Strahlungstemperaturkarten des Landsat-Satelliten (räumliche Auflösung: 30m x 30m) eine UHI-Tageskarte mit einer räumlichen Karte von 10mx10m Auflösung generiert. Der abgebildete Bereich und das Abbildungsraster wurden sowohl für die Eingabekarten als auch für die Ausgabekarten vereinheitlicht. Aufgrund der geringen zeitlichen Auflösung der Satellitenaufnahmen (eine Aufnahme alle 15 bis 16 Tage), wurde nur eine UHI-Karte durch Aggregation über heiße Sommertage über vier Jahre generiert. Eine Aufschlüsselung des UHI nach Tagesstunden war aufgrund der geringen zeitlichen Auflösung nicht möglich. Diese Vorverarbeitung der Daten wurde sowohl für die Stadt Dresden als auch für Langenfeld durchgeführt.

Zur KI-basierten Modellierung des Zusammenhangs zwischen stadtplanerischen Kennzahlen (sieh AP2: Infrastrukturdaten) und dem aus der Strahlungstemperatur generierten Hitzeinseleffekt wurden verschiedene DNNs implementiert und getestet, z.B. Full Convolution Network, Convolution Global Network (8 Schichten Modell), Support Vector Regression, Kernel Ridge Regression. Ein achtschichtiges Convolution Network (CNN) erwies sich als das beste Modell. Der L1-Abweichung (absoluter durchschnittlicher Fehler) betrug weniger als 1 Kelvin. In einem ersten Schritt wurden die KI-Verfahren auf das gesamte flächenhafte Eingabe- und Ausgabekarten trainiert und angewandt. Dies waren ca. 300.000 Werte für Langenfeld und ca. 3 Mio. Werte für Dresden. Als nächstes wurde untersucht, wie genau der Zusammenhang zwischen Infrastruktur und Hitzekarten modelliert werden kann, wenn anstatt der 300.000 bzw. 3 Millionen Messpunkte nur 80 bzw. 300 Werte zum Trainieren des CNNs vorhanden sind. Es zeigte sich, dass die Genauigkeit nur unwesentlich abnahm, für das CNN ergab sich eine Abweichung von knapp unter einem Kelvin. Dieser Zusammenhang zwischen Anzahl der Sensoren und der Genauigkeit der Modellierung war Gegenstand einer Masterarbeit eines Studentischen Mitarbeiters, die mittlerweile erfolgreich abgeschlossen wurde. Da auch der Standort der Temperaturmessung einen Einfluss auf die Lernfähigkeit des KI-Modells hat, war das HHI in der Arbeitsgruppe „Messnetzplanung“ beteiligt.

2.Schritt: Modellierung des UHI basierend auf den Sensormesswerten

Im Laufe des Jahres 2023 wurden die Messsensoren der Firma Pikobytes sowohl in Dresden als auch in Langenfeld installiert. Die Sensoren messen die Temperatur als auch die Luftfeuchte im Minutentakt. Die Messwerte wurden zu Stundenwerten aggregiert. Da diese Messwerte zu jeder Tagesstunde vorlagen, konnte aus ihnen Ende September für jede Tagesstunde und für jeden Sensor der UHI bestimmt werden. Außerdem wurde der Hitzeindex für jede Stunde und für jeden Sensor bestimmt. Dies war erst Ende September möglich, da erst zu diesem Zeitpunkt alle Sensoren in Dresden installiert waren. Außerdem war es wichtig, genügend heiße Sommertage zu erfassen, um stabile UHI-Werte durch Aggregation zu erhalten.

Für die Modellierung wurde das Convolution Global Network aus Schritt 1 übernommen. Als Ausgabe wurden für jede Tagesstunde der UHI, der Hitzeindex sowie die Lufttemperatur, also insgesamt 36 Werte pro Sensor berechnet. Als Eingabe wurden die gleichen Infrastruktur-geoTIFFs wie in Schritt 1 verwendet. Entsprechend wurde die Architektur des Netzwerkes angepasst. Es wurde eine Crossvalidation vorgenommen. Werte von 70% der Sensoren wurden für das Training verwendet, 30% wurden für die Validierung bereitgestellt. Als Fehlermaß wurde die L1-Norm, also der Durchschnitt der absoluten Abweichungen, verwendet. Die Modellierung wurde nur für Dresden durchgeführt. Für Langenfeld lagen aufgrund der späten Installation der Sensoren zu wenig heiße Sommertage vor. Die Architektur des Convolution Global Networks wurde über mehrere Trainingsdurchläufe bzgl. Anzahl der Schichten, Anzahl der Kanäle und Größe des Kernels optimiert. Auf diese Weise konnte der L1-Fehler auf 0.36° für Trainingsbeispiele bzw. 0.43° für nicht trainierte Testbeispiele gesenkt werden. Angewandt auf die Infrastruktur-Karten in Dresden wurden mit diesem Netzwerk UHI-, Hitzeindex- und Temperaturkarten für ganz Dresden mit einer räumlichen Auflösung von 10m x 10m generiert. Dieses Netzwerk wurde auf die Infrastrukturkarten von Langenfeld angewandt um die Generalisierbarkeit der Modellierung zu ermitteln. Auf hier zeigten sich ähnlich gute Ergebnisse.

2.2.5. KI-basierte Simulation des Hitzeinseleffekts und des Hitzeindex

Mit Hilfe des im vorherigen Schritt implementierten Convolution Global Networks (CGN) konnten Simulationen der Auswirkungen baulicher und planerischer Maßnahmen auf die Entstehung von Hitzeinseln durchgeführt werden. Dazu mussten die baulichen und städteplanerischen Maßnahmen

in Form von Veränderungen in den baulichen Infrastrukturdaten dargestellt werden. Dies wurde von unserem Partner IÖR anhand von mehreren Szenarien vorgenommen. Die Szenarien aus Dresden sind

- Nachverdichtung Neustadt
- Lennéplatz
- Alter Leipziger Bahnhof (Variante Nachverdichtung, Variante Begrünung)
- Großer Garten
- Robotrongelände

Die vom IÖR gelieferten Infrastrukturdaten zu den Szenarien wurden in das CGN eingegeben. Als Ergebnis erhält man jeweils 24 geoTIff-Karten für den UHI, den Hitzeindex und der Lufttemperatur, nach Tagesstunden aufgeschlüsselt in hoher räumlicher Auflösung von 10m x 10m. Der Vergleich mit den Originaldaten zeigt die langfristigen Temperaturänderungen, die durch die oben genannten Maßnahmen entstehen.

2.2.6. KI-basierte Prognose der Lufttemperatur und der gefühlten Temperatur

Ein weiterer Dienst, der im Verbundvorhaben KLIPS realisiert wurde, ist die stundenweise Prognose der Lufttemperatur und des Hitzeindex für die nächsten 48 Stunden in einer hohen räumlichen Auflösung von 10m x 10m. Mit diesem Dienst soll die kurzfristige Hitzeentwicklung an besonders heißen Sommertagen prognostiziert werden, um Maßnahmen für die Bevölkerung, insbesondere für vulnerable Personen, einleiten zu können.

KI-Modell

Hierzu wurde ein DNN (tiefes Neuronales Netz) erforscht und entwickelt, welches

- aus städtischen Infrastrukturdaten,
- aus Sensorwerten (Temperatur und Luftfeuchte) der letzten 24 Stunden,
- aus Wetterdaten der letzten 24 Stunden und (OWM)
- aus Wettervorsagedaten der nächsten 48 Stunden (OWM)

die Lufttemperatur und den Hitzeindex stundenweise für die nächsten 48 Stunden modelliert. Die Ergebnisse werden sowohl für Dresden als auch für Langenfeld in Form von jeweils 48 geoTIFFs ausgegeben.

Das KI-Modell besteht aus zwei Teilmodellen: ein zeitliches Modell, welches für die Sensormesswerte mit Hilfe der OWM-Wettervorhersagedaten für die nächsten 48 Stunden fortschreibt. Hier kommen KI-Modelle zur Zeitreihenanalyse (RNNs, GRUs) zum Einsatz. Das zweite Teilmodell führt mit Hilfe der Infrastrukturdaten für jede prognostizierte Stunde eine KI-basierte räumliche Interpolation mit einer räumlichen Auflösung von 10m x 10m durch. Hier kommen Attention-Verfahren, die auch in der Sprachanalyse verwendet werden, zum Einsatz.

Ablauf der Analyse

Im Stundentakt werden die Werte für die Temperatur und Luftfeuchte von allen Sensoren erfasst, aufbereitet und in einer postgreSQL Datenbank gespeichert. In gleicher Weise werden stündlich über OWM Wetter- und Wettervorhersagedaten erfasst und in der Datenbank abgespeichert. Es erfolgt im Stundentakt die KI-basierte Prognose dieser Daten. Als Ergebnis erhält man 48 geoTIFFs Dateien sowohl für Dresden als auch für Langenfeld mit den Bändern Lufttemperatur und Hitzeindex.

Diese Dateien werden über eine REST-Schnittstelle der KLIPS-Plattform zur Verfügung gestellt und können abgerufen werden.

2.2.7. Pilotierung, Optimierung & Evaluierung

Ziel dieses Arbeitspaketes was es, die in den Arbeitspakten 2 bis 6 entwickelten Teillösungen zu einem Demonstrator zusammenzuführen, ihn zu evaluieren und zu optimieren. In einem ersten Schritt wurde der Systemaufbau des gesamten Systems in einer Grafik dargestellt. Das Gesamtsystem besteht aus zwei Servern, der KLIPS-Plattform sowie dem HHI-Server. Auf dem HHI-Server werden Analysen durchgeführt. Die Ergebnisse werden an die KLIPS-Plattform gesendet. Es wurde ein Datenflussdiagramm erstellt, der den Datenaustausch zwischen dem Analyse-Server am HHI und der KLIPS-Plattform beschreibt. Die Schnittstellen für den Datenaustausch wurden definiert. Außerdem wurde am HHI ein Softwaremodul implementiert, welches den Datenaustausch zwischen dem Analyse-Server am HHI und der KLIPS-Plattform für die verschiedenen Anwendungsfälle durchführt. Da vor der endgültigen Installation des Sensornetzwerks noch keine realen Analysedaten vorlagen, wurden zunächst Dummy-Daten generiert, die später durch reale Ergebnisdaten ersetzt wurden. Dies ermöglichte den Projektpartnern, die den Demonstrator entwickelten, eine erste Version einer Pilotierung zu implementieren und mit den Anwendungspartnern die Funktionalitäten und die Bedienführung zu evaluieren, anzupassen und zu optimieren. Die Fertigstellung einer ersten Pilotierung war auch Gegenstand des Meilenstein M2, der fristgemäß abgeschlossen wurde. Dies war Gegenstand der Arbeitsgruppe „Systemaufbau und Datenaustausch“, an der das HHI beteiligt war.

Statische Daten wie die städtischen Infrastrukturdaten, aber auch die städtischen Infrastrukturdaten für die fünf Simulationen wurden über eine vom HHI bereitgestellte Cloud von den Partnern, insbesondere von der IÖR aber auch der DLR, bereitgestellt. Die Ergebnisse der Modellierung des Hitzeinseleffekts und des Hitzeindex sowie der Simulationen wurden gleichermaßen über diese Cloud ausgetauscht.

Dynamische Ergebnisdaten, wie die der Prognose, die stündlich neu berechnet und bereitgestellt werden, werden stündlich vom HHI-Server auf die Plattform übertragen. Hierzu wurden Softwaremodule implementiert, die den Informationsaustausch in einem zweistufigen Prozess durchführen. Beim Vorliegen neuer Berechnungsergebnisse auf dem HHI-Server wird die Plattform über eine REST Schnittstelle benachrichtigt (Notification). Über einen Link erfolgt dann der Datentransfer. Dabei stand der automatische und reibungslose Datenfluss zwischen dem HHI-Server und der Plattform im Fokus.

Mit der Installation der Sensoren in Dresden sowie in Langenfeld von Mai 2023 bis September 2023 standen zunehmend Messdaten zur Verfügung. Zeitgleich wurden KI-Modelle der oben genannten Dienste (siehe AP4) erforscht, entwickelt und angepasst. Nach Abschluss der Installation der Sensornetzwerke und einer kurzen Modellierungsphase konnten erste Ergebnisse basierend auf realen Messdaten an die Plattform für eine finale Pilotierung übertragen werden. Auf einem Anwender-Workshop am 26.1.2024 in Dresden wurde die finale Pilotierung in Bezug auf die Funktionalität als auch Bedienführung von den Anwendern evaluiert. Ergebnisse dieser Evaluierung führten zu einer weiteren Optimierung des finalen Demonstrators, der am 15.3.2024 öffentlich und dem Projektträger präsentiert wurde.

2.2.8. Projektwirkung und -verwertung aus Sicht des HHI

- Knowhow-Transfer und Übernahme von Softwaremodulen in das mFUND-Projekt
  - SOLP: Smart Optimized Lorry Parking: KI-gestütztes Infosystem für optimierte Parkplatzsuche in der Routenplanung, für Lkw-Fahrer und Fuhrunternehmen
- Aufbau einer Datenbasis (Sensordaten, Wetterdaten, Satellitendaten, Infrastrukturdaten), die als Grundlage für weitere F&E Arbeiten dient, wie z.B. Erstellen von Bachelor und Masterarbeiten, aber auch neue Projekte
- Erfahrungsaustausch mit ähnlichen Projekten am Institut
- Wissenschaftliche Verwertung in Form von Publikationen (Fachzeitschriften und Konferenzen)
- Förderung von Student*innen: Ein Student hat eine Masterarbeit mit dem Titel „Urban Heat Island Prediction and Simulation Using Deep Learning and Explainable AI„ erfolgreich abgeschlossen. Ein weiterer Stundent und eine Studentin haben ihre Masterarbeit während der Laufzeit des Projektes begonnen. Sie werden die Thematik der KI-basierten Prognose weiter behandeln und vertiefen.

2.3. Terrestris und meggsimum (ter/meg)

2.3.1. Ziele und Aufgaben des Teilvorhabens

Ziel des durch terrestris und meggsimum umgesetzten Teilvorhabens war die Entwicklung einer dienstbasierten Geodateninfrastruktur (GDI) zur Verarbeitung und Bereitstellung der im Projekt erhobenen Daten. Dazu gehörte die Evaluation geeigneter Softwarelösungen, auf deren Basis die Konzeption der Dienste-Infrastruktur erfolgte. Der Fokus lag hier besonders auf Software-Produkten zur Implementierung aktueller, standardisierter Schnittstellen, die das Auffinden, Abrufen und Verarbeiten der KLIPS-Daten ermöglichen. Im Vordergrund stand dabei die komplexe räumliche und zeitliche Struktur der Daten. Innerhalb der zentralen Geodateninfrastruktur wurden die Daten in einem Datenbankmodell zusammengeführt und im Webspace zur Verfügung gestellt. Auf dieser Basis wurden standardisierte Darstellungs- und Abfragedienste entwickelt, um die relevanten Projektdaten zu veröffentlichen. Zur Veranschaulichung dieser Dienste wurde im Anschluss eine Reihe webbasierter Demonstratoren entwickelt, die den benutzerfreundlichen Zugriff ermöglichen und den Nutzen für potenzielle Anwender:innen aufzeigen.

2.3.2. Ablauf des Vorhabens

Terrestris und meggsimum waren im Projekt an den APs *„Projektmanagement & Dissemination“* (AP0) und *„Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur“* (AP1) beteiligt. Hier haben wir an der gemeinsamen Ausarbeitung der Anforderungen, Anwendungsfälle und Gesamtarchitektur sowie an einem aktiven Austausch über deren technische Realisierbarkeit teilgenommen. Schwerpunktmäßig waren wir aber für AP6 *„Konzeption und Entwicklung der KLIPS-Dienste“* zuständig und in diesem Arbeitspaket auch federführenden Leiter. Zusätzlich wirkten wir unter AP5 *„Prototypische Realisierung der KLIPS-Plattform“* und AP7 *„Pilotierung, Optimierung und Evaluierung“* bei der Erstellung eines prototypischen Demonstrators des KLIPS-Systems durch die Software AG mit. Dieser Demonstrator basiert auf der im Projekt entwickelten Geodateninfrastruktur und den bereitgestellten Diensten.

2.3.3. KLIPS-Dienste

<u>Konzept der Geodateninfrastruktur</u>

Um die im Projekt erhobenen und von den Projektpartnern generierten Geodaten zu importieren (Datenimport), aufzubereiten (Datenverarbeitung), zu speichern (Datenhaltung) und anschließend bereitzustellen (Datenveröffentlichung), wurde im KLIPS-Projekt eine zentrale Geodateninfrastruktur entwickelt (Abb. 7). Diese ist im Sinne eines modernen Microservice-Ansatzes aufgebaut und besteht aus einer Vielzahl wiederverwertbarer Teilkomponenten.

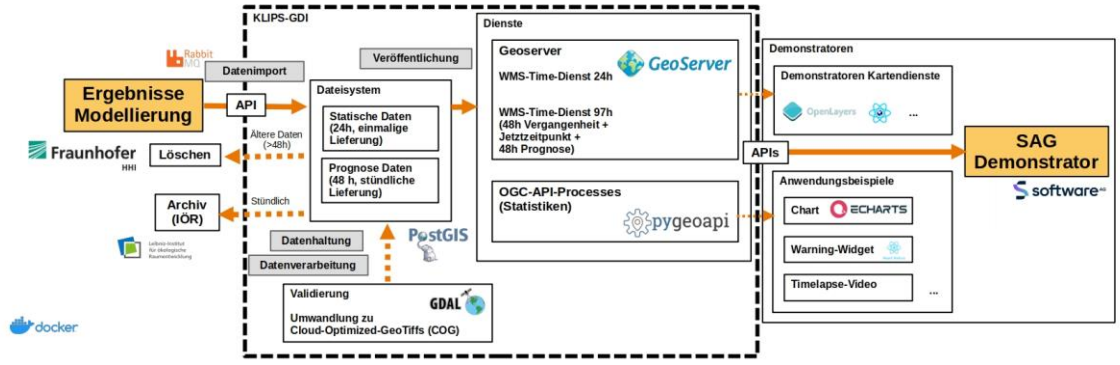

Abb. 7: Schematischer Aufbau der im Projekt entwickelten Geodateninfrastruktur.

Zur Verwaltung dieser einzelnen Komponenten wird im Projekt die Open-Source-Software Docker verwendet. Das Ziel war es, ein System zu entwickeln, in dem viele verschiedene Softwarekomponenten (“Worker”) vollständig unabhängig voneinander arbeiten und ausschließlich über einen sogenannten Message Broker miteinander kommunizieren. Dieses Konzept ermöglicht die Verarbeitung der regelmäßig neu eintreffenden Daten in Echtzeit. Es hat unter anderem den Vorteil, dass Ausfälle einzelner Worker die anderen Softwarekomponenten nicht direkt beeinträchtigen. Die Worker sind außerdem für spezifische, oft nicht projektgebundene Aufgaben konzipiert und können daher in anderen Kontexten weiter genutzt werden.

Für den Aufbau des Systems wurden im Projekt verschiedene bereits etablierte Open Source Projekte genutzt. Hier lag der Fokus insbesondere darauf, neuere Technologien zu verwenden, um diese auf ihre Funktionalität innerhalb eines solchen Projektes zu testen.

Der im Projekt erstellte Programmcode wird mithilfe von Git versioniert. Hierbei wird die Code-Hosting-Plattform GitHub genutzt, auf der für das Projekt eine eigene Organisation eingerichtet wurde. Der Link dazu lautet: https://github.com/klips-project.

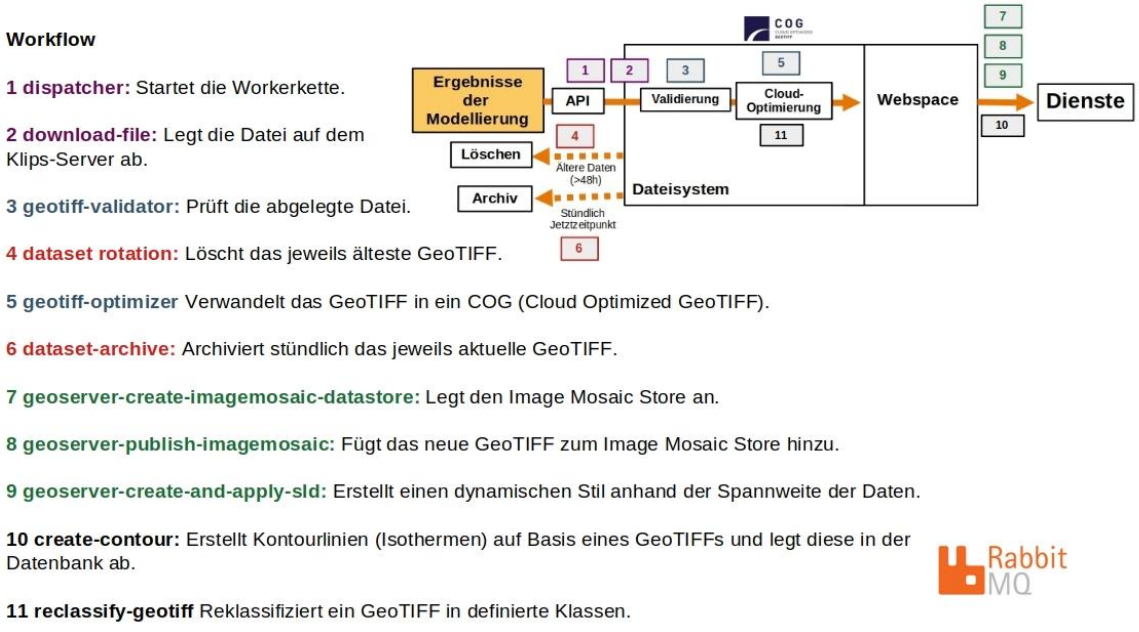

Abb. 8: Die Worker innerhalb des KLIPS-Systems.

Datenimport und -haltung

Zentral waren für das Teilvorhaben die Ergebnisdaten aus dem im KLIPS-Projekt durch das Fraunhofer Institut HHI entwickelten KI-Modell zur Berechnung von Temperaturdaten auf Basis der Messdaten aus dem durch Ergo/Pikobytes erstellten Sensornetzwerk in den Pilotstädten Dresden und Langenfeld.

Um die Modell-Ergebnisse zu erhalten, haben wir eine entsprechende Schnittstelle erstellt, über die die Daten in Form von GeoTIFF-Dateien übergeben werden. Seit dem 23.06.2023 werden stündlich jeweils 48 GeoTIFF-Dateien für Langenfeld und Dresden an die Schnittstelle geliefert. Sobald neue Daten über die Schnittstelle verfügbar sind, wird ein zentraler Workflow zur Verarbeitung und Veröffentlichung der Daten initiiert. Für die Speicherung der Metadaten und der Standortdaten der Sensoren kommt die bewährte PostGIS Erweiterung für die PostgreSQL Datenbank zum Einsatz. Außerdem werden aus den ankommenden Temperaturdaten Konturlinien, oder Isothermen, erstellt, die in der Datenbank abgelegt werden.

Datenveröffentlichung

Um mittels eines zeitbasierten Image-Mosaic-Stores die KLIPS-Ergebnisdaten zu veröffentlichen, nutzen wir die Open-Source-Software GeoServer. Dies ermöglicht eine Darstellung von zeitabhängigen Rasterdaten mittels standardisierter WMS-Time-Dienste. Im GeoServer haben wir verschiedene Dienste veröffentlicht, die zum einen statische Daten wie den Urban Heat Island (UHI) und den Heat Index (HI) als auch verschiedene Simulationsfälle erfassen. Jeder dieser Dienste deckt einen Zeitraum von 24 Stunden ab. Zusätzlich sind Prognosedaten verfügbar, die die physikalische Temperatur, gefühlte Temperatur und die Temperaturdifferenz zum Umland darstellen. Diese Prognosedaten erstrecken sich über einen Zeitraum von 97 Stunden. Sie werden stündlich vom HHI geliefert, aufbereitet, archiviert und im GeoServer importiert. Darüber hinaus werden im GeoServer verschiedene Layerstile definiert. Der Großteil dieser Stile sind statisch und können für verschiedene Dienste verwendet werden. Jedoch haben wir auch dynamische Stile entwickelt, die bei jeder neuen Datenlieferung neu erstellt und auf Basis der Minimum- und Maximum-Werte der Daten berechnet werden.

Datenprozessierung

Neben den WMS-Diensten haben wir im KLIPS-Projekt verschiedene Dienste nach dem neueren OGC API Processes Standard über die Softwarelösung Pygeoapi implementiert, die es erlaubt Berechnungen oder andere Verarbeitungsschritte als Python-Algorithmen zu schreiben und als Web-Schnittstelle zur Verfügung zu stellen. Im KLIPS-Projekt haben wir verschiedene Prozesse erstellt, die über den OGC API Processes Standard angesprochen werden können und in unseren Demonstratoren sowie dem Demonstrator der Software AG Verwendung finden. Diese, sowie die benötigten Inputparameter, sind hier (https://klips-dev.terrestris.de/processes/) dokumentiert.

2.3.4. Web-basierte Demonstratoren

Eine unserer Hauptaufgaben im Projekt besteht darin, Informationen aus den Rasterdaten über geeignete Applikationsoberflächen darzustellen. Im KLIPS-Projekt haben wir deshalb eine Reihe Web-basierter Demonstratoren entwickelt, die die Funktionalität unserer Dienste in Form von verschiedenen Anwendungsbeispielen zeigen.

Im Rahmen dieser Demonstratoren kommen unter anderem die JavaScript-Bibliothek React und OpenLayers, eine leistungsstarke Bibliothek für die Darstellung von Karten in Webanwendungen,

zum Einsatz. Ein umfangreiches Dashboard bietet eine Übersicht über die meisten verfügbaren Demonstratoren und dient gleichzeitig als umfassende Dokumentation. Es ist über folgenden Link erreichbar: https://klips-dev.terrestris.de/easy-to-use-api/dashboard/. Die Demonstratoren bieten unter anderem die Möglichkeit, die verschiedenen zeitbasierten Daten aus dem Projekt darzustellen. Außerdem können verschiedene Widgets erstellt werden, die dann zum Beispiel in bestehende Webseiten eingebaut werden können. Beispielsweise kann der Temperaturverlauf der vergangenen und folgenden zwei Tage für Punkte oder Flächen im Stadtgebiet als Graph dargestellt werden. Zusätzlich kann ein Zeitraffervideo der Temperaturentwicklung einer Fläche generiert und eine Hitzewarnung ausgegeben werden. Eine im Projekt entwickelte Oberfläche bietet die Möglichkeit, diese Widgets zu konfigurieren.

2.3.5. Zusammenfassung: Erzielte Ergebnisse, Verwertung der Ergebnisse, Ausblick

Im KLIPS-Projekt wurden alle Ziele des durch terrestris und meggsimum umgesetzten Teilvorhabens erreicht. Durch eine umfassende Analyse der Projektanforderungen entstand eine anspruchsvolle Geodateninfrastruktur, die auf aktuellen Open-Source-Software-Lösungen und standardisierten Schnittstellen basiert. Diese Infrastruktur ermöglicht eine automatisierte Verarbeitung und Bereitstellung von Daten, was einen benutzerfreundlichen Zugriff auf hochaufgelöste räumliche und zeitliche Daten gewährleistet. Das Projekt hat für beide Unternehmen wertvolle Erkenntnisse und Ergebnisse hervorgebracht, die über das Projekt hinaus von Bedeutung sind. Während der Umsetzung der Geodateninfrastruktur konnten terrestris und meggsimum ihre Fachkompetenzen erweitern und maßgeschneiderte Lösungen für die Anforderungen verschiedener Kommunen entwickeln. Zudem wurden praktische Methoden und Technologien wie zum Beispiel aktuelle Standards und Spezifikationen aus der OGC-API-Familie angewendet, um die Dienstleistungen zu verbessern.

Insgesamt ist das KLIPS-Projekt als erfolgreiche Initiative zur Erweiterung von Fachkompetenzen und zur Förderung der kommerziellen Nutzung von Geodatendiensten zu bewerten.

2.4. ERGO Umweltinstitut GmbH und PIKOBYTES GmbH (ERGO/PIKO)

2.4.1. Aufgabenstellung und Ziele des Teilvorhabens

Ziel des Projektes war die Neuentwicklung einer messnetzfähigen IoT-Lösung für die Erfassung und -weiterverarbeitung hyperlokaler meteorologischer Parameter. Kern dieser Aufgabe war die Entwicklung, Konstruktion und Programmierung einer energieoptimierten Embedded-Plattform für die Datenerfassung, die als Basiselement für den Aufbau größerer Sensorschwärme dienen soll.

Neben den Basisanforderungen hinsichtlich Datenerfassung- und Übertragung, autarker Energieversorgung und einfacher Installierbarkeit musste eine präzise Messung der Lufttemperaturen gewährleistet werden, was eine Methode zur fortlaufenden Datenvalidierung sowie die dynamische Kalibrierfähigkeit beinhaltet.

Die Sensorentwicklung und das Roll-Out des ersten Messnetzes waren innerhalb der Projektlaufzeit so zu realisieren, dass die Messergebnisse für die weiteren Teilaufgaben des Gesamtvorhabens rechtzeitig verfügbar waren.

Neben den zu installierenden Sensoren wurde im Rahmen dieses Teilprojektes die gesamte datentechnische Cloud-Infrastruktur zur datenbankmäßigen Erfassung und Weiterverarbeitung aller Sensorrohdaten entwickelt.

Gemeinsam mit den Städten Dresden und Langenfeld wurden entsprechende Messnetze in den jeweiligen Stadtgebieten geplant und im Anschluss mit dem Roll-out und Probebetrieb des Sensornetzwerks eine wichtige Datenquelle für die KLIPS-Plattform geschaffen.

Mitwirkung in Arbeitspaketen

- AP0: Projektmanagement & Dissemination (01.10.2020 bis 31.03.2024)
- AP1: Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur (01.10.2020 bis 30.09.2023)
- AP2: Datenakquise & Datenintegration & Datenbereitstellung (01.04.2021 bis 30.09.2023)
- AP3: Konzeption, Entwicklung, Roll-out und Betrieb der Sensornetzwerke (Lead 01.04.2021 bis 30.03.2024)
- AP7: Pilotierung, Optimierung & Evaluierung

2.4.2. Zusammenfassung: Erzielte Ergebnisse, Verwertung der Ergebnisse, Ausblick

Ein funktionierendes Sensornetzwerk mit validen Messdaten bildet die Basis für den Projekterfolg. Dementsprechend lagen die Schwerpunkte in dem von ERGO verantworteten Teilvorhaben auf einer möglichst schnellen Entwicklung der Sensorhardware.

Ergebnisse 2020/21

In der ersten Projektphase wurden zunächst einfache Prototypen auf Basis kommerziell verfügbarer Entwicklungsplatinen sowie entsprechender Temperatursensoren konstruiert. Die Hauptschwierigkeit der Messung der Lufttemperatur ist eine wirksame Reduktion des Einflusses der

Sonneneinstrahlung. In der Frühphase wurden verschiedene Anordnungskonfigurationen prototypisch umgesetzt und getestet, um einen konventionellen (großen) Lamellenstrahlungsschirm zu vermeiden. Diese Grundidee floss auch in die erste Platinenentwicklung ein, die Basis für die Prototypen und die spätere Nullserie sein sollte. Das hier zugrundeliegende Multisensorkonzept wurde bis zum Schluss beibehalten und bildet ein zentrales technologisches Element zur signifikanten Verbesserung der Messgenauigkeit bei passiven Lufttemperaturmessgeräten.

Die zu Beginn entworfene Gehäusekonstruktion, welche komplett auf einen Lamellenstrahlungsschirm verzichtete, musste nach längeren Testreihen leider verworfen werden, was zu einem zeitlichen Rückschlag in der technischen Entwicklung führte.

- Die technischen Anforderungen an den Sensorknoten sind vollständig definiert
- Iterative Erarbeitung der Zielanforderungen, woraus für die technische Entwicklung des Sensorknotens und der dahinterstehenden Cloudstruktur entsprechende Zielsetzungen abgeleitet wurden.
- Diskussion verschiedener Datensatzmodelle, erste Daten entsprechend den Ergebnissen aus AP1 ausgewählt und daraus entsprechende Datenadapter entwickelt und optimiert.
- Fortlaufende Bereitstellung der Daten an die Projektpartner zur Durchführung eigener Analysen
- Entwurf Multisensorkonzept als technologisch-innovatives Grundprinzip
- Die technischen Anforderungen an den Sensorknoten sind vollständig definiert.
- Die elektronische Hardwareentwicklung (Platine inkl. Peripherie) war zum Jahresende weitgehend abgeschlossen und erste Prototypenplatinen lagen zum Testen vor
- Entwicklung und Bereitstellung eines dedizierten SensorHub-Cloud-Systems für private Daten.
- Einrichtung von Authentifizierungs- und Authorisierungsmechanismen zur Zugriffssteuerung.
- Entwicklung von Datenadaptern zum Datenempfang von den Sensorprototypen
- Einbindung der Daten aus den Sensorprototypen in das dedizierte SensorHub-Cloud-System

Ergebnisse 2022

Aufbauend auf den Ergebnissen der ersten Projektphase wurde das Hardwarekonzept hinsichtlich Gehäuse und Sensorschirmung nochmals grundlegend überarbeitet. In der Folge wurden auch weitere Platinenversionen entwickelt und getestet. Hier zahlte sich der modulare Entwicklungsansatz aber bereits aus, so dass eine iterative Revisionierung möglich war.

Schwerpunkte lagen nun auf der Erarbeitung einer geeigneten Energieversorgung zur Erfüllung des Projektzieles einer energieautarken Sensorversorgung, was sowohl Hardwarekomponenten einschloss wie auch die entsprechende Entwicklung der Firmware der Hauptplatine.

Zwischenzeitliche große Engpässe am Elektronikmarkt infolge der Corona-Pandemie waren herausfordernd konnten aber schließlich gelöst werden. Allerdings mussten auf Bauteilebene teils

technisch schlechtere Alternativvarianten beschafft werden, um das Gesamtprojektziel nicht zu gefährden.

Am Ende der zweiten Revision standen abermals Prototypen, welche umfangreichen Feldtests unterzogen wurden. Diese waren nun so erfolgreich, dass auf diesem Entwicklungsstand eine sogenannte Nullserie produziert und umfangreich im Feld getestet wurde.

Die Messnetzplanung wurde nun in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern (v.a. IÖR) konkretisiert und auf die Leistungsparameter der neuen Sensorhardware abgestimmt. Nach umfassender Abstimmung wurde das Sensor-Rollout und die damit unmittelbar verbundene Detailplanung durch ERGO selbst durchgeführt. Dies umfasste auch den teils sehr aufwändigen Einzelgenehmigungsprozesse der Aufstellungsorte bei städtischen Ämtern, Eigenbetrieben, den Verkehrsbetrieben inkl. der Schaffung rechtssicherer Vertragsgrundlagen.

- Abschließende Definition der Energieversorgung und technische Spezifikation der erforderlichen Akkus
- große Überarbeitung des Layouts der Grundplatine und die vollständige Umgestaltung der Satellitenplatine
- Integration mehrerer, technisch unterschiedlicher Temperatursensoren auf einer Platine zur wirksamen Erkennung von Sensordefekten und Drifterscheinungen
- Verwendung eines konfektionierten Standardgehäuses sowie einen konventionellen Strahlungsschirm vor, beides befestigt auf einer speziellen Trägerkonsole
- Nullserie (rund 30 Stück) mit weitgehend finaler Ausrüstung installiert
- Weiterentwicklung von Datenadaptern zum Datenempfang von den Sensorprototypen
- Einbindung der Daten aus der Nullseriengeräte in das SensorHub-Cloud-System
- Implementierung eines voll funktionsfähigen Firmwareupdateservices „over the air“
- Entwicklung und erste Erprobung eines Devicemanagers, eines Datenbanksystems zur Verwaltung großer Messnetze mit Standort- und Geräteinformationen inkl. proprietärer Mobile App.
- Erarbeitung von entsprechenden technischen Dokumenten inkl. GIS-Dateien für das spätere Rollout bzw. vorbereitende Genehmigungsprozeduren

Ergebnisse 2023/2024

Das Layout der Basisplatine wurde nochmals maßgeblich überarbeitet und die zunächst im Testbetrieb erprobte „Stempel-Platine“ durch einen vollständig neu entwickelten Stabsensor ersetzt. Durch die Installation von zwei, baulich unterschiedlichen Temperatursensoren wurden wichtige messtechnische Grundlagen für Feldkalibrierverfahren und insitu-Qualitätssicherung gelegt.

Für Befestigungskonsole wurde eine der beiden Nullserienvarianten ausgewählt und weiterentwickelt. Im Ergebnis wurde eine auf Laternenbefestigung optimierte Variante gefertigt, welche zweiteilig konstruiert ist und so eine einfache Anbringung der Sensorknoten und später einen Austausch durch eine einzelne Person ermöglicht, was für einen wirtschaftlichen Messnetzbetrieb von großer Bedeutung ist.

Die Fertigung der elektronischen Komponenten (Platinen, Kabelstränge, etc.) erfolgte imMärz 2023. In dieser Zeit wurden auch vorkonfektionierte Gehäuse gefertigt und geliefert sowie alle weiteren Systemkomponenten für die Sensorknoten wie die Konsolenhalterungen oder die Strahlungsschirme.

Die Endmontage aller Sensoren erfolgte durch ERGO und erstreckte sich in mehreren Montagekampagnen von Ende März bis Juni 2023. Vor dem eigentlichen Rollout der Sensoren wurden alle Geräte in einer speziellen Klimakammer kalibriert. In diesem Zusammenhang wurden automatisierte Tools zum Management tausender Kalibrierdaten entwickelt und erprobt und damit ein wichtiges Projektziel verwirklicht.

Die Installation der Messgeräte in Dresden begann Anfang April 2023. In mehreren Kampagnen wurden bis Juli 2023 ca. 260 Sensoren im Stadtgebiet installiert.

In Langenfeld erfolgte die Sensorinstallation in zwei Kampagnen im Juli und August 2023 und wurde durch die Stadtverwaltung nach vorherigem Briefing erledigt. In Langenfeld wurden insgesamt 80 Sensoren installiert.

Im Rahmen erweiterter Feldtests und dem Rollout des Sensornetzes in Dresden fanden auch nach der Installation verschiedene Weiterentwicklungen an den Sensorknoten statt. In erster Linie wurde das Energiemanagement optimiert, sodass die Geräte auch bei Verschattung, niedrigen Temperaturen und in den Wintermonaten möglichst lange Daten aufnahmen. Weiterhin wurden verschiedene Optimierungen an der Datenübertragung vorgenommen, um die zur Verfügung stehende Mobilfunkverbindung besonders effizient zu nutzen.

Auf der Seite der Datenbereitstellung und des Gerätemanagements wurden verschiedene essenzielle Funktionen realisiert. Das Gerätemanagement wurde für die effiziente Hinterlegung und Verarbeitung der gerätescharfen Kalibrierinformationen ertüchtigt. Weiterhin wurden funktionale und technische Anpassungen an der Smartphone-App für das Gerätemanagement vorgenommen, um den Registrierungs- und Einrichtungsprozess für die Sensorknoten für den Einsatz im Feld zu erleichtern und bestehende Fehler zu beheben. Auch hier flossen Erkenntnisse aus den Feldtests und dem Rollout der Sensornetze in Dresden und Langenfeld ein.

Um die unterschiedlichen Verarbeitungsschritte der Sensorrohdaten möglichst transparent und effizient zu gestalten, wurden virtuelle Sensoren in den Sensorhub eingeführt. Diese ermöglichen eine Zusammenführung der Rohdatenkanäle der Sensorknoten zu kalibrierten Datenkanälen für Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit.

Die aufbereiteten Datenkanäle wurden den Partnerstädten Dresden und Langenfeld zur Verfügung gestellt. Insbesondere in Dresden wurde ein permanenter Datenfluss an das städtische Umweltamt eingerichtet. Für die Standortplanung und die Unterstützung der Genehmigungsverfahren für die Anbringung der Sensoren wurden zusätzlich GIS-Webdienste eingerichtet.

Im Zuge der Datenbereitstellung wurden verschiedene Auswertungen der Daten durchgeführt. Technische Auswertungen umfassten insbesondere die Auswertung von Datenlücken bzw. Datenvollständigkeit sowie die Entwicklung von übertragenen Datenvolumen. Inhaltliche Analysen umfassten insbesondere die Erprobung sub-täglicher Informationsprodukte zur raum-zeitlichen Auswertung lokaler Erwärmungs- und Abkühlungseffekte.

Für die weitere wirtschaftliche Verwertung wurden die Aktivitäten 2024 intensiviert. Unter anderen erfolgte die aktive Teilnahme als Aussteller auf der SmartCity-Messe in Barcelona auf einem

Gemeinschaftsstand der Wirtschaftsförderung Sachsen. In diesem Zuge wurden die Marke „cityscreening“ entwickeln unter der künftig die Aktivitäten von ERGO und PIKOBYTES im Bereich smarter Sensornetzwerke gebündelt werden sollen. Bestehend Kontakte zu verschiedenen Kommunen wurden vertieft und konkrete Ansatzpunkte für die Vermarktung der KLIPS-Technologie geschaffen. Für die wissenschaftliche Datennutzung wurde u.a. mit der Technischen Universität Dresden eine Kooperationsvereinbarung getroffen.

- Bau aller erforderlichen Einzelsensoren für die Messnetze Dresden und Langenfeld
- Kalibrierung aller Messgeräte und Datenkanäle
- Installation der Messnetze Dresden und Langenfeld in mehreren Kampagnen
- Übergang in den regulären Messnetzbetrieb
- Entwicklung von Monitoring Tools
- Weitere Optimierung der Firmware
- Entwicklung von Wartungsprozeduren zur nachhaltigen Absicherung der Datenqualität
- Intensivierung von Nachnutzungs- und Kommerzialisierungsaktivitäten

2.5. Institut für Informationssysteme – Hochschule Hof (HSH)

2.5.1. Aufgabenstellung und Ziele des Teilvorhabens

Die Aufgabe der Forschungsgruppe Recht der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hof (HSH) war, die Umsetzung von KLIPS rechtlich zu begleiten und so einen Beitrag zu seiner Rechtskonformität der Forschungsarbeiten und Ergebnisse zu leisten. Um die Ergebnisse der Begutachtung über die theoretischen Betrachtungen hinaus in die Praxis zu transferieren, war eine Teilaufgabe der Forschungsgruppe die datenschutzkonforme Umsetzung von KLIPS sowie die Erarbeitung der Haftungskriterien in Bezug auf künstliche Intelligenz für die Haftungsreduzierung der Anwender. Darüber hinaus war Ziel des Teilvorhabens, die Möglichkeiten der Zurverfügungstellung der Projektdaten und -ergebnisse für die Open Data Plattform Mobilithek (ehemals mCLOUD, Mobilitätsdaten Marktplatz (MDM)) zu evaluieren. Gemäß der Gesamtvorhabenbeschreibung war die Hochschule Hof in folgende Arbeitspakete eingebunden:

Arbeitspakete und Ziele

AP0: Projektmanagement & Dissemination (01.10.2020 bis 31.03.2024)

Koordinierung der Projektaktivitäten, Kontrolle des Projektfortschritts, Sicherstellung der sachgemäßen Verwendung der Projektmittel und Bekanntmachen von KLIPS in Wirtschaft & Wissenschaft.

AP1: Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur (01.10.2020 bis 30.09.2023)

Definition der funktionalen & technischen Anforderungen; Konzeption der Lösungsarchitektur.

AP2: Datenakquise & Datenintegration & Datenbereitstellung (01.04.2020 bis 30.09.2023)

Identifikation & Akquise geeigneter Daten; Integration der Datenquellen an die prototypische KLIPS-Plattform, Bereitstellung geeigneter KLIPS-Daten als Open Data (ggf. über die Mobilithek und kommunale Open-Data-Portale) unter Wahrung der Verwertungsinteressen der KLIPS-Partner.

AP8: Datenmanagement und Daten(schutz)recht (01.10.2020 bis 31.03.2024); Lead HSH

Identifikation der unter Wahrung der Verwertungsinteressen der KLIPS-Partner als Open Data geeigneten KLIPS-Daten; Bereitstellung dieser Daten als Open Data, ggf. über die mCLOUD oder den MDM; datenschutzkonforme Umsetzung von KLIPS; Haftungsreduzierung.

AP8.1: Anforderungsanalyse Erfassung der Daten und Clustering nach Personenbezug

Anforderungsanalyse Erfassung der Daten und Clustering nach Personenbezug.

AP8.2: Erstellung einer Datenschutz-Konzeption als „living document“

Erstellung einer Datenschutz-Konzeption als „living document“.

AP8.3: Erarbeitung Haftungskriterien als Basis für einen künftigen Stand der Technik

Erarbeitung Haftungskriterien als Basis für einen künftigen Stand der Technik.

2.5.2. Zusammenfassung: Erzielte Ergebnisse, Verwertung der Ergebnisse, Ausblick

AP0: Projektmanagement & Dissemination (01.10.2020 bis 31.03.2024)

Die Koordinierung der Arbeiten wurde von der SAG als Konsortialführer geleistet, die Hochschule Hof beteiligte sich bei der Dissemination.

Die Hochschule Hof war an allen Konsortialtreffen von KLIPS vertreten und übernahm für die Treffen die Protokollführung. Darüber hinaus nahm mindestens eine Person an der wöchentlichen KLIPS-Telefonkonferenz teil.

Die Hochschule Hof organisierte zusammen mit dem iRights.Lab den mFUND-Workshop „High Quality Data – Hochwertige Daten in Mobilitätsprojekten sicherstellen“ am 07.04.2022, welcher online stattfand. Die Hochschule Hof war verantwortlich für die Konzeption des Programms und trug ebenfalls durch Vorträge zur Veranstaltung bei. Darüber hinaus war die Hochschule Hof als Partner an der mFUND Konferenz im Jahr 2022 vertreten. Des Weiteren vertrat die Hochschule Hof das Konsortium bei einer Reihe externer Veranstaltungen, darunter die Veranstaltung „Nachhaltiges Bauen in der Planungs- und Vergabepraxis“ des Behörden Spiegel sowie regelmäßig stattfindende institutsinterne Meetings des Instituts für Informationssysteme der Hochschule Hof.

Ein Erkenntnistransfer in die Bereiche der Lehre und Weiterbildung erfolgt stetig in den laufenden Lehrveranstaltungen: Bachelorstudiengang Wirtschaftsrecht (Schwerpunkt: Recht, Compliance und Digitalisierung) sowie im Masterstudiengang Compliance, IT und Datenschutz (Module IT-Recht und Recht des Datenschutzes) der Hochschule Hof.

Des Weiteren wurden Ergebnisse in Form von Vorträgen und Veröffentlichungen publiziert.

<u>Folgende Vorträge wurden im Rahmen des Forschungsprojektes KLIPS gehalten:</u>

- Weber, Beatrix: Datenqualität am Beispiel des mFUND-Projekts SAUBER, mFUND-Workshop: High Quality Data – Hochwertige Daten in Mobilitätsprojekten sicherstellen, 07.04.2022, online
- Weber, Beatrix: Data Governance Act und AI-Act-Entwurf, 2. Konsortialtreffen von KLIPS am Standort der Software AG am 01.12.2022, Darmstadt
- Lehmann, Marc: KLIPS – KI-basierte Informationsplattform für die Lokalisierung und Simulation von Hitzeinseln für eine innovative Stadt- und Verkehrsplanung, 4. Insititutskolloquium der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hof am 18.10.2023, Hof

<u>Folgender Vortrag ist in Vorbereitung:</u>

- Lehmann, Marc: Projektvorstellung KLIPS – KI-basierte Informationsplattform für die Lokalisierung und Simulation von Hitzeinseln für eine innovative Stadt- und Verkehrsplanung, Veranstaltungsreihe Hirnmassagen der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hof am 09.07.2024, Hof

Folgende Veröffentlichungen wurden im Rahmen von mehreren Forschungsprojekten, u. a. mit Erkenntnissen aus KLIPS publiziert:

- Weber, Beatrix: Data Governance, Nachhaltige Geschäftsmodelle und Technologien im europäischen Rechtsrahmen, Springer Berlin Heidelberg, 2023

Folgende Veröffentlichung ist in Vorbereitung:

- Lehmann, Marc et al.: Datenqualität in den mFUND Forschungsprojekten KLIPS und SAUBER – Nachweis der fachlichen und rechtlichen Belastbarkeit von Daten

AP1: Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur (01.10.2020 bis 30.09.2023)

Die Lösungsarchitektur wurde sukzessiv durch die Partner erarbeitet. Aufgabe der Hochschule Hof war, die Einhaltung der rechtlichen Anforderungen sicherzustellen, d. h. die rechtskonforme Umsetzung bei der Verwendung von Daten unter Geltung der diversen Lizenzbedingungen. Diese wurden im Rahmen des agilen Projektmanagementansatzes seitens der Hochschule Hof regelmäßig überprüft. Zum Projektende waren keine Rechtebeschränkungen als absolute Projektstopper ersichtlich.

Erreichung des Meilensteins 1 „Fertigstellung der Gesamtkonzeption“

AP2: Datenakquise & Datenintegration & Datenbereitstellung (01.04.2020 bis 30.09.2023)

Die Hochschule Hof hat dem Konsortium empfohlen, das Lizenzmodell „Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell 4.0 International (CC BY-NC 4.0)“ für die Veröffentlichung der KLIPS-Daten auf der Mobilithek zu wählen. Die Empfehlung basiert auf den Empfehlungen für die Datenbereitstellung im mFUND (Merkblatt für Fördernehmer) – Version 1.5 (28.02.2022). In dem Merkblatt für Fördernehmer werden insbesondere die Creative Commons Lizenzen hervorgehoben, die im privatwirtschaftlichen Umfeld genutzt werden.

Erreichung des Meilensteins 3 „Bereitstellung 1. KLIPS-Daten in der Mobilithek“.

Folgende Datensätze wurden, im Rahmen von KLIPS, als Open Data in der Mobilithek zur Verfügung gestellt:

Datensatz (1)	KLIPS Klimamessnetz 2023
Beschreibung	Das Messnetz des Projektes KLIPS erfasst hochlokale Stadtklimadaten.
Themengebiet	Klima und Wetter
OpenData Kategorie (GovData)	Umwelt
Letzte Aktualisierung	22.05.2024
Zeitliche Relevanz	Beginn: 01.04.2023 / Ende: 31.03.2024
Örtliche Relevanz	Räumliche Abdeckung: Deutschland (DE)
Bereitgestellt durch	PIKOBYTES
Nutzungsbedingungen	Datenlizenz Deutschland Namensnennung nicht-kommerziell 1.0

Tab. 3: Veröffentlichte Datensätze in Mobilithek – KLIPS Klimamessnetz 2023

Datensatz (2)	Oberflächentemperatur (Landsat), aggregiert, Dresden
Beschreibung	Mittelwerte der Oberflächentemperatur (Land Surface Temperature - LST) für Dresden basierend auf Satellitenbeobachtungen der Landsat-Missionen 7-9. Die Mittelwerte wurden über die Jahre 2013-2022 für folgende Tage bzw. Jahreszeiten berechnet: Sommertage - alle Tage mit Maximaltemperaturen >=25°C und <30°C Heiße Tage - alle Tage mit Maximaltemperaturen >=30° Tropennächte - alle Tage mit Minimaltemperaturen >=20° Sommer - Monate Juni, Juli, August Die Aggregate repräsentieren jeweils die Bedingungen in den Morgenstunden zur Überflugzeit der Satelliten (ca. 10Uhr). Die Daten werden als GeoTiff-Dateien zur Verfügung gestellt. Zu jeder LST-Datei mit den Mittelwerten wird eine weitere Datei bereitgestellt, welche die Anzahl an Satellitenbeobachtungen pro Pixel (Counts) enthält, die in den jeweiligen Mittelwert eingeflossen sind.
Themengebiet	Klima und Wetter
OpenData Kategorie (GovData)	Bevölkerung und Gesellschaft, Gesundheit, Umwelt, Regionen und Städte
Letzte Aktualisierung	23.01.2024
Zeitliche Relevanz	Beginn: 16.04.2023 / Ende: ...
Örtliche Relevanz	Räumliche Abdeckung: Dresden, Kreisfreie Stadt (DED21)
Bereitgestellt durch	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
Nutzungsbedingungen	Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell 4.0 International (CC BY-NC 4.0) Nutzungseinschränkungen: Das DLR ist nicht haftbar für Schäden, die sich aus der Nutzung ergeben. Nutzungsbedingungen: Lizenz, CC BY-NC 4.0, https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Tab. 4: Veröffentlichte Datensätze in Mobilithek – Oberflächentemperatur Dresden

Datensatz (3)	Oberflächentemperatur (Landsat), aggregiert, Langenfeld
Beschreibung	Mittelwerte der Oberflächentemperatur (Land Surface Temperature - LST) für Langenfeld basierend auf Satellitenbeobachtungen der Landsat-Missionen 7-9. Die Mittelwerte wurden über die Jahre 2013-2021 für folgende Tage bzw. Jahreszeiten berechnet: Sommertage - alle Tage mit Maximaltemperaturen >=25°C und <30°C Heißer Tage - alle Tage mit Maximaltemperaturen >=30° Tropennächte - alle Tage mit Minimaltemperaturen >=20° Sommer - Monate Juni, Juli, August

	Die Aggregate repräsentieren jeweils die Bedingungen in den Morgenstunden zur Überflugzeit der Satelliten (ca. 10Uhr). Die Daten werden als GeoTiff-Dateien zur Verfügung gestellt. Zu jeder LST-Datei mit den Mittelwerten wird eine weitere Datei bereitgestellt, welche die Anzahl an Satellitenbeobachtungen pro Pixel (Counts) enthält, die in den jeweiligen Mittelwert eingeflossen ist.
Themengebiet	Klima und Wetter
OpenData Kategorie (GovData)	Bevölkerung und Gesellschaft, Gesundheit, Regierung und öffentlicher Sektor, Regionen und Städte, Umwelt
Letzte Aktualisierung	23.01.2024
Zeitliche Relevanz	Beginn: 01.01.2013 / Ende: 31.12.2022
Örtliche Relevanz	Räumliche Abdeckung: Langenfeld (Rheinland)
Bereitgestellt durch	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
Nutzungsbedingungen	Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell 4.0 International (CC BY-NC 4.0) Nutzungseinschränkungen: Das DLR ist nicht haftbar für Schäden, die sich aus der Nutzung ergeben. Nutzungsbedingungen: Lizenz, CC BY-NC 4.0, https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/ Quellenvermerk Deutsches Zentrum f. Luft- und Raumfahrt (DL

Tab. 5: Veröffentlichte Datensätze in Mobilithek – Oberflächentemperatur Langenfeld

Datensatz (4)	Oberflächentemperatur (Landsat), aggregiert, Dresden
Beschreibung	Mittelwerte der Oberflächentemperatur (Land Surface Temperature - LST) für Dresden basierend auf Satellitenbeobachtungen der Landsat-Missionen 7-9. Die Mittelwerte wurden über die Jahre 2013-2021 für folgende Tage bzw. Jahreszeiten berechnet: Sommertage - alle Tage mit Maximaltemperaturen >=25°C und <30°C Heißer Tage - alle Tage mit Maximaltemperaturen >=30° Tropennächte - alle Tage mit Minimaltemperaturen >=20° Sommer - Monate Juni, Juli, August Warme Saison - Monate Mai, Juni, Juli, August, September Kalte Saison - Monate Januar, Februar, März, April, Oktober, November, Dezember Die Aggregate repräsentieren jeweils die Bedingungen in den Morgenstunden zur Überflugzeit der Satelliten (ca. 10Uhr). Die Daten werden als GeoTiff-Dateien zur Verfügung gestellt. Zu jeder LST-Datei mit den Mittelwerten wird eine weitere Datei bereitgestellt, welche die Anzahl an Satellitenbeobachtungen pro Pixel (Counts) enthält, die in den jeweiligen Mittelwert eingeflossen sind.

Themengebiet	Klima und Wetter
OpenData Kategorie (GovData)	Bevölkerung und Gesellschaft, Gesundheit, Regierung und öffentlicher Sektor, Regionen und Städte, Umwelt
Letzte Aktualisierung	06.03.2023
Zeitliche Relevanz	Beginn: 31.12.2012 / Ende: 30.12.2021
Örtliche Relevanz	Räumliche Abdeckung: Dresden
Bereitgestellt durch	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
Nutzungsbedingungen	Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell 4.0 International (CC BY-NC 4.0) Nutzungseinschränkungen: Das DLR ist nicht haftbar für Schäden, die sich aus der Nutzung ergeben. Nutzungsbedingungen: Lizenz, CC BY-NC 4.0, https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Tab. 6: Veröffentlichte Datensätze in Mobilithek – Oberflächentemperatur Dresden

AP8: Datenmanagement und Daten(schutz)recht (01.10.2020 bis 31.03.2024); Lead HSH

Im Rahmen von KLIPS wurden vier Datensätze als Open Data unter den Lizenzen CC BY-NC 4.0 und DL-DE->BY-NC-1.0 in der Mobilithek zur Verfügung gestellt (siehe AP2).

Da sich die anfängliche datenschutzrechtliche Betrachtung im Projektverlauf mehr und mehr zu einem allgemeinen Datenrecht entwickelte, wurde das Konzept für die Datenbereitstellung und Datenschutz um die weiteren Aspekte der Data Governance, d. h. der Datennutzung und der Datenqualität erweitert. Als Ergebnis wurde eine Data Governance Konzeption erstellt.

Die Qualitätsanforderungen an die KLIPS-Daten sind teilweise spezifizierbar aufgrund fehlender rechtlicher und technischer Vorgaben. Der Nachweis der fachlichen und rechtlichen Belastbarkeit der in KLIPS verwendeten Daten konnte nur teilweise erbracht werden. Eine durchgängig rechtssichere Haftungssituation hinsichtlich der Datenqualität ist derzeit nicht möglich. Die Prognosesicherheit für die öffentliche Hand ist nicht konsequent gewährleistet (Blame Avoidance). Ein Konzept zur Verbesserung der Datenqualität im Projekt KLIPS wurde entwickelt.

Im Ausblick sollten Methoden zur Bestimmung der Datenqualität kontextabhängig beschrieben und in Zukunft weiter verfeinert werden, beispielsweise im Kontext der KI-VO.

Neben der Datenqualität, welche beim Thema Haftung berücksichtigt werden muss, wurden weitere Haftungskriterien in Bezug auf künstliche Intelligenz für die Haftungsreduzierung der Anwender erarbeitet. Die Ergebnisse sind in das Konzept „Haftung für KI-Systeme im Forschungsprojekt KLIPS“ eingeflossen.

<u>AP 8.1: Anforderungsanalyse Erfassung der Daten und Clustering nach Personenbezug</u>

Alle im Projekt eingesetzten Daten und Datensätze wurden auf Grundlage einer gesetzlichen Ermächtigung oder einer vertraglichen Lizenz verwendet. Es wurden im Projekt keine personenbezogenen oder personenbeziehbaren Daten verwendet. Schutzmaßnahmen nach der DSGVO waren daher nicht erforderlich.

AP 8.2: Erstellung einer Datenschutz-Konzeption als „living document“

Da sich die anfängliche datenschutzrechtliche Betrachtung im Projektverlauf mehr und mehr zu einem allgemeinen Datenrecht entwickelte, wurde die Datenschutz-Konzeption um die weiteren Aspekte der Data Governance, d. h. der Datennutzung und der Datenqualität erweitert. Als Ergebnis wurde eine Data Governance Konzeption erstellt.

AP 8.3: Erarbeitung Haftungskriterien als Basis für einen künftigen Stand der Technik

Als Ergebnis wurde ein Konzept „Haftung für KI-Systeme im Forschungsprojekt KLIPS“ erstellt, in welchem die Haftungssituation der öffentlichen Hand in Bezug auf KI-Systeme aufgezeigt und Handlungsempfehlungen gegeben werden.

Weitere wichtige Ergebnisse

Die Qualitätsanforderungen an die KLIPS-Daten sind teilweise spezifizierbar aufgrund fehlender rechtlicher und technischer Vorgaben. Der Nachweis der fachlichen und rechtlichen Belastbarkeit der in KLIPS verwendeten Daten konnte nur teilweise erbracht werden. Eine durchgängig rechtssichere Haftungssituation hinsichtlich der Datenqualität ist derzeit nicht möglich. Die Prognosesicherheit für die öffentliche Hand ist nicht konsequent gewährleistet (Blame Avoidance). Ein Konzept zur Verbesserung der Datenqualität im Projekt KLIPS wurde entwickelt.

Im Ausblick sollten Methoden zur Bestimmung der Datenqualität kontextabhängig beschrieben und in Zukunft weiter verfeinert werden, beispielsweise im Kontext der KI-VO.

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Das Data-Governance-Gesetz zur Nutzung von Daten aus öffentlich-rechtlichen Beständen wird für die Konzeption der Data Governance in künftige Projekte mit einfließen. Die Weiterentwicklung der Data Governance als Modellcheck für die öffentliche Hand und Unternehmen wird mit dem Data Governance Act sehr große Relevanz und Aufmerksamkeit erlangen.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte

Die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit nach Projektende wird durch verschiedene Projekte wie z. B. das Gaia-X-Projekt iECO Technologie- und Wissenstransferprojekt Digi CircularBuild in der Donauregion gesichert.

Wissenschaftliche Erkenntnisse aus den Bereichen Datenschutz und Lizenzmanagement fließen aktuell in die Lehre an der Hochschule Hof ein. Dies wird insbesondere im Bachelorstudiengang Wirtschaftsrecht (Schwerpunkt: Recht, Compliance und Digitalisierung) (LL.B.) sowie an dem von der Hochschule Hof angebotenen berufsbegleitenden Masterstudiengang Compliance, IT und Datenschutz (LL.M., M.B.A.) deutlich.

Zur Entwicklung und Implementierung innovativer Lösungen ist es weiterhin erforderlich, rechtliche Standards einzuhalten, um zum einen die Verwendung über den forscherischen Kontext zu ermöglichen (Lizenzmanagement) und zum anderen das Vertrauen des Nutzers in die Datenverarbeitung zu gewährleisten (Datenschutzrecht und Datenqualität). Die Hochschule Hof bindet Erkenntnisse aus dem Projekt KLIPS auch in weitere Projekte ein und fördert den Technologie- und Wissenstransfer über das Forschungsprojekt hinaus.

2.6. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR)

2.6.1. Aufgabenstellung und Ziele des Teilvorhabens

Die Aufgabe des IÖR lag insbesondere in der Schnittstellenfunktion zur kommunalen Planungspraxis. Durch die enge Kooperation mit der Stadt Dresden, die schon in mehreren Projekten mit ähnlichen Themen zur Anpassung an den Klimawandel und einer besseren Lebensqualität in der Stadt befasst ist, konnte das Institut bereits zahlreiche Datensätze, Kontakte und Wissen einbringen.

Gemäß Vorhabensbeschreibung war das IÖR in folgenden Arbeitspaketen eingebunden und hat die im Folgenden beschriebenen Beiträge geleistet:

Arbeitspakete

AP0: Projektmanagement & Dissemination (01.10.2020 bis 31.03.2024)

Lokale Koordinierung der Projektaktivitäten und Bekanntmachen von KLIPS und dessen Ergebnissen in Wissenschaft und Gesellschaft.

AP1: Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur (Lead 01.10.2020 bis 30.09.2023)

Definition der funktionalen & technischen Anforderungen; Konzeption der Lösungsarchitektur.

Task 1.1 Systematische Aufbereitung der Anforderungen

Ziel dieser Task war die systematische Aufbereitung der Anforderungen der projektrelevanten Fragen und Aufgaben der Stadtplanung und -entwicklung sowie des Umweltmonitorings. Hierzu zählen die Identifikation potentieller Nutzer*innen (kommunal, regional, national, international) inklusive Kontaktakquise sowie die Anforderungsrecherche auf den unterschiedlichen Ebenen (Fachbehörden, Fachplanung). Die Recherche erfolgte mit Hilfe von Telefon- und Vor-Ort-Interviews.

Tätigkeiten des IÖR:

- Recherche und Aufbereitung projektrelevanter Fragen, Vorarbeiten und Aufgaben im Bereich Hitzeinseln und Stadtplanung und -entwicklung
- Anforderungsrecherche an den zu erstellenden Demonstrator
- Identifikation potentieller NutzerInnen auf kommunaler, regionaler und nationaler Ebene
- Erstellung Anforderungskatalog benötigter Daten und Dienste

Ergebnis: Anforderungskatalog benötigter Daten und Dienste

Task 1.2 Spezifische Anforderungsanalyse (9 PM)

Dieser Task untersetzte Task 1.1 mit den spezifischen Anforderungen der beiden Anwender Dresden und Langenfeld. Die räumlichen Möglichkeiten zur Etablierung des Sensor-Netzwerkes wurden realistisch abgeklärt. Der Anforderungskatalog wird mit Hilfe von Telefon- und Vor-Ort-Interviews sowie in Workshops erarbeitet.

Tätigkeiten des IÖR:

- Vor-Ort- sowie Telefoninterviews mit der Landeshauptstadt Dresden

- Gemeinsam mit der LH Dresden Vorbereitung von ggf. mehreren Workshops zur Anforderungs- und Umsetzungsdiskussion
- Recherche und Auswertung bisheriger Maßnahmen der Landeshauptstadt Dresden in Bezug auf Hitzeinseln
- Analyse der Anforderungen der Landeshauptstadt Dresden an den zu erstellenden Demonstrator
- Erstellung eines spezifischen Anforderungskatalogs für die Landeshauptstadt Dresden und Abgleich mit organisatorisch möglichen Einsatzorten
- Fortlaufende Aktualisierung der Anforderungen im Projektverlauf
- Vorbereitung des technischen Lastenheftes in Abstimmung mit allen Projektpartnern
- Vorbereitung des inhaltlichen Lastenheftes und Abstimmung mit der Landeshauptstadt Dresden

Ergebnis: Spezifischer Anforderungskatalog benötigter Daten und Dienste für Dresden

Task 1.3 Abstimmungsprozess Anforderungsanalyse vs. Machbarkeit (4,5 PM)

Ziel dieser Task war es, den in der Task 1.2 erarbeiteten spezifischen Anforderungskatalog für Dresden und Langenfeld mit allen Projektpartnern abzustimmen. Dabei erfolgte die Festlegung und Priorisierung realisierbarer Anforderungen unter Berücksichtigung realistischer Einsatzorte. Im Ergebnis entsteht das Grobkonzept des Systems, welches auch als Richtschnur für künftige Nachahmer dienen kann. Dies wurde in einem Workshop mit allen Projektbeteiligten verifiziert.

Ergebnis: Grobkonzept der Architektur

Task 1.4 Transferanalyse (3,5 PM)

Ziel dieser Task ist es, auf Grundlage der in den Tasks 1.1 und 1.2 erzielten Ergebnisse die Übertragbarkeit der Anforderungsanalyse auf andere Kommunen in Deutschland und speziell auf die Stadt Langenfeld zu erstellen.

Tätigkeiten des IÖR:

- Erarbeitung eines Konzeptes zur Übertragung der Ergebnisse aus Task 1.1 und 1.2 auf Langenfeld und allgemein auf anderen Kommunen
- Vor-Ort- sowie Telefoninterviews mit der Stadt Langenfeld und weitere Kommunen
- Analyse der Anforderungen in Anhängigkeit zur Stadtgröße

Ergebnis: Transferstudie für Langenfeld

Task 1.5 Lösungsarchitektur (4,5 PM)

In diesem Task erfolgte die Erstellung der finalen Lösungsarchitektur in Form eines technischen und inhaltlichen Lastenheftes in Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern.

Ergebnis: Lösungsarchitektur in Form eines Lastenhefts

AP2: Datenakquise & Datenintegration & Datenbereitstellung (01.04.2020 bis 30.09.2023)

Identifikation & Akquise geeigneter Daten; Integration der Datenquellen an die prototypische KLIPS-Plattform, Bereitstellung geeigneter KLIPS-Daten als Open Data (ggf. über die Mobilithek und kommunale Open-Data-Portale) unter Wahrung der Verwertungsinteressen der KLIPS-Partner.

Task 2.1: Identifikation und Akquise geeigneter Datenquellen (7,5 PM)

Aufgabe dieser Tasks war es, für die Zielstellung von KLIPS geeignete Datenquellen zu identifizieren. Dies beinhaltet eine systematische Recherche nach Datenquellen sowie die Ermittlung der Verfügbarkeit, Nutzungsbedingungen und des Datenzugriffs. Dies betrifft Strukturdaten der Städte Dresden und Langenfeld (Daten aus Liegenschaftskataster-, Umwelt- und Klimainformationssystemen sowie 3D Stadt- bzw. Gebäudemodellen), Sensordaten (Daten aus dem räumlich dichten Sensornetzwerk des Partners Ergo, ggfs. Umwelt- und Wetterdaten von stationären Messstellen) und Satellitendaten (Langzeitbeobachtungen der Landoberflächentemperatur, der Landbedeckung und urbaner Strukturelemente wie z.B. Gebäuden und Bäumen). Ferner werden Daten zu weiteren wärmebeeinflussenden Parametern in Portalen hinsichtlich ihrer Eignung für KLIPS geprüft (bspw. Verkehrs-, und Bevölkerungsdichte).

Tätigkeiten des IÖR:

- Recherche, Identifikation und Akquise geeigneter Daten sowie Datenquellen der Städte Dresden und Langenfeld
- Recherche, Identifikation und Akquise häufig in Städten vorhandener relevanter Daten als Grundlage für spätere Verallgemeinerung der Lösung
- Identifikation geeigneter Daten des IÖR-Monitors

Ergebnis: Portfolio der für KLIPS geeigneten Datenquellen, deren Verfügbarkeit und Zugriff

Task 2.2 Aufbereitung der geeigneten Datensätze (11 PM)

Für die Einspeisung der akquirierten Daten in die KLIPS Datenbank und die Integration in die KLIPS Plattform mussten die heterogenen Datensätze (d.h. unterschiedliche räumliche und zeitliche Auflösungen sowie thematische Hintergründe) entsprechend der Anforderungen in KLIPS aufbereitet werden. Dieser Task beinhaltet dies Harmonisierung und Aufbereitung und darüber hinaus die Weiterverarbeitung von einzelnen Datensätzen zu höherwertigen Produkten. Davon sind insbesondere die Satellitendaten betroffen, da aus den reinen Bilddaten zunächst Informationen abgeleitet werden müssen (z.B. Landbedeckungsklassen oder Oberflächentemperaturen in zeitlicher Veränderung). Die Aufbereitung der Datensätze wird mit den Arbeiten in Task 3. zur Einbindung von sensorischen Kontextdaten abgestimmt.

Tätigkeiten des IÖR (2 PM):

- Aufbereitung der IÖR-Monitordaten (Flächennutzung, Bebauungsstruktur, usw.)
- Vorbereitung der Datenintegration in die Gesamtlösung
- Retrospektive Analyse der Oberflächentemperaturen und Bebauungsstruktur anhand von historischen Karten und Materialien der Städte Dresden und Langenfeld

• Recherche und Akquise historischer Karten und Materialien der Städte Dresden und Langenfeld

• Räumliche Aufbereitung der historischen Siedlungsentwicklung und indikatorenbasierte Beschreibung

Ergebnis: Aufbereitete und veredelte Input-Daten für die Datenanalyse (AP 4)

Task 2.4 Bereitstellung geeigneter KLIPS-Daten als Open Data (4 PM)

Datensätze und daraus generierte Produkte, welche einen signifikanten Mehrwert für Nutzergruppen bieten und bisher in dieser Form noch nicht öffentlich zugänglich sind, wurden der Öffentlichkeit über ausgewählte Plattformen zur Verfügung gestellt. Für die Bereitstellung der räumlich dichten und hochaufgelösten Sensordaten werden geeignete qualitätsgesicherte Aggregate als Service bereitgestellt und in die gemeinsame OpenData-Plattform eingekoppelt.

Tätigkeiten des IÖR:

• Vorbereitung der Übernahme der Daten in die mCloud unter Berücksichtigung der daten- und lizenzrechtlichen Bestimmungen

Ergebnis: Bereitstellung geeigneter KLIPS-Daten als Open Data

2.6.2. Zusammenfassung: Erzielte Ergebnisse, Verwertung der Ergebnisse, Ausblick

Aufgrund des Ausscheidens der Stadt Leipzig mussten erhebliche ungeplante Zeitaufwände in die Suche eines neuen Anwendungspartners gesteckt werden. Zusätzlich zu den beschriebenen Aufgaben war das IÖR als Schnittstelle zwischen den Entwickler und Praxispartnern intensiv in die deutschlandweite Suche eines neuen Anwendungspartners eingebunden und war schließlich u.a. auch durch die guten Kontakte zur LH Dresden erfolgreich

AP0: Projektmanagement & Dissemination (01.10.2020 bis 31.03.2024)

Das IÖR-Team nahm an allen regelmäßigen Status-Calls des Konsortiums (wöchentlich, digital) sowie der Kickoff-Veranstaltung im Januar 2022 und dem Konsortialtreffen im November 2022 teil und dokumentierte alle Arbeiten im SAG eigenen Projektmanagementsystem "LabCase".

Folgende Vorträge wurden im Rahmen des Forschungsprojektes KLIPS gehalten:

- 05.04.22 mFUND „Datenqualität“
- 09.05.22 Vorstellung KLIPS bei Treffen der Initiative „Twinning Dresden Prague“
- 13.09.2022 mFUND Konferenz
- 21.-23-09.2022 IÖR-Jahrestagung „Neue Daten, Methoden und Werkzeuge für die Hitzeanpassung“
- 13./14.06.23 Dresdner Flächennutzungssymposium
- 20.09.23 BUND Dresden zu Projektstart „Schwammstadt Dresden“

- 09.11.23 Planungs-, Umwelt- und Klimausschuss Stadt Langenfeld

Folgende Workshops wurden im Rahmen des Forschungsprojektes KLIPS durchgeführt:

- 04.04.22 „Anwendungsfälle“, Langenfeld
- 17.05.22 „Anforderungsanalyse Teil I“
- 15.06.22 „Städtische Überwärmung – Neue Tools und neues Wissen für die Identifizierung von Hitzeinseln und die Entwicklung geeigneter Anpassungsmaßnahmen“, Dresdner Flächennutzungssymposium
- 17.06.22 „Anwendungsfälle“, Dresden (verschiedene Ämter der LH Dresden)
- 06.07.22 „Anforderungsanalyse Teil II“
- 06.02.23 Dresden (Umweltamt, Stadtplanungsamt, technische Partner KLIPS)
- 26.01.24 „Evaluierung der aktuellen Ergebnisse“, Dresden
- 06.02.24 „Nutzung der Schnittstellen“, Langenfeld

Folgende Veröffentlichungen wurden im Rahmen von mehreren Forschungsprojekten, u. a. mit Erkenntnissen aus KLIPS publiziert:

- Weber, Beatrix: Data Governance, Nachhaltige Geschäftsmodelle und Technologien im europäischen Rechtsrahmen, Springer Berlin Heidelberg, 2023
- Wright, J., Herold, H. (2022): Anforderungen an innovative und praxistaugliche Methoden, Informationen und Tools für die urbane Hitzeanpassung. In: Flächennutzungsmonitoring XIV: Beiträge zu Flächenmanagement, Daten, Methoden und Analysen (S. 321-326). Berlin: Rhombos-Verlag. https://doi.org/10.26084/14dfns-p033
- Im Rahmen des Projektes wurde eine Bachelorarbeit an der HTW Dresden von Ingmar Richter mit dem Titel: „Entwicklung eines software-basierten Prototyps zur automatisierten Aufbereitung kleinräumiger Planungsdaten für KI-basierte Simulationen“ erstellt und am 29.03.2023 erfolgreich verteidigt. Die Ergebnisse fließen direkt in das Projekt ein.

Folgende Veröffentlichung ist in Vorbereitung:

- Beitrag zu Special Issue im Journal *Atmosphere*: “Investigating the optimal number and spatial distribution of sensors for the deep learning-based air temperature prediction”, Special Issue Title: “New Methods for Urban Heat Assessment and Prediction: From IoT to Remote Sensing and AI”

AP1: Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur (01.10.2020 bis 30.09.2023)

Erreichung des Meilensteins 1 „Fertigstellung der Gesamtkonzeption“

Der Meilenstein M1 – Fertigstellung der Gesamtkonzeption besteht aus der Aufstellung einer Lösungsarchitektur für das Gesamtprojekt und dem Erstellen der Anforderungsanalyse, beides im Rahmen des Arbeitspaketes 1 „Anforderungsanalyse & Lösungsarchitektur“. Gemeinsam stellen diese beiden Elemente die Grundlage für die weitere Projektarbeit.

Für die (iterative) Anforderungserhebung mit den Anwendungspartnern hat das IÖR-Projektteam mit der Stadt Leipzig und Stadt Langenfeld zahlreiche Interviews sowie drei digitale Workshops mit den Stadtverwaltungen (Leipzig 19.01.2021) und Langenfeld (20.01.2021 und 18.02.2021) durchgeführt. Parallel wurden mit den Entwicklern der Sensoren die Anforderungen jeweils mit der technischen Realisierbarkeit abgestimmt (Abstimmung der funktionalen und technischen Anforderungen zur Überführung in die Lösungsarchitektur). Begleitend wurden eine Literaturrecherche sowie eine Analyse der vorhandenen Konzepte, Pläne und Dokumente der Anwendungspartner (z.B. Klimaanpassungskonzept usw.) durchgeführt.

Leider erklärte die Stadt Leipzig am 3. Mai 2021 schriftlich ihren Austritt aus dem Projekt und Konsortium. Das Jahr 2021 war damit durch finanzielle und planerische Unsicherheit und durch die intensive Suche nach einem vollwertigen Ersatz für den verlorenen Anwendungspartner Leipzig bestimmt. Diese Phase war erst im Dezember 2021 beendet, als feststand, dass die Landeshauptstadt Dresden den Platz von Leipzig einnehmen kann und alle bürokratischen notwendigen Änderungen und Genehmigungen erlangt waren.

Dementsprechend begann die Anforderungserhebung federführend durch das IÖR erneut mit der Stadt Dresden und aufgrund der langen Pause erneut bei der Stadt Langenfeld. Für die Anforderungsanalyse wurden zahlreiche Gespräche, Interviews mit Vertreter*innen der beiden Städte Dresden und Langenfeld und je ein Workshop mit zahlreichen Mitarbeitern der Landeshauptstadt Dresden (Präsenz) und Stadt Langenfeld (Digital) durchgeführt. Aus den Informationen, Inhalten und Ergebnissen erstellte das IÖR die detaillierte Anforderungsanalyse. Zur weiteren Arbeit wurde die Anforderungsanalyse in sieben sogenannte „Praktische Anwendungsfälle“ (PAFs) übersetzt:

- L1 – Lokalklimatische Hitze-Wirkung des urbanen Hitzeinseleffekts in der Stadt
- L3 – Quartiers- und Standortspezifische Hitzeinformation
- L7 – Messung der Wirksamkeit von Maßnahmen durch Vergleich in Langzeitmessungen
- P1 – Hitzewarnung auf Quartiersebene
- S2 – Simulation von Anpassungsmaßnahmen und Nachverdichtungsvorhaben im Bestand als schnelle Voruntersuchung (im Rahmen des Scoping)
- S3 – Simulation von Neubauvorhaben im unbebauten Raum
- M1 – Vergleich zu bestehenden Produkten und Methoden, ggf. Evaluation

Um die PAFs umsetzen zu können, wurden analog dazu sogenannte „Technische Anwendungsfälle“ (TAFs) durch die technischen Projektpartner formuliert und entwickelt.

AP2: Datenakquise & Datenintegration & Datenbereitstellung (01.04.2020 bis 30.09.2023)

Für das AP2 wurden durch das IÖR-Projektteam bei den Anwendungspartner Datenrecherchen durchgeführt, dokumentiert und die spätere Verwendung in Abstimmung mit dem Projektpartner HHI kategorisiert.

Des Weiteren wurden Gebiete für die Simulationen recherchiert, mit der Stadt Dresen abgestimmt und entsprechende Daten vorbereitet. Die veränderten Strukturdaten wurden an das HHI zur Berechnung der Simulationen weitergegeben. Folgende Gebiete wurden ausgewählt:

- Äußere Neustadt
    - Nach den aktuellen Plänen der Stadt sind in diesem Gebiet Nachverdichtung und die Schließung von Baulücken geplant bzw. teilweise schon umgesetzt.
- Robotrongelände / Lingnerstadt
    - Ein neues Stadtquartier „Lingnerstadt“ entsteht derzeit auf dem ehemaligen Robotrongelände in sehr zentraler Lage in Dresden. Die Strukturdaten wurden entsprechend des Bebauungsplans angepasst/verändert.
- Großer Garten
    - Dabei handelt es sich um ein fiktives Beispiel. Was passiert, wenn eine große Grünfläche/Stadtpark innerhalb der Stadt in ein Wohngebiet umgewandelt wird? Hierfür wurde das darüber liegende Wohngebiet auf die Fläche des Großen Gartens „kopiert“. Somit wurde die typische Wohnbebauung des Stadtviertels simuliert.
- Alter Leipziger Bahnhof
    - Zum Zeitpunkt der Erstellung der Simulationen stand noch kein Bebauungsplan für das Gebiet fest. Die Wettbewerbsphase war noch nicht abgeschlossen. Das IÖR-Team testete verschiedene Varianten der Bebauung, bspw. was passiert wenn Fläche entsiegelt wird und das Gebiet großräumig mit Bäumen bepflanzt wird oder was passiert bei einer starken Nachverdichtung (viel Bebauung und Versiegelung, wenig Grün).
- Lennéplatz
    - Eine eher kleine Brachfläche wird zum Wohngebiet. Auch hier wurden die Strukturdaten anhand des Bebauungsplans verändert.

Anhand der verschiedenen Beispiele, welche für die Simulation ausgewählt wurden, sollte getestet werden, wie groß ein Gebiet sein muss und wie stark es im Vergleich zu der Ausgangssituation verändert werden muss, so dass die KI merkliche Unterschiede in der Temperaturentwicklung darstellen/erkennen/berechnen kann.

Am IÖR befindet sich das IÖR-Forschungsdatenzentrum (IÖR-FDZ) derzeit im Aufbau. Die in KLIPS gesammelten/erarbeiteten (Sensor-) Daten werden hier Langzeit gespeichert um sie auch künftig für Forschungszwecke nach den FAIR-Prinzipien bereitstellen zu können …

AP3: Messnetzaufbau

Die Standortplanung der Sensoren wurde vom IÖR koordiniert und in intensiver Zusammenarbeit mit den Anwendungspartnern LH Dresden und Stadt Langenfeld erarbeitet (16.08.22 Langenfeld, 30.11.22 und 01.12.22 in Dresden). Zur Identifizierung geeigneter Sensorstandorte wurden Anwendungsszenarien aus der kommunalen Praxis abgefragt. Zunächst wurden für die bedarfsorientierte Erhebung Fokusräume festgelegt, welche wiederum in Punktdarstellungen überführt wurden. Der Hauptteil der Sensoren wird in Dresden an der öffentlichen Beleuchtung angebracht. Weitere Standorte sind Schulen, Sportanlagen und Verkehrsschwerpunkte/Verkehrsknotenpunkte. Die Kontaktaufnahme zu den verschiedenen städtischen sowie privaten Eigentümern erfolgte durch das IÖR-Team.

Ab April 2023 wurde das Sensornetzwerk in beiden Städten ausgerollt. Aufgrund langwieriger Genehmigungsverfahren (der Sensorstandorte an Lichtmasten) in Dresden musste eine fortlaufende Aktualisierung und Neubeantragung der Standorte parallel zum Roll-out stattfinden.

2.7. Landeshauptstadt Dresden (LHD)

2.7.1. Zielstellung und Idee im Projekt für die LHD

Die Landeshauptstadt Dresden als Pilotstadt und Projektpartner verfolgt das übergeordnete Ziel, die Lebensqualität in Dresden zu verbessern. Den Weg dorthin ermöglicht die Entwicklung zu einer Smart City, welche in der Lage ist, u. a. Umweltereignisse strukturiert zu erfassen, zu bewerten, für Bürger transparent zu machen und in Handlungsaufgaben umzusetzen. Umweltinformationen bieten die Möglichkeit, in Form von (digitalen) Karten und Daten, komplexe und vielfältige Sachverhalte aufzubereiten und zu verstehen.

KLIPS bietet die Möglichkeit diese Ziele zu verfolgen. Deshalb ergeben sich die zwei folgenden projektspezifischen Ziele:

Ziel 1: Aufbau des Sensornetzwerks im Dresden Stadtgebiet. Die gesammelten Daten werden im städtischen Kontext genutzt und den Projektpartnern zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt. Damit können die Ergebnisse des Projektvorhabens mit dem Smart-City-Programm der LH Dresden dem EU-Fördervorhaben MAtchUP kombiniert werden.

Ziel 2: Evaluierung des Sensornetzwerks; Entwicklung einer Verstetigungsstrategie. Zur Verstetigung des Sensornetzwerkes, für den weiterführenden Betrieb und die Nutzung der Daten im Anschluss an das Projekt, wird das Sensornetzwerk evaluiert und eine Verstetigungsstrategie erarbeitet.

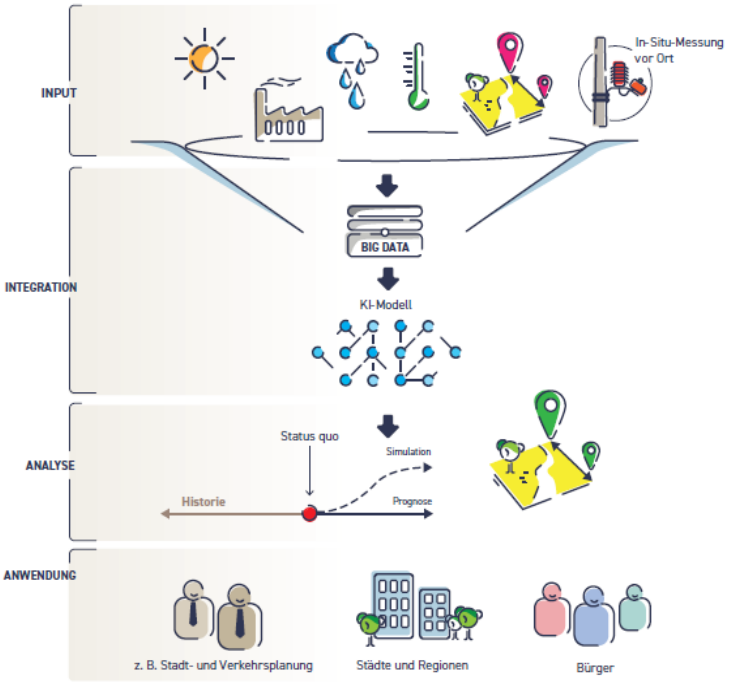

Abb. 9: Übersicht KLIPS Projekt der LH Dresden

Abbildung: Systemüberblick KLIPS, wie er für die LHD als relevant für eine Beteiligung eingeschätzt wurde

Das Vorhaben KLIPS ließ sich für die LHD sehr gut mit parallelen Aktivitäten zum Aufbau einer Urbanen Datenplattform verbinden. Diese waren in das Projekt MAtchUP eingebettet, welches durch Fördermittel aus dem Europäischen Forschungsrahmenprogramm Horizon2020 flankiert, die Entwicklung zur Smart City befördern.

Mit der Einbindung von Partner, mit denen die LHD in der Vergangenheit gute Erfahrungen gemacht hatte, wie dem IÖR und der SAG sowie ERGO und PIKOBYTES, erschien der Einstieg trotz des späten Zeitpunktes im Projekt sinnvoll.

2.7.2. Arbeitspakete und Generelle Einbindung in das Projekt

Die Planung des Vorhabens fand in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern statt. Die Zusammenarbeit wurde dabei von der Konsortialführerin, der Software AG, koordiniert. Durch den nachträglichen Einstieg Dresden wurde das Design des Vorhabens nicht grundsätzlich hinterfragt. Die LHD stimmte sich vor allem intensiv mit dem IÖR als Schnittstelle der Technischen zu den Anwendungspartnern ab. Dem IÖR nahm damit eine sehr zentrale Funktion in der Planung ein.

Die LHD war für folgende Arbeitspakete eingeplant:

- AP0 Projektmanagement & Dissemination
- AP1 Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur
- AP2 Datenakquise & Datenintegration & Datenbereitstellung
- AP3 Konzeption, Entwicklung, Roll-out und Betrieb der Sensornetzwerke
- AP6 Konzeption & Entwicklung der KLIPS-Dienste
- AP7 Pilotierung, Optimierung & Evaluierung

Die Zusammenarbeit im Projekt konzentrierte sich zum einen auf die Teilnahme an den von der SAG organisierten Meetings sowie auf die Abstimmung mit dem IÖR für die Anwendungsworkshops. Das IÖR spielt als Schnittstelle zum Projektteam eine wichtige Rolle, da seitens LHD nicht die Entwicklung des KLIPS-Systems sondern deren Nutzung im Mittelpunkt standen.

Mit weiteren technischen Partnern ergab sich mit Hinblick auf Rückfragen zu den Praktischen Anwendungsfällen Anknüpfungspunkte.

Aus der Anforderungsanalyse heraus wurde eine Differenzierung von Praktischen Anwendungsfälle (PAF) und Technischen Anwendungsfälle (TAF) herausgearbeitet. Die LHD konzentrierte sich auf Grund ihrer Rolle im Projekt auf die PAF.

Für die Anwendungsentwicklung wurden Kontakte zu zahlreichen Stellen wahrgenommen, um einerseits über das Projekt zu informieren sowie mögliche Kollaborationen mit weiteren Interessenten in der Region vorzubereiten. Es gab damit Anknüpfungspunkte zu Interessenten im Rahmen von Smart City Austauschen und zu interessierten lokalen Stellen von z.B. Verkehrsbetrieben und Einrichtungen des Freistaates Sachsen.

Die Bewertung der Ergebnisse ist teils aus dem beratenden Abschlussbericht von Queck, Mauer 2024 von der Meteorologie der TU Dresden übernommen und aber wird auf Grund der Erfahrungen im Projekt eigenständig reflektiert. Details sind im Schlussbericht des Teilvorhabens der LHD nachlesbar.

2.7.3. Einbindung in Arbeitspakete

Im Folgenden werden die Arbeitspakete einzeln stichpunktartig abgehandelt und relevante Punkte überblicksartig aufgeführt.

AP0 Projektmanagement & Dissemination

- Teilnahme an den Status- und Konsortialtreffen. Vorbereitung und Durchführung von speziellen Anwender-Workshops. Dies war u. a. am 17.6.2022 ein Workshop zur Anforderungsanalyse, ein Statustreffen am 6.7.2022 in Dresden sowie ein Anwender-Workshop am 26.1.2024 in Dresden. Weitere Online-Termine zur Bewertung des Systems wurden organisiert und moderiert.

Abb. 10: Workshop im Juni 22 in Dresden im Festsaal des „Landhauses“ der LHD

- Es wurde intensiv Öffentlichkeitsarbeit betrieben durch Pressemitteilung, Website-Pflege, Interviews und Präsentationen.

Abb. 11: Infotafeln, welche die Bevölkerung zusätzlich zum Vorhaben informierten und per QR-Code den Zugriff auf Messwerte ermöglichte

AP1 Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur

- An der Entwicklung eines Anforderungskatalogs wurde sich beteiligt. Auf Grund der eigenen Rolle als Anwendungspartner wurde die Differenzierung zwischen Praktischen sowie Technischen Anwendungsfällen (PAFs und TAFs) eingebracht. Der Katalog liegt in Form eines Dokuments vor.

- Als Grundlage für die PAFs wurde ein Steckbrief entwickelt, der bei der Bewertung und Untersetzung der einzelnen Überlegungen Hilfestellung leistete:

Arbeitsversion Steckbrief Anwendungsfall, Stand 02.02.2023 KLIPS

Lokalklimatische Hitze-Wirkung des urbanen Hitzeinseleffekts (Temperaturdifferenz) in der Stadt bestimmen (Raster 10m*10m). (für Verwaltung)	Kategorisierung im Projekt: L1 **Lokalisierung**/ Vergleichen (räumlich)
	Umsetzungspartner: IÖR
Kurzbeschreibung Anwendungsfall	Kommunale Anwendungspartner*In Stadtplanung, Stadterneuerung, Umweltamt Ggf. nicht-kommunal:
Kartendarstellung der Wärmeverteilung in der Stadt sowie der Messpunkten, an denen man sich den Tagesgang verschiedener Stationen parallel anschauen/übereinanderlegen kann. Die Dokumentation zur Auswertung ist transparent, wissenschaftlich. Dies ermöglicht: Vergleichende Messungen öffentlicher Räume, mit unterschiedlichen baulichen und grünordnerischen Strukturen, um lokalklimatische Besonderheiten zu lokalisieren und zu verstehen. Vergleichende Messungen, um gute und weniger gute Beispiele für hitzeangepasste Räume je nach Nutzung zu lokalisieren und zu verstehen.	Anwendungspartner*In Dresden Umweltamt, Stadtökologie (Franziska Reinfried); Stadtentwicklung (Uta Merkle insb. hinsichtlich Relevanz für Projekte Monitoring Grünausstattung und Dichtemodell)
Problemstellung / Mehrwert	
Urbane Wärmeinseln sind komplex und werden durch räumliche Faktoren wie Bebauungsdichte, Versiegelung, Grünanteil, Verschattung, etc. bestimmt. Für Stadtplanende ist es dementsprechend essentiell, den urbanen Wärmeinseleffekt in Bezug auf unterschiedliche Stadtstrukturtypen räumlich zu verstehen. Ein Instrument mit demdie Auswirkung unterschiedlicher Stadtstrukturtypen auf die Entstehung urbaner Wärmeinseln vergleichend dargestellt werden kann, ist ein großer Mehrwert für den Planungsprozess. Die Stadtstruktur reagiert zu unterschiedlichen Tageszeiten anders auf Hitze. Während in Wohngebieten eher die nächtliche Belastung eine Rolle spielt (natürlich nicht nur!), hat am Arbeitsplatz die Hitzebelastung am Tage eine höhere Priorität. Während eine enge Bebauung am Tag für Verschattung sorgen kann, verhindert sie in der Nacht eine Abkühlung. Während offene und insbesondere versiegele Flächen am Tag stark aufheitzen, erlauben Sie in der Nacht, dass Kaltluft in die Stadt fließen kann. Durch KLIPS können unterschiedliche Räume zu unterschiedlichen Tageszeiten verglichen werden (Für die Stadt Dresden gibt es beispielsweise nur eine Karte, die den urbanen Wärmeinseleffekt am Abend in der Nacht abbildet) Um zu verstehen, wie unterschiedliche Stadtstrukturen thermisch reagieren, bringt die Bemessung des Tagesverlaufs und die Vergleichsmöglichkeit zwischen den unterschiedlich beschaffenen Standorten einen großen Mehrwert und Argumentationshilfe für Planungsprozesse.	
Umsetzung des Anwendungsfalles in TemperaturSensorik (KLIPS)	
1) UHI - Lufttemperaturdifferenz - statisch: Dokumentation und Auswertung von Messungen sowie Darstellung der berechneten Wärmeverteilung in der Stadt für ein 10m*10m-Raster. 1.1 Basis und ggf. Input für Evaluation der Klimafunktionskarte 1.2 Aggregation auf Stadtstrukturtypen (verwaltungsintern klären) Untersuchung des	

Abb. 12: Beispielhaft ein Steckbrief für die Entwicklung von Praktischen Anwendungsfällen

AP2 Datenakquise & Datenintegration & Datenbereitstellung

Zur Realisierung der KLIPS-Dienste wurde mit dem IÖR eine Sichtung der in Frage kommenden Datenquellen vorgenommen. Für das Vorhaben relevante Datenquellen wurden ermittelt. Folgende Strukturdaten der LHD wurden u. a. bereitgestellt:

- Flächennutzung
- LOD2-Karten zur Dachart (auf Basis der GDI der LHD)
- DGM (Höhenmodell, in m)
- Gebäudehöhe (auf Basis der GDI der LHD)
- Grünvolumenzahl (auf Basis der GDI der LHD u. a.)
- Gründächer (auf Basis der GDI der LHD)

AP3 Konzeption, Entwicklung, Roll-out und Betrieb der Sensornetzwerke

- Die LHD beteiligte sich an der Konzeption und Beratung bei der Standortwahl für die Sensorstandorte. Außerdem wurde die Implementation des Sensornetzes mit ERGO/PIKO-BYTES geklärt und in der Verwaltung abgestimmt.

AP6 Konzeption & Entwicklung der KLIPS-Dienste

- Bei der Konzeption & Entwicklung der KLIPS-Dienste wurde durch Beteiligung der Geodatenexperten der LHD die Einbindung der Dienste kontinuierlich die technische Lösung bewertet und wurde zu den übermittelten Inhalten Rückmeldung gegeben und Anpassungsvorschläge gemacht.

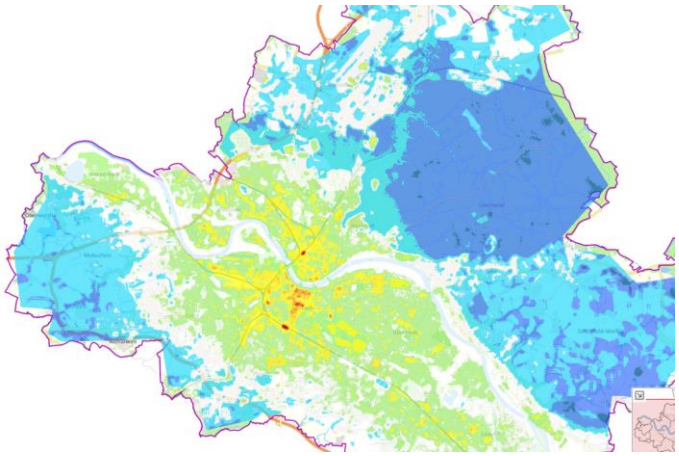

Abb. 13: Darstellung im WebGIS der LHD des WMS-Dienstes zum UHI

AP7 Pilotierung, Optimierung & Evaluierung

- Die Pilotierung in Dresden erfolgte ab Frühjahr 2023. Die formalen Stolpersteine, die bei einer Umsetzung im Weg standen, wurden beseitigt. Schließlich wurde die TU Dresden gebeten, eine formale Bewertung vorzunehmen, um einen Rahmen für die Evaluierung zu erhalten. Die Ergebnisse werden unter „Bewertung der Ergebnisse zusammengefasst.
- Im Rahmen der Pilotierung wurden mehrere Anwendungen in der LHD entwickelt, die es erlauben sollen bei Vorlage zuverlässiger Daten Informationen an die Bevölkerung weiterzugeben.
- Für eine Darstellung der Bewertung der Ergebnisse aus Sicht LHD sei der Schlussbericht des Teilvorhabens der LHD empfohlen

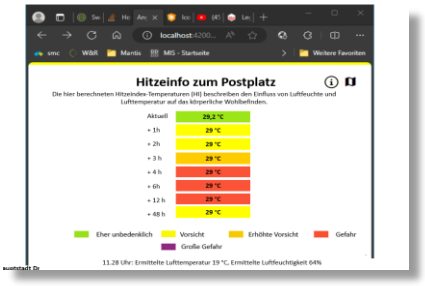

Abb. 14: Hitzeinformation zur Betroffenheit an Standorten im Stadtgebiet

2.7.4. Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Begleitforschungen zum Projekt haben die Expertise auf dem Gebiet erhöht und bildet die Grundlage für weiterführende Forschungsanträge. Insbesondere die Möglichkeiten, die aus der Kombination des Sensornetzwerks mit der KLIPS Plattform entstanden sind, sind sehr vielversprechend.

In Bezug auf die meteorologischen Messungen liefert die Informationsplattform von KLIPS Informationen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte in bisher nicht vorhandener Auflösung. Das Messnetz von

KLIPS zeichnet sich durch einen konsistenten Aufbau und eine innovative Strahlungskorrektur aus. Der Aufbau und die Funktionalität entsprechen dem bekannten Stand der Technik.

Aus diesem Grund wird ein Weiterbetrieb des Messnetzes angestrebt, um die Planungsgrundlagen für die Stadtverwaltung zu verbessern. Die im Projektantrag aufgeführte Übernahme der Sensor-Netze in den kommunalen Betrieb ist zu klären. Ob dies durch den symbolischen Betrag von einem Euro von der LHD übernommen wird oder ein Wartungsvertrag abgeschlossen wird, ist in Klärung.

Dazu wird ein Angebot im KLIPS-Konsortium abgefragt. Für eine Weiterentwicklung sind weitere Messwerte relevant sowie die Evaluierung und Anpassung entsprechend der Anwendungsfälle und Einbindung in die weitere Arbeit der planerischen Aufgabenstellungen der Stadtverwaltung.

Die durch das Informationssystem bereitgestellten Daten lassen unter Berücksichtigung der oben genannten Bedingungen vielfältige Anwendungen zu. Im Rahmen des Projektes wurden die folgenden Praktischen Anwendungsfälle herausgearbeitet:

L1	Lokalklimatische Hitze-Wirkung des urbanen Hitzeinseleffekts (Temperaturdifferenz) in der Stadt bestimmen (Raster 10m*10m). (für Verwaltung)
L3	Quartiers- und Standortspezifische Hitzeinformation (Kommunikation, Öffentlichkeitsarbeit)
L7	Über Langzeitmessungen die Lufttemperatur vor und nach (Um)baumaßnahmen vergleichen
P1	Hitzewarnung auf Quartiersebene
S2	Simulation von Anpassungsmaßnahmen und Nachverdichtungsvorhaben im Bestand als schnelle Voruntersuchung
S3	Simulation von Neubauvorhaben im unbebauten Raum Scopingcharakter!
M1	Unterschied / Vergleich zu bestehenden Produkten/Methoden transparent machen, ggf. Evaluation

Abb. 15: Praktische Anwendungsfälle, die in der Verwaltung erarbeitet wurden

Des Messnetz von KLIPS entspricht dem Stand der Technik. Bei der Verwendung der Daten sollte jedoch die systematische Beeinflussung durch die Aufbaubedin-gungen beachtet werden, insbesondere die Messhöhe und die Notwendigkeit der Montage an Sonnenstandorten. Da die Einflüsse systematischer Natur sind, können sie durch das DNN nicht erkannt und berücksichtigt werden. Eine Ergänzung durch physikalisch begründete Modellansätze könnte zumindest den Einfluss der Messhöhe korrigieren.

Voraussetzung für die Nutzung der DNN Ergebnisse ist eine unabhängige Evaluierung des Systems. Dies kann u. a. durch eine physikalisch begründete Simulation erfolgen.

Bei planerischen Maßnahmen sollte das Informationssystem nur Hinweischarakter haben, da komplexe räumliche Wechselwirkungen und der Einfluss von Wind und Strahlung nicht berücksichtigt werden. Generell können mit statistischen Modellen bisher unbekannte Konstellationen nur unzureichend abgebildet werden.

Es bestehen also noch offene Aufgaben, die es zu adressieren gilt. Generell ist das KLIPS Informationssystem ein wertvoller Schritt hin zu Werkzeugen, mit denen die Lebensbedingungen in Städten aktuellen und in Zukunft verbessert werden können.

2.7.5. Quellen

Queck R, Mauder M (2024) Abschlussbericht für die Landeshauptstadt Dresden - Vorhaben-bezeichnung: Bewertung der Informationsplattform KLIPS nach mikroklimatischen Aspekten und Analyse von Anwendungsmöglichkeiten. GWT TUD mbH, Vorhabennummer 15799.

2.8. Stadt Langenfeld, NRW (LAN)

2.8.1. Ausgangssituation und Rolle der Stadt Langenfeld

Seit Anfang 2021 ist die Stadt Langenfeld als Pilotkommune Teil des Forschungsprojektes: KI-basierte Informationsplattform für die Lokalisierung und Simulation von Hitzeinseln für eine innovative Stadt- und Verkehrsplanung.

Die Projektanfrage des IÖR wurde zu Projektbeginn innerhalb des gesamten Hauses, bis hin zur Stadtspitze, positiv aufgenommen und als Chance gesehen, einen weiteren, wichtigen Beitrag im Bereich der Klimafolgenanpassung zu leisten und gleichzeitig die Forschung zu Hitzeinseleffekten in Städten zu unterstützen.

Die wesentlichen Beiträge der Stadt Langenfeld als Pilotkommune bestanden darin, die Sicht und die Bedarfe einer Mittelstadt in das Projekt mit einzubringen sowie mit dem Stadtgebiet einen Forschungsraum zur Verfügung zu stellen.

Das KLIPS-Projekt knüpfte in Langenfeld zum einen an bestehende Planungen, Konzepte und Analysen an und bot zum anderen die Chance, erste Erkenntnisse in die Entwicklung anderer Strategien einfließen zu lassen.

Durch die erstklassige Kommunikation und die methodische Strukturiertheit des Forschungskonsortiums fand ein intensiver Austausch zwischen der Stadtverwaltung Langenfeld und dem KLIPS-Projekt statt. Von diesem Austausch profitierten beide Seiten in hohem Maße.

Die Bedarfe einer Mittelstadt konnten maßgeblich in das Forschungsprojekt und dessen spätere Ergebnisse einfließen. Die Stadtverwaltung erhielt aussagekräftige Daten und damit einen fundierten und innovativen Blick auf Hitzeinseleffekte. Das Thema und dessen Folgen konnte so während vieler Workshops und anderer Austausche besser veranschaulicht, diskutiert und manifestiert werden

2.8.2. Sensornetzwerk in Langenfeld

Auch bei der Installation von 80 der entwickelten Sensoren auf dem Gebiet der Stadt Langenfeld und dem späteren Messnetzbetrieb, gab es einen engen Dialog zwischen den Projektpartnern in Dresden und der Stadt Langenfeld. Gerade an dieser Stelle wurde deutlich, wie wichtig die Perspektiven verschiedener Städte sind. Die Landeshauptstadt Dresden als weitere Praxispartnerin hatte hier ganz andere Anforderungen als die Mittelstadt Langenfeld und dennoch konnte an vielen Stellen voneinander gelernt werden.

2.8.3. Mitwirken bei den Arbeitspaketen des Projektes

Unter der Koordination der Konsortialführung (Software AG) wurde das KLIPS-Projekt in enger Zusammenarbeit mit allen Projektpartner/-innen ausgeführt.

In der Bearbeitung war die Stadt Langenfeld auch in den folgenden Arbeitspaketen beteiligt:

- AP1 Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur
- AP2 Datenakquise & Datenintegration & Datenbereitstellung
- AP3 Konzeption, Entwicklung, Roll-out und Betrieb der Sensornetzwerke
- AP6 Konzeption & Entwicklung der KLIPS-Dienste

- AP7 Pilotierung, Optimierung & Evaluierung

Auf Grundlage der Anforderungsanalyse wurde eine Differenzierung von Praktischen Anwendungsfällen (PAF) und Technischen Anwendungsfälle (TAF) herausgearbeitet. Die Stadt Langenfeld konzentrierte sich, wie die Stadt Dresden, auf Grund ihrer Rolle im Projekt, auf die PAF.

2.8.4. Ergebnisse und Verwertbarkeit

Für die Darstellung der Projektergebnisse konnte die Stadt Langenfeld ebenfalls wichtige Hinweise geben. Hierbei war der Focus vor allem darauf gerichtet, die Ergebnisse für eine klimaresiliente Stadtentwicklung lesbar und verwertbar zu machen.

Zusätzlich hatte die Stadt Langenfeld einen Abgleich zwischen bestehenden, linearen Analysemodellen, wie der Stadtklimaanalyse und den Ergebnissen des KLIPS-Projektes.

Auch nach Abschluss des KLIPS-Projektes strebt die Stadt Langenfeld die Teilnahme an einem Folgeprojekt und die Weiternutzung des etablierten Sensornetzwerks sowie der KI-gestützten Analyse an.

2.9. Software AG (SAG)

2.9.1. Ziele und Aufgaben des Teilvorhabens

Die Software AG übernahm neben der Konsortialführung, der Organisation und Durchführung der Dissemination sowie der Bereitstellung der Projektinfrastruktur auch den Aufbau der KLIPS-Plattform im Rahmen des Forschungsprojekts. Dies umfasste die Konzeption und Entwicklung der Plattform sowie die Veröffentlichung von Schnittstellen der KLIPS-Dienste. Als zentrale Plattform dient die KLIPS-Plattform zur Erfassung aller relevanten Daten, die – sofern für Dritte geeignet – über mobilithek.info als Open Data zur Verfügung gestellt werden. Die Plattform integriert zudem die im Projekt entwickelten KI-Algorithmen des Fraunhofer Heinrich Hertz Instituts, bindet die zentrale Geodateninfrastruktur an und visualisiert die KLIPS-Daten zentral in Form eines öffentlich zugänglichen Demonstrators. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Performanz, Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit der Plattform gelegt. Zusätzlich verantwortete die Software AG die Umsetzung, Optimierung und Evaluierung des Demonstrators im gesamten Verlauf des Projekts.

Für die Umsetzung, Optimierung und Evaluierung des Demonstrators wurden die von den Partnern entwickelten Komponenten zur Gesamtlösung zusammengeführt und iterativ evaluiert bzw. optimiert, unter Beteiligung des gesamten Konsortiums.

Von der Software AG wurde zusätzlich eine „Kühle Wege“ App (für Android und IOS) entwickelt, die Funktionalitäten basierend auf den KLIPS-Diensten prototypisch anbietet.

Die Organisation und Konsortialführung, sowie die Organisation und Durchführung der Dissemination und Öffentlichkeits-Arbeit wird an anderen Stellen in diesem Dokument schon ausführlich beschrieben. Darum konzentriert sich dieses Software AG spezifische Kapitel auf den Demonstrator und die „Kühle Wege“ App.

2.9.2. TAF-Dokumente

Im Rahmen der Anforderungsanalyse wurden zu den gefundenen praktischen Anwendungsfällen (PAFs, siehe Teilbericht IÖR) entsprechende Technische Anwendungsfälle erstellt, am Konsortialtreffen eingehend mit den technischen Partnern diskutiert und verabschiedet. Dieser Technischen Anwendungsfälle oder „TAFs“ bildeten dann die Grundlage für die Implementierung der KLIPS Plattform.

2.9.3. Der KLIPS Demonstrator

Die Aktivitäten der Software AG und der anderen Partner im AP4 und AP6 resultierten letztendlich im KLIPS Demonstrator, einer webbasierten Anwendung, die entsprechend der Gesamtvorhabenbeschreibung zum Meilenstein 5 teilweise und zum Meilenstein 6 dann vollständig im Internet zur Verfügung stand. Dementsprechend wurde der Demonstrator auf der Abschlussveranstaltung am 15. März 2024 auch den Vertretern des Zuwendungsgeber, den Vertretern des Projektträgers und anderen interessierten Gästen demonstriert.

Der KLIPS Demonstrator besteht aus einem einfachen Menüsystem mit dessen Hilfe die verschiedenen Dashboards, die die verschiedenen KLIPS Projektziele demonstrieren, aufgerufen und bedient werden können.

2.9.4. Aufruf und Login

Durch Eingabe der Internet-Adresse des KLIPS Demonstrators wird der Login Bildschirm der Cumulocity IoT Anwendung der Software AG aufgerufen:

Abb. 16: Der Login Dialog

Nach Eingabe des Benutzernamen und des Passwortes kann das Einstiegsmenü des KLIPS Demonstrators aufgerufen werden.

2.9.5. Das Einstiegsmenü

Abb. 17: Das Einstiegsmenü

Das Einstiegsmenü auf der obersten Bedienebene bietet dem Anwender fünf Möglichkeiten.

Der erste Menü-Punkt **„Aktueller Hitzeindex und Prognose**“ führt zu einem Dashboard, in dem der aktuelle, vergangene und prognostizierte Hitzeindex der Anwendungspartner Stadt Dresden und Stadt Langenfeld angezeigt werden (Projektziel des Forschungsprojekts KLIPS). Zusätzlich sind die KLIPS eingebundenen Sensoren der Anwendungspartner Stadt Dresden und Stadt Langenfeld auswählbar.

Der zweite Menü-Punkt **„Hitzeindex (aggregiert)**“ führt zu einem Dashboard, in dem der aggregierte Hitzeindex für 24 Stunden für die Stadt Dresden und Stadt Langenfeld dargestellt ist.

Der dritte Menü-Punkt **„Hitzeinseleffekt (aggregiert)**“ führt zu einem Dashboard, in dem der aggregierte Hitzeinseleffekt für 24 Stunden für die Stadt Dresden und Stadt Langenfeld dargestellt ist.

Der vierte Menü-Punkt **„Simulationsbeispiele Dresden: Hitzeindex & Hitzeinseleffekt**“ führt zu einem Dashboard, in dem das Projektziel „Simulation“ anhand verschiedener Simulationsbeispiele für Dresden dargestellt wird.

Der fünfte Menü-Punkt **„Sommerbeispiel Dresden: Hitzeindex**“ entspricht der Funktionalität des „Aktueller Hitzeindex und Prognose“ Dashboards, wohingegen die Karten eines typischen Sommertages im August 2023 dargestellt sind.

2.9.6. Aktueller Hitzeindex und Prognose

Die Auswahl des ersten Menüpunktes ruft das „Aktueller Hitzeindex und Prognose“ Dashboard auf:

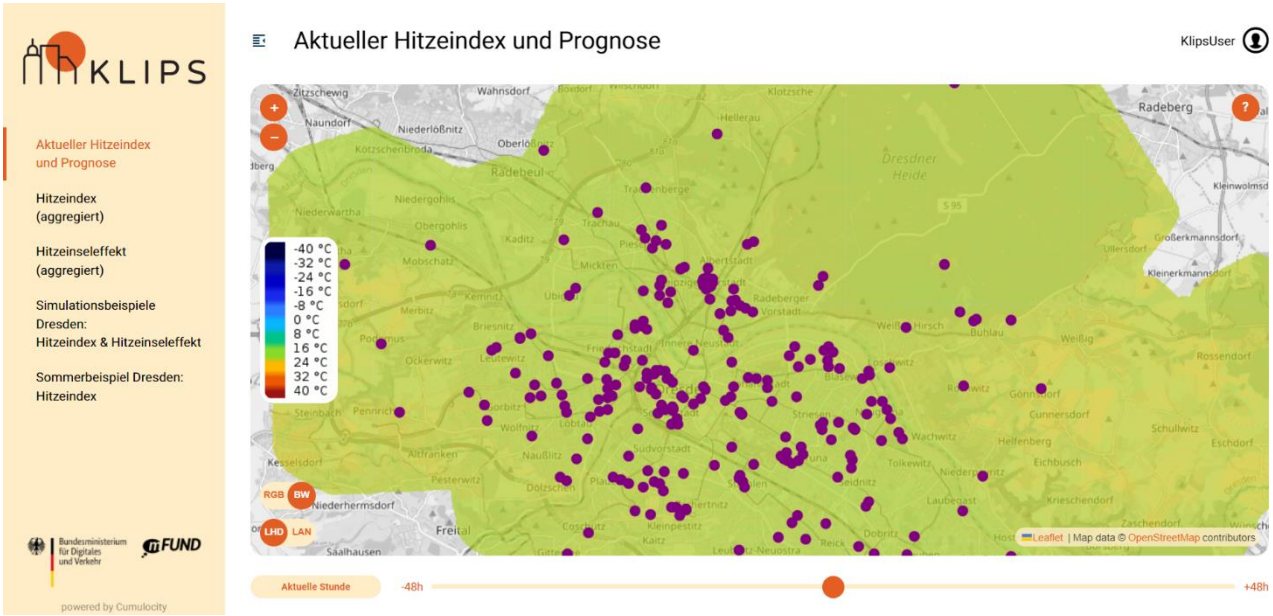

Abb. 18: Aktueller Hitzeindex und Prognose - Dresden

In diesem Dashboard werden aktuelle Hitzeindexwerte anhand einer Karte (Heatmap) für das Stadtgebiet Dresden und Langenfeld dargestellt. Es können weitere 48 vergangene und 48 prognostizierte Karten abgerufen werden.

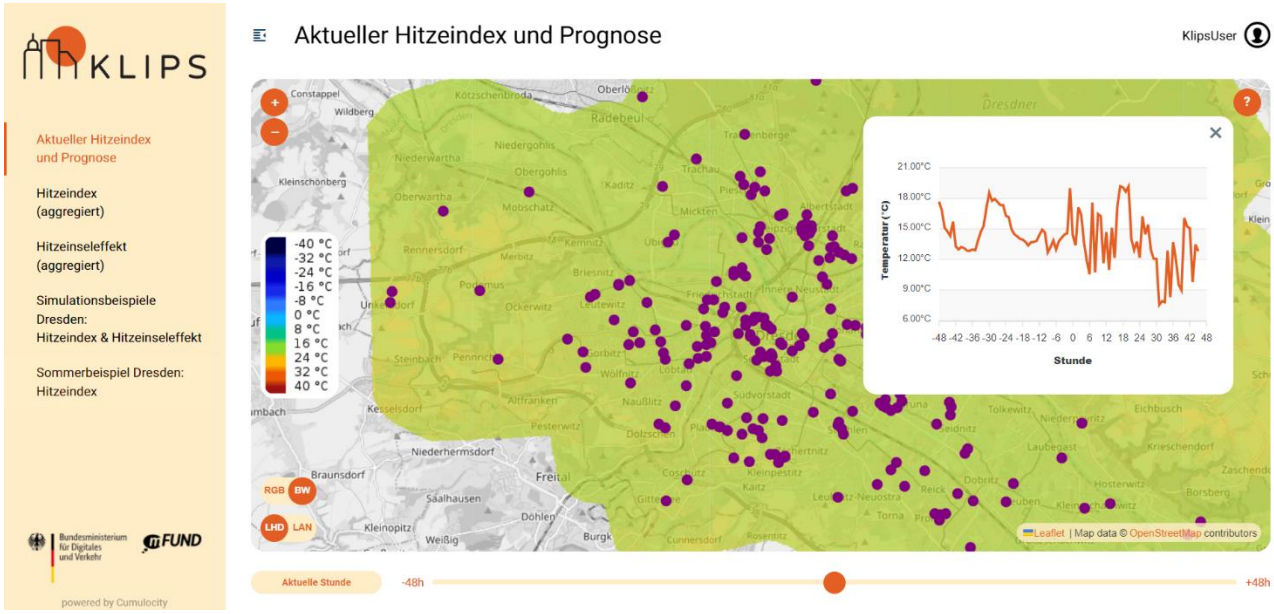

Abb. 19: Aktueller Hitzeindex und Prognose – Temperatur Graphik

Die über 250 Sensoren, die im Rahmen des Projektes aufgebaut wurden, sind in der Karte dargestellt. Zusätzlich kann jeder beliebige Punkt im Stadtgebiet ausgewählt werden, sodass die Hitzeindexwerte abzurufen sind.

Für Langenfeld bieten sich die gleichen Möglichkeiten, aktuelle und prognostizierte Hitzeindexwerte abzurufen.

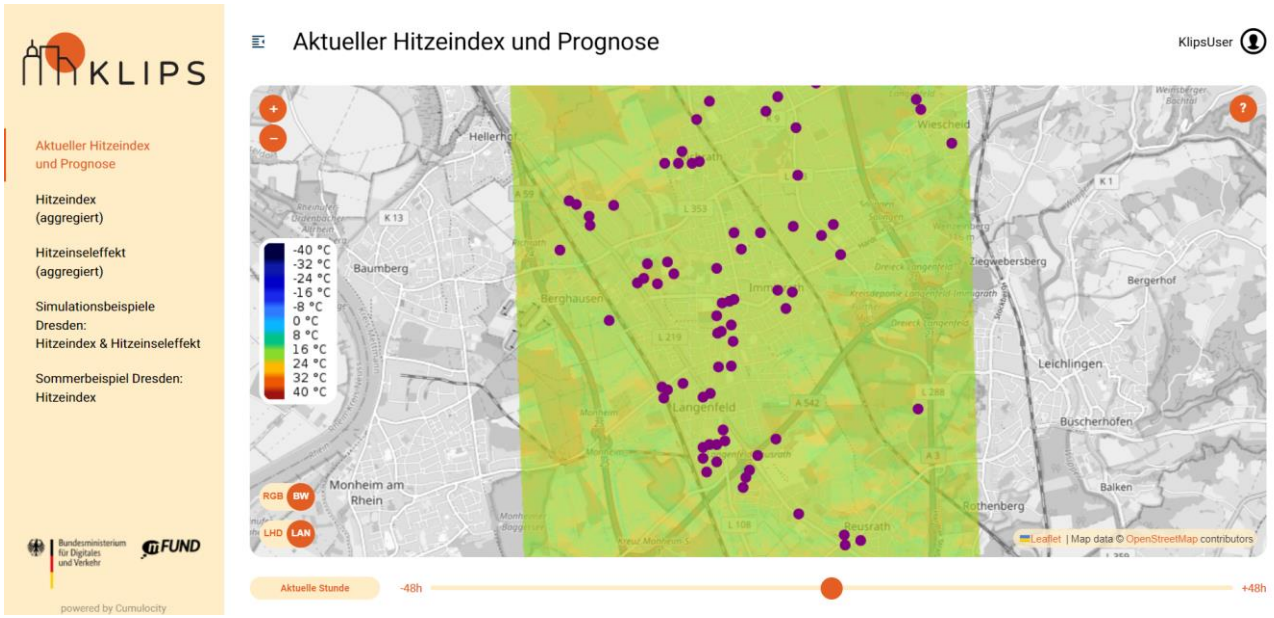

Abb. 20: Aktueller Hitzeindex und Prognose - Langenfeld

Die Karte kann gezoomt und verschoben werden und eine passende Legende ist dargestellt. Eine Hilfe-Seite (jeweils aufrufbar durch Klick auf das Fragezeichen rechts oben) ermöglicht dem Anwender Erklärungen zu dem jeweiligen Dashboard abzurufen.

Der Zeitpunkt der Bildschirmaufnahmen ist der 08.04.2024 um 16 Uhr.

2.9.7. Hitzeindex (aggregiert)

Bei der Auswahl des zweiten Menüpunktes wird das Dashboard „Hitzeindex (aggregiert)“ geöffnet. In der Kartendarstellung wird der Hitzeindex, eine Kombination aus physikalischer Temperatur und Luftfeuchtigkeit, über alle heißen Sommertage bzw. tropischen Sommernächste mit einer Windgeschwindigkeit <= 3ms aggregiert. Die Aggregation erfolgt über die Daten aus der Sommersaison 2023. Für jede Stunde, von 0 bis 23 Uhr, kann der aggregierte Hitzeindex abgerufen werden.

Die Anwendung des Dashboards wird am Beispiel von Dresden gezeigt.

Der Hitzeindex um 07 Uhr morgens zeigt, dass sich das Stadtgebiet schneller aufwärmt als das Umland.

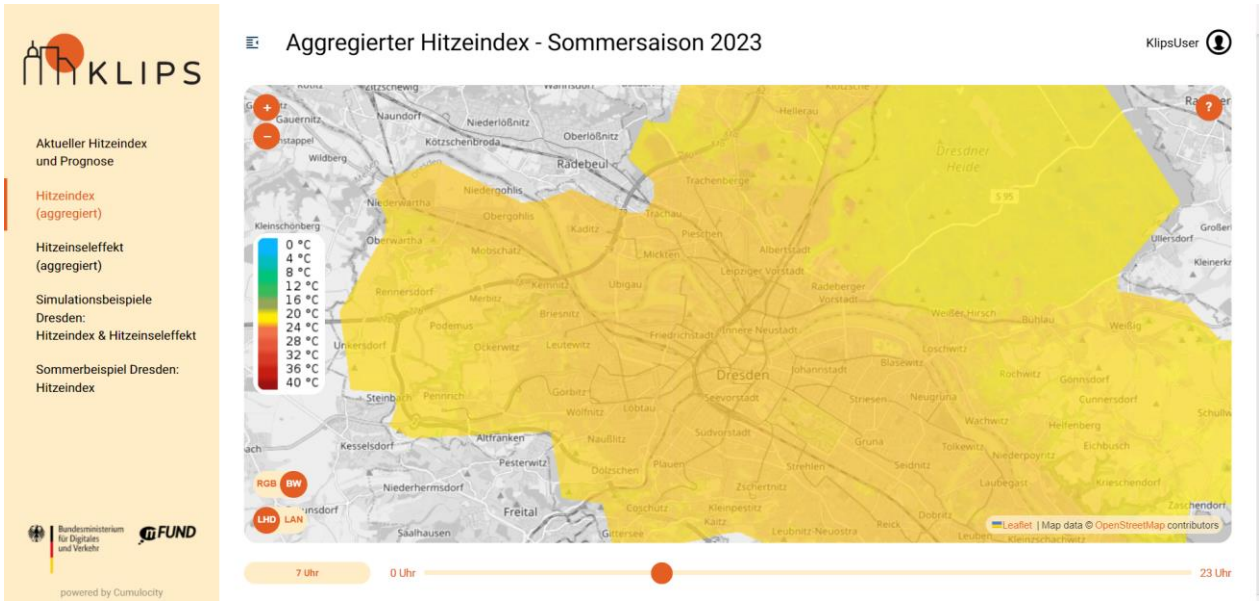

Abb. 21: Hitzeindex (aggregiert) - 7 Uhr

In den Abendstunden, hier um 19 Uhr, wird deutlich, dass sich das Umland schneller abkühlt als die Innenstadt. Die Dresdner Heide und die Elbe sind etwa 4 °C kühler als die Innenstadt.

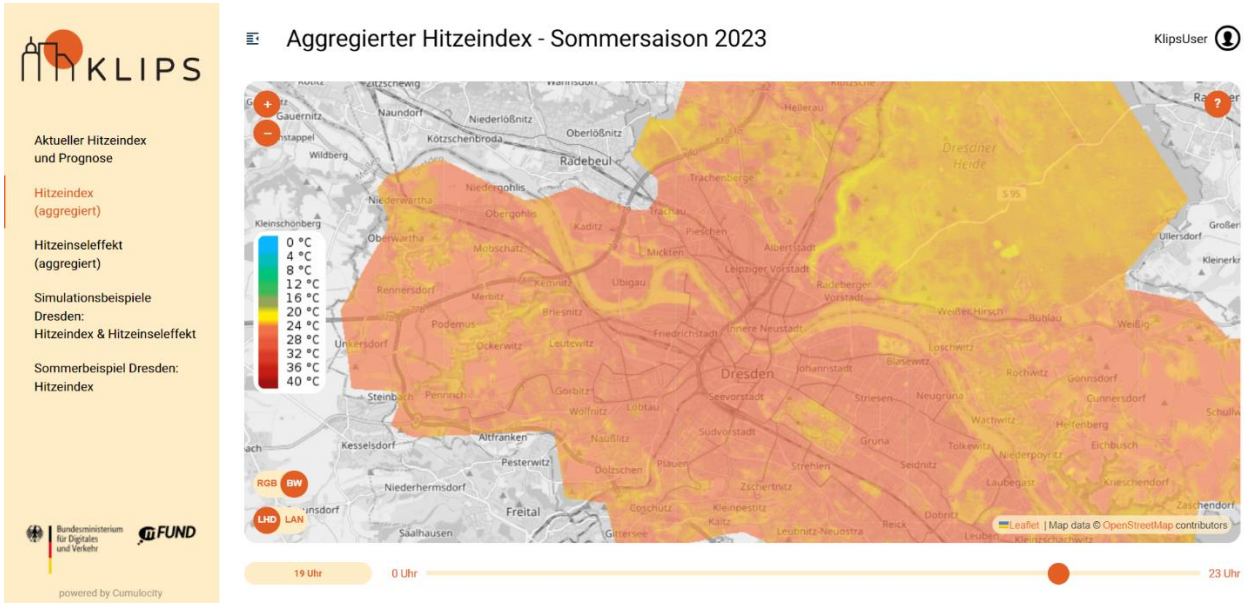

Abb. 22: Hitzeindex (aggregiert) - 19 Uhr

Um 20 Uhr wird das Verhalten noch verstärkt. Die Dresdner Heide ist deutlich kühler als das Stadtgebiet.

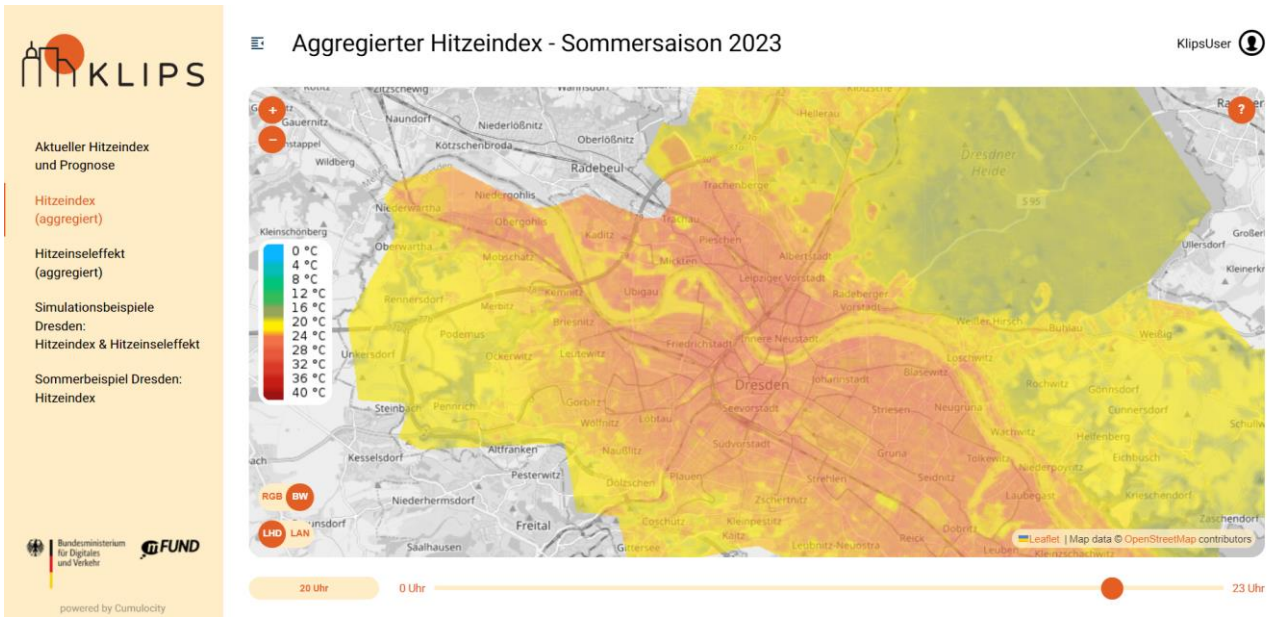

Abb. 23: Hitzeindex (aggregiert) - 20 Uhr

2.9.8. Hitzeinseleffekt (aggregiert)

Der dritte Menüpunkt zeigt das Dashboard „Hitzeindex (aggregiert)“. Der Hitzeindex beschreibt die Temperaturdifferenz zwischen den in der Stadt gemessenen Temperaturen der Sensorstandorte und den Temperaturen von Referenzsensoren im ländlichen Umland. Die Aggregation erfolgt wie beim Hitzeindex.

Die Anwendung des Hitzeindex wird am Beispiel von Dresden gezeigt.

Tagsüber, hier um 15 Uhr, zeigt das Stadtgebiet eine höhere Differenz zu den Referenzsensoren im Gegensatz zu bspw. der Dresdner Heide.

Abb. 24: Hitzeinseleffekt (aggregiert) – 15 Uhr

Am Abend, hier um 19 Uhr, kühlt die Dresdner Heide bereits um drei bis fünf Kelvin mehr ab als Referenzsensoren. Die Innenstadt ist mit etwa fünf Kelvin deutlich wärmer als das ländliche Umland.

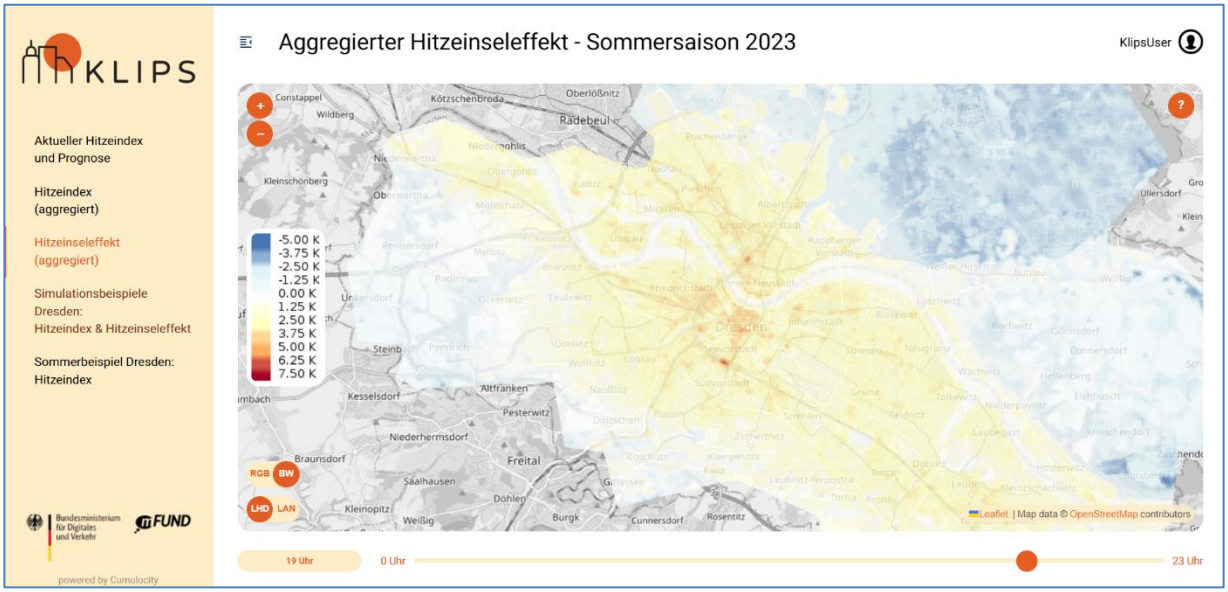

Abb. 25: Hitzeinseleffekt (aggregiert) – 19 Uhr

2.9.9. Simulationsbeispiele Dresden: Hitzeindex & Hitzeinseleffekt

Im Dashboard „Simulationsbeispiele Dresden: Hitzeindex & Hitzeinseleffekt“ werden dem Anwender sechs Simulationsbeispiele aus Dresden angezeigt. Es kann zwischen den Hitzeinseleffekt und dem Hitzeindex gewählt werden.

Am Beispiel des großen Gartens in Dresden kann man deutlich sehen, welche Hilfestellung KLIPS dem Stadtplaner an die Hand geben kann. Das Beispiel simuliert eine vollständige Bebauung des großen Gartens in Dresden.

Eine deutliche Zunahme des Hitzeindexesnach der Bebauung (rechts) im Gegensatz zur aktuellen Parkanlage ohne Bebauung (links) ist zu sehen:

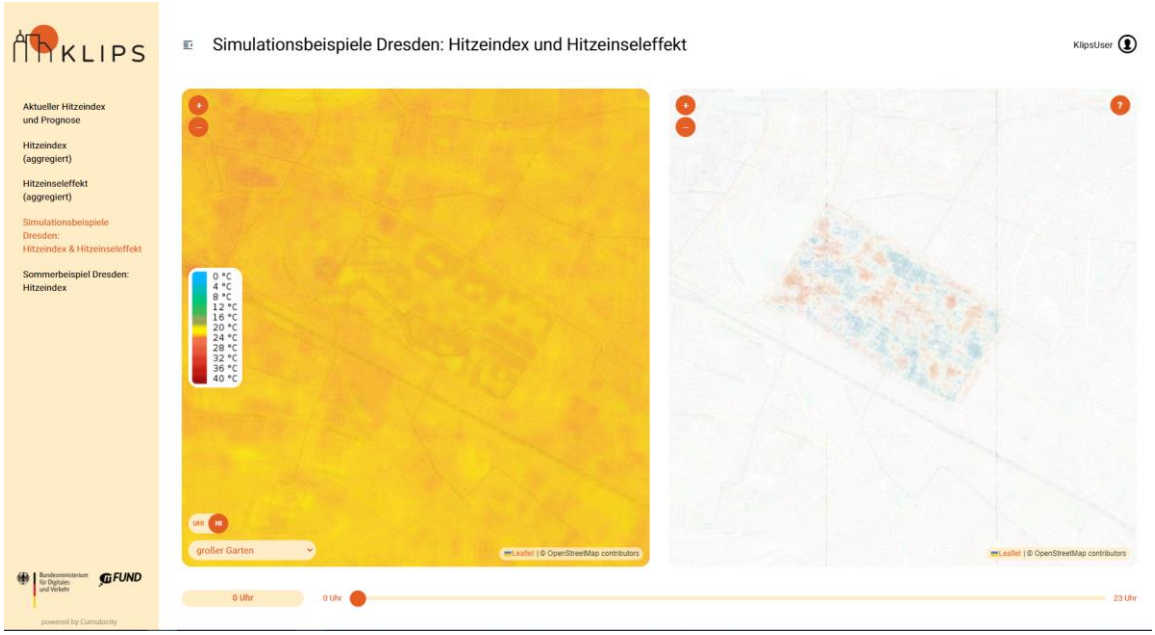

Abb. 26: Simulationsbeispiel Dresden

2.9.10. Sommerbeispiel Dresden: Hitzeindex

Der fünfte Menüpunkt führt zum Dashboard „Sommerbeispiel Dresden: Hitzeindex“. Das Dashboard bietet die gleichen Funktionalitäten wie das erste Dashboard „Aktueller Hitzeindex und Prognose“ jedoch anhand von Sommerdaten vom 09. August 2023 bis 12. August 2023. Dieses Dashboard zeigt auch im Winter bei kühleren Temperaturen wie die KLIPS Dienste genutzt werden können.

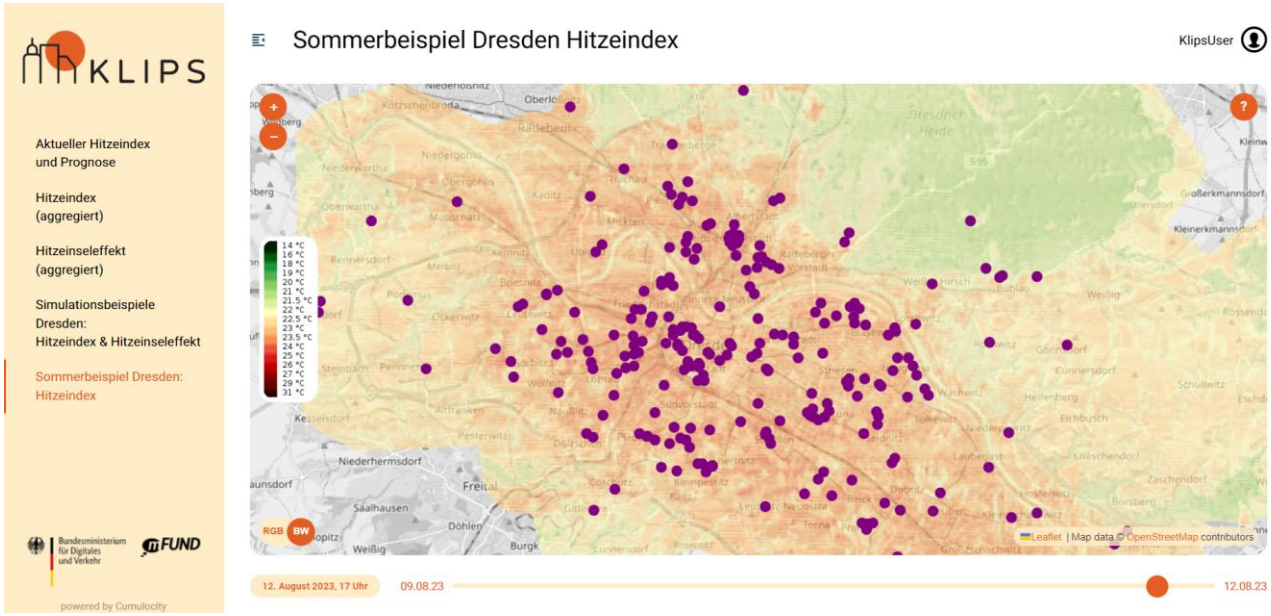

Abb. 27: Sommerbeispiel Dresden: Hitzeindex

2.9.11. Die „Kühle Wege“ App – Eine Fallstudie

Ein Hauptziel des Forschungsprojektes KLIPS war die Bereitstellung der KLIPS-Dienste. Die KLIPS-Dienste sind mehrere standardisierte Geo-Informations-Schnittstellen, verfügbar im Internet, über die Client-Applikationen, wenn sie über die notwendigen Berechtigungen verfügen, alle Ergebnisse der KLIPS-Plattform abrufen können.

Der KLIPS Demonstrator ist eine dieser Applikationen, aber im Rahmen des Projektes haben die Anwendungspartner schon weitere Applikationen und Funktionalitäten entwickelt und ausprobiert, die auf den KLIPS-Diensten beruhen.

Bei der Software AG wurde im Rahmen eine Praxis-Semesters eine App für Smartphones entwickelt, die es dem Benutzer erlaubt innerhalb der Partnerstädte Wege zu finden, ähnlich einem Navigationssystem. Dabei zielt die App, die sowohl für Android als auch für IOS implementiert wurde, insbesondere auf Wege, die zu Fuß, mit Fahrrad oder Rollstuhl zurückgelegt werden sollen. Die Besonderheit ist, dass mit den Informationen, die von den KLIPS-Diensten bereitgestellt werden, die App bei der Ermittlung des Weges durch die Stadt besonders heiße Bereiche vermeiden kann, bzw. die kühleren Bereiche bevorzugen kann.

Beispielsweise sieht man in Abbildung 28, wie ein Weg von der App um die Innenstadt herumgeführt wird.

Abb. 28: Der Weg führt um die wärmere Innenstadt herum

Neben anderen Komfortfunktionen erlaubt die App auch einen Weg für eine spätere Tageszeit herauszusuchen. Der Benutzer kann hierfür eine Startzeit wählen (Abbildung 29).

Abb. 29: Der Benutzer wählt eine andere Startzeit

Die App wird den Benutzer dann den kühlsten Weg für die gewählte Startzeit anzeigen (siehe Abbildung 30).

Abb. 30: Zu der gewählten Zeit ist die Innenstadt mittlerweile abgekühlt

3. Öffentlichkeitsarbeit, Dissemination

Im Forschungsprojekt KLIPS nahm die Öffentlichkeitsarbeit einen breiten Raum ein. Unter der Federführung der Software AG waren alle Partner sehr engagiert, das Projekt in Artikeln, wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Präsentationen auf Konferenzen und diversen Veranstaltungen vorzustellen. Einmal im Monat wurden die Kommunikationsaktivitäten in Statusmeetings abgestimmt und eine entsprechende Liste aktualisiert.

3.1. Corporate Design und Website

Die Software AG entwickelte das KLIPS-Design. Dazu gehören vor allem das Logo und eine Folienvorlage mit Farben und Bildern.

Abb. 31: Folienvorlage mit Logo und prägnanten Farben

Das KLIPS-Design findet sich auch auf der Projektwebsite wieder (www.klips-projekt.de). Sie wurde von der Software AG gehostet, gestaltet und während der gesamten Projektlaufzeit gepflegt. In regelmäßigen Abständen wurden dort Neuigkeiten veröffentlicht.

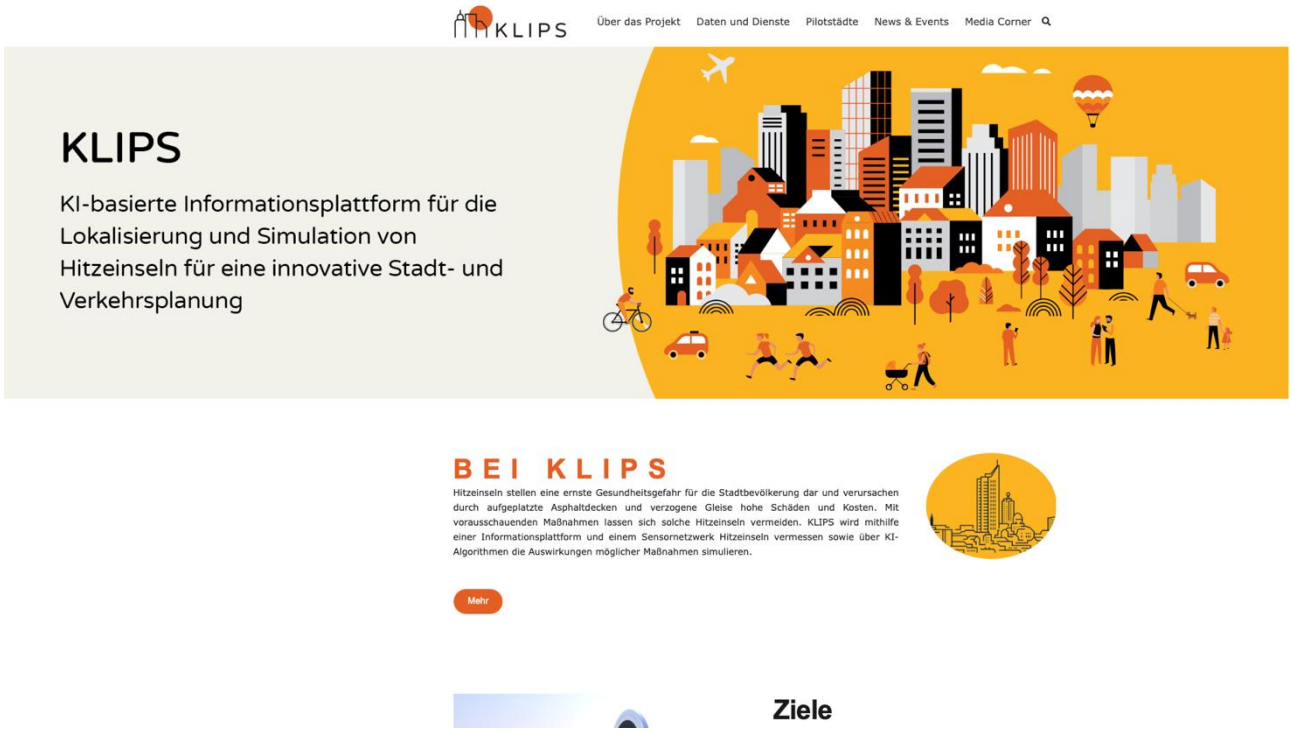

Abb. 32: Startseite der Projektwebsite

3.2. Pressearbeit

Die Software AG hat jeweils zum Projektstart und zum Projektabschluss Pressemitteilungen vorbereitet und mit den Partnern abgestimmt. Die Partner verschickten die Endfassung über ihre jeweiligen Presseverteiler. Zusätzlich hat die Landeshauptstadt Dresden zum Projektstart eine Pressemitteilung veröffentlicht.

Die Pressemitteilungen und Gespräche mit Journalisten führten zu einigen Presseartikeln und Fernsehbeiträgen, so zu. B. in der Süddeutschen Zeitung, in Zeit online, in der Sächsischen Zeitung und im WDR-Beitrag des „Tagesspiegels (s. Liste der Veröffentlichungen im Anhang).

3.3. Social Media

Alle Partner posteten regelmäßig auf LinkedIn über die gesamte Projektlaufzeit. Allein im Jahr 2023 findet man 45 Posts auf LinkedIn.

3.4. Videos

Kurzvideos haben sich im Projekt als erfolgreiche Präsentation von Meilensteinen und Projektereignissen erwiesen. Sie erzielten eine hohe Anzahl von Aufrufen auf LinkedIn. Auch die Website wurde dadurch bereichert. Die folgende Abbildung zeigt die Auflistung der Videos.

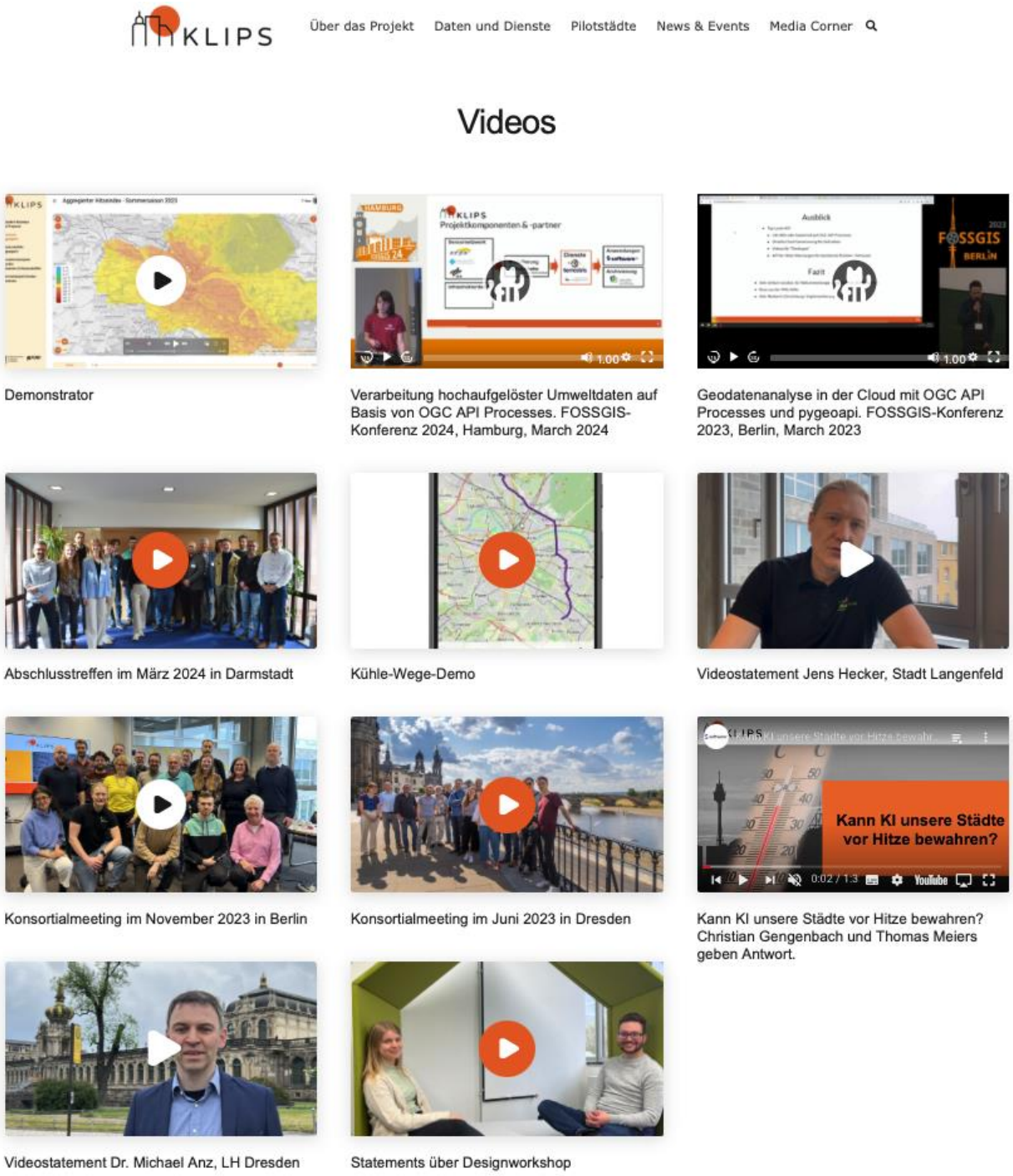

Abb. 33: Liste der Kurzvideos auf der Website

Ein anschauliches Beispiel ist das Video zum Demonstrator, das auf der Woche der Umwelt beim Bundespräsidenten am KLIPS-Stand gezeigt wurde.

3.5. Messen und Konferenzen

Die Partner waren mit KLIPS auf verschiedenen Messen und Konferenzen vertreten. Eine vollständige Liste findet sich im Anhang. Besonders hervorzuheben sind hier der Smart City Expo World Congress in Barcelona, der Deutsche Kongress für Geografie in Frankfurt, das Joint Urban Remote Sensing Event in Heraklion oder die mFUND-Konferenzen in Berlin.

Abb. 34: Die Partner LH Dresden und ERGO/Pikobytes präsentierten KLIPS auf dem Smart City Expo Word Congress in Barcelona

3.6. Vorträge und Veröffentlichungen

Die Partner haben Forschungsergebnisse in Form von Artikeln, Vorträgen, Konferenz- und Buchbeiträgen veröffentlicht. Eine vollständige Liste findet sich im Anhang. Hervorzuheben sei hier der Beitrag im Springer-Buch „Data Governance“, der Konferenzbeitrag Opposing land surface and air temperatures from remote sensing and Citizen Science for quantification of the Urban Heat Island effect (IEEE-CPS Joint Urban Remote Sensing Event) und das Paper “Quantifying urban heat exposure at fine scale - modeling outdoor and indoor temperatures using citizen science and VHR remote sensing” im Journal Urban Climate.

3.7. Berichtswesen

Jedes Jahr wurde von allen Partnern für den Projektträger ein Zwischenbericht erstellt. Weiterhin hat jeder Partner den Projektverlauf und die erzielten Ergebnisse in einem ausführlichen Abschlussbericht beschrieben. Das Projekt als Ganzes und die Projektergebnisse wurden in einem gemeinsamen Abschlussbericht beschrieben und im TIB Hannover veröffentlicht (dieses Dokument).

4. Organisation und Treffen

Für das Projekt wurde ein Zeitplan über 36 Monate, nach Verlängerung dann 42 Monate mit sechs Meilensteinen entworfen, welcher im Wesentlichen eingehalten wurde. Aufgrund der kurzfristigen Absage des ursprünglichen Anwendungspartners Leipzig und der aufwändigen Suche nach einem neuen Partner und der Covid-19 Pandemie wurde die Laufzeit des Vorhabens kostenneutral um sechs Monate verlängert, wodurch dann die ursprünglich geplanten Meilenstein Termine auch verschoben wurden, insgesamt wurden die Projektarbeiten in 9 Arbeitspakete aufgeteilt.

Hier eine kurze Übersicht über Arbeitspakete, Zeitplanung und Meilensteine:

Arbeitspaket	Beschreibung	Leitung
AP 0	Projektmanagement & Dissemination	SAG
AP 1	Anforderungsanalyse und Lösungsarchitektur	IÖR
AP 2	Datenakquise & Datenintegration & Datenbereitstellung	DLR
AP 3	Konzeption, Entwicklung, Roll-out und Betrieb der Sensornetzwerke	Ergo (Piko)
AP 4	Datenanalyse	HHI
AP 5	Prototypische Realisierung der KLIPS-Plattform	SAG
AP 6	Konzeption & Entwicklung der KLIPS-Dienste	ter (meg)
AP 7	Pilotierung, Optimierung & Evaluierung	SAG
AP 8	Datenmanagement & Daten(schutz)recht	HSH

Tab. 7: Arbeitspakete, Beschreibung und Leitung

Arbeitspakete (AP)		2020	2021				2022				2023				2024
		Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1
		1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24	25-27	28-30	31-33	34-36	37-39	40-42
AP 0	Projektmanagement und Dissemination														
AP 1	Anforderungsanalyse & Lösungsarchitektur							M1							
AP 2	Datenakquise & Datenintegration & Datenbereitstellung									M3					
AP 3	Konzeption, Entwicklung, Roll-out und Betrieb der Sensornetzwerke								M2		M4				
AP 4	Datenanalyse														
AP 5	Prototypische Realisierung der KLIPS-Plattform														
AP 6	Konzeption & Entwicklung der KLIPS-Dienste														
AP 7	Pilotierung, Optimierung & Evaluierung											M5			M6
AP 8	Datenmanagement & Daten(schutz)recht														

Tab. 8: Arbeitspakete und Balkendiagramm

MS	Monat	
M1	21	Fertigstellung der Gesamtkonzeption
M2	24	Fertigstellung des Konzepts zum Roll-out der Sensornetzwerke
M3	27	Bereitstellung 1. KLIPS-Daten in mCLOUD, MDM, ggf. CODE-DE
M4	30	Abschluss des Roll-outs des Sensornetzwerks in Dresden
M5	33	Fertigstellung der ersten Pilotierung
M6	42	Fertigstellung der finalen Pilotierung

Tab. 9: Meilensteine

Die Arbeitspakete entsprechen dem mit der Vorhabenbeschreibung des Antrags eingereichten Arbeitsplan. In der nachfolgenden Tabelle sind alle Teilarbeitspakete (Tasks) aufgelistet.

Verteilung der Personenmonate auf Arbeitspakete und Tasks										
AP	Task	Total	DLR	ERGO	HHI	HSH	IÖR	LHD	SAG	ter
		203	31	40	27	15	23	10	34	23
AP 0	Task 0.1 Planung und Kontrolle des Projektfortschrittes	2							2	
	Task 0.2 Organisation, Dokumentation und Berichtswesen	6,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	3	0,5
	Task 0.3 Veröffentlichung, Teilnahme an Tagungen, Konferenzen und mFUND-Veranstaltungen	5,5			0,5	0,5	1,5	2	0,5	0,5
		14	0,5	0,5	1	1	2	2,5	5,5	1
AP 1	Task 1.1 Systematische Aufbereitung der Anforderungen	2,5					2	0,5		
	Task 1.2 Spezifische Anforderungsanalyse	9		2			4	1,5	1	0,5
	Task 1.3 Abstimmungsprozess Anforderungsanalyse vs. Machbarkeit	4,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5
	Task 1.4 Transferanalyse	3,5					3		0,5	
	Task 1.5 Lösungsarchitektur	4,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5		0,5	0,5
		24	1	3	1	1	11	3	2,5	1,5
AP 2	Task 2.1 Identifikation und Akquise geeigneter Datensätze	7,5	3	1	1		2	0,5		
	Task 2.2 Aufbereitung der geeigneten Datensätze	11	9				2			
	Task 2.3 Integration der Datenquellen an die prototypische KLIPS-Plattform	4	3		1					
	Task 2.4 Bereitstellung geeigneter KLIPS-Daten als Open Data	4	2			1	0,5	0,5		
		26,5	17	1	2	1	4,5	1	0	0
AP 3	Task 3.1 Konzeption und Entwicklung Sensorhardware	16		15,5				0,5		
	Task 3.2 Feldkalibrierung des Sensorschwarms	6		6						
	Task 3.3 Entwicklung eines Cloud-Services zur Sensordatenaufbereitung und -aufbereitung	3		3						
	Task 3.4 Messnetzaufbau Dresden	10		8			0,5	1,5		
	Task 3.5 Messnetzaufaufbau Langenfeld	3		2			1			
		38	0	34,5	0	0	1,5	2	0	0
AP 4	Task 4.1 Entwicklung und Implementierung von Softwaremodulen zur Generierung von Analyse-Datensets	4			4					
	Task 4.2 Erforschung, Entwicklung und Implementierung von KI-Verfahren zur Lokalisierung und Prognose von Hitzeinseln	9			9					
	Task 4.3 Erforschung, Entwicklung und Implementierung von KI-Verfahren zur Simulation von Hitzeinseln	9			9					
	Task 4.4 Retroperspektive Analyse der Oberflächentemperaturen und Bebauungsstruktur	11,5	11,5				0			
		33,5	11,5	0	22	0	0	0	0	0
AP 5	Task 5.1 Konzeption der KLIPS-Plattform	7					1		5	1
	Task 5.2 Entwicklung der KLIPS-Plattform	6							6	
	Task 5.3 Prototypische Realsierung der KLIPS-Plattform	6							6	
		19	0	0	0	0	1	0	17	1
AP 6	Task 6.1 Evaluierung aktueller (Open Source) Technologien für Dienste-Infrastruktur	2								2
	Task 6.2 Entwicklung und Implementierung eines geeigneten Datenbankmodells als Basis für Darstellungs- und Datendienste	3								3
	Task 6.3 Definition und Entwicklung von standardisierten Darstellungs- und Abfragediensten für Raum- und Zeitaspekte	7								7
	Task 6.4 Entwicklung und prototypische Implementierung eines praktikablen Autorisierungs- und Authenzifizierungskonzepts	1,5								1,5
	Task 6.5 Entwicklung web-basierter Demonstratoren mit wiederverwertbaren Komponenten	6						1		5
		19,5	0	0	0	0	0	1	0	18,5
AP 7	Task 7.1 Technische Integration der Teillösungen zum ersten Demonstrator von KLIPS	5	0,5	0,5	0,5				3	0,5
	Task 7.2 Test, Evaluierung und Optimierung des ersten Demonstrators von KLIPS	2,75					1	0,25	1,5	
	Task 7.3 Technische Integration der Teillösungen zum finalen Demonstrator von KLIPS	5	0,5	0,5	0,5				3	0,5
	Task 7.4 Test, Evaluierung und Optimierung des finalen Demonstrators von KLIPS	2,75					1	0,25	1,5	
		15,5	1	1	1	0	2	0,5	9	1
AP 8	Task 8.1 Anforderungsanalyse Erfassung der Daten und Clusterung nach Personenbezug	1,5				1	0,5			
	Task 8.2 Erstellung einer Datenschutzkonzeption als "living document"	5,5				5	0,5			
	Task 8.3 Haftungsreduzierung	6				6				
		13	0	0	0	12	1	0	0	0

Tab. 10: Arbeitspakete und Tasks

Im Jahr 2021 war die Projekttätigkeit eher eingeschränkt, bedingt durch den Verlust des Anwendungspartners Leipzig im Frühjahr 2021 und die aufwendige Suche nach Ersatz, der dann im Herbst mit der Landeshauptstadt Dresden gefunden wurde. Ab dem Jahr 2022 fanden dann jährlich in der Regel zwei Konsortialtreffen zur Abstimmung und Planung des Projektgeschehens mit den Anwendungspartnern sowie – bedarfsbezogen – fortlaufend weitere Einzelmeetings mit den Anwendungspartnern oder Teilen des Projektteams statt.

Datum	Ort	Inhaltlicher Schwerpunkt
11.12.2020	per Videokonferenz	Kickoff Meeting (mit PT)
26.1.2022	per Videokonferenz	1.Konsortialreffen (mit mFUND, PT)
30.11.-1.12.2022	Software AG, Darmstadt	2.Konsortialtreffen
14.-15.6.2023	LHD, Dresden	3.Konsortialtreffen
29.-30.11.2023	HHI, Berlin	4.Konsortialtreffen
6.-7.3.2024	Software AG, Darmstadt	5.Konsortialtreffen
15.3.2024	per Videokonferenz	Abschlusstreffen (mit Vertreter mFUND, PT und weiteren Gästen)

Tab. 11: Konsortialtreffen

Die Zusammenarbeit zwischen den Partnern erfolgte konstruktiv und vertrauensvoll. Durch die wöchentlich stattfindenden Statusmeetings waren alle Partner stets auf dem aktuellen Stand der Arbeiten. Die Statusmeetings wurden von den Projektpartnern im Wechsel moderiert und abschließend protokolliert. Zur Projektdokumentation und zum Austausch von Dokumenten aller Art wurde eine von der Software AG aufgesetzte Kollaborationsplattform („LabCase“) genutzt, die ein Wiki und ein Dateiablagesystem in sich vereint.

Innerhalb des KLIPS-Konsortiums haben alle Partner unter Koordination der Software AG gut zusammengearbeitet. Insbesondere im Rahmen der Aufstellung des Anforderungskataloges, aber auch bei der Evaluierung von Teilergebnissen und Ergebnissen, hat das Konsortium mit den beiden Anwendungspartnern Landeshauptstadt Dresden und Stadt Langenfeld eng zusammengearbeitet.

Insgesamt können wir sagen, dass die Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern sehr konstruktiv und vertrauensvoll verläuft. Durch großes Engagement aller Partner und dem sehr offenen Umgang miteinander fiel es leicht, das Projekt gemäß Plan voranzutreiben. All das trug zu einer angenehmen Projektsituation bei, die es uns, dem Konsortialführer Software AG, leicht machte, die Projektsteuerung und Kontrolle auszuüben.

5. Erreichung der Projektziele

Ziel von KLIPS war es, heterogene Datensätze in einer (prototypischen) Informationsplattform so zu bündeln, dass der raumbezogene Zielkonflikt (Klimawandel vs. Nachverdichtung vs. Verkehr) systematisch erfasst und simuliert werden kann. Gespeist aus einer Vielzahl verschiedenster Datenquellen (in-situ, Fernerkundung, statistische Datensätze, etc.) liefert die Plattform dabei nicht nur in Echtzeit einen genauen Überblick über die aktuell im Stadtgebiet auftretenden Hitzeinseln, sondern bietet dank KI auch Prognose bzw. Simulation darüber, wo Hitzeinseln zukünftig auftreten werden. Während die Prognosen dazu genutzt werden können, um die Bewohner kurzfristig vor Hitzeinseln zu warnen, ermöglichen es die Simulationen, die Auswirkungen baulicher oder planerischer Maßnahmen aufs Stadtklima im Vorhinein durchzuspielen. Dies erlaubt es zum einen, die Entstehung von Hitzeinseln durch Anpassungen oder Umplanungen proaktiv zu verhindern oder zumindest ihre Ausdehnung zu begrenzen. Zum anderen können Maßnahmen zur Bekämpfung von Hitzeinseln im Vorfeld auf ihre Effektivität geprüft und diese ggf. noch in der Planungsphase optimiert bzw. derjenigen Alternativen zu identifizieren, die bei gleicher Wirkung die geringsten Nebeneffekte an anderer Stelle hat.

Die Übersicht über die aktuelle Situation und aggregierte Werte für Hitzeindex (HI) und Hitzeinseleffekt (UHI), sowie die Ergebnisse der Berechnungen für Prognose und Simulation stehen in öffentlich verfügbaren Standard-Schnittstellen zur Verfügung. Weiterhin stehen im Internet der KLIPS-Demonstrator, sowie weitere Client-Anwendungen zur Verfügung, die eindrucksvoll die Ergebnisse des KLIPS-Projektes demonstrieren.

Zugleich schafft KLIPS ein besseres Verständnis des Raumkonflikts – durch räumlich wie zeitlich hochgenaue Daten und der Fähigkeit, aus diesen vielfältigen Daten die wechselseitigen Abhängigkeiten zu identifizieren und zu analysieren. Mit diesem ganzheitlichen Raummanagement ermöglicht es KLIPS der Stadt- und Entwicklungsplanung, dem Klimawandel begegnen zu können, ohne darüber die vielfältigen Ansprüche der wachsenden Stadt vernachlässigen zu müssen – und vice versa. Obwohl initial für Dresden und Langenfeld realisiert – die beiden Städte sind aufgrund des besonders hohen Problemdrucks sowie der daraus resultierenden breiten Informations- und Datengrundlage als Pilotanwender prädestiniert – lässt sich KLIPS auch auf weitere Kommunen übertragen. So sind sowohl prototypisch realisierte Informationsplattform als auch angelernte KI-Algorithmen generisch. Die Kommunen können Daten und Informationsprodukte in ihre internen Systeme einbinden und für die Kommunikation mit den Bürgern nutzen. Sie können daher, die Existenz eines lokalen Sensornetzwerks vorausgesetzt, auch in anderen Städten eingesetzt werden.

Dieses Ziel ist nachweisbar erreicht. Beide Städte, Dresden und Langenfeld, haben schon in der Projektlaufzeit sehr fruchtvolle Diskussion innerhalb der Verwaltung gestartet, zum Teil ausgelöst oder als Folge von Treffen und Workshops, die durch das KLIPS Projektteam angeregt und organisiert wurden. Weiterhin sind bei den Städten erste prototypische Anwendungen entstanden, die ausprobieren wie die durch KLIPS berechneten und zur Verfügung gestellten Daten in die Entwicklung von beispielsweise Hitzeaktionsplänen und in die unmittelbare Information und Warnung der Bürgerinnen und Bürger einfließen können. Auch im Projektteam selbst sind, zum Teil über die Projektplanung hinaus, Anwendungen entstanden (Beispiel „Kühle-Wege-App“), die unmittelbare weitere Verwendung der Projektergebnisse zeigen.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Bericht legt im Gesamtüberblick die Ziele, den Ablauf und die erreichten Ergebnisse des Forschungsprojektes KLIPS dar. In dieser Zusammenfassung musste auf die Darstellung vieler Details verzichtet werden.

Zusammenfassend können wir sagen, dass die Zusammenarbeit der Partner im Projekt KLIPS sehr erfolgreich war und zu außergewöhnlichen Ergebnissen geführt hat. Die sehr spannenden Forschungsergebnisse und die angenehme und erfolgreiche Zusammenarbeit hat den größeren Teil der Partner wieder zusammengebracht, um die mit KLIPS gelegte Basis, vor allem das Sensor-Netzwerk und die Auswertungs-Infrastruktur, in einem Folgeprojekt weiter zu untersuchen und weitergehende Forschungsfragen zu stellen und zu beantworten.

Anhang: Tabelle Veröffentlichungen, Vorträge, Messen

Veröffentlichungen			
Datum	Titel	Konferenz/Publikation	Partner
5/23	Leichtle T, Helgert S, Müller M, Handschuh J, Erbertseder T, Wurm M & Taubenböck H (2023): Opposing land surface and air temperatures from remote sensing and Citizen Science for quantification of the Urban Heat Island effect.	IEEE-CPS Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), 17.-19. Mai 2023, Heraklion, Griechenland. doi: 10.1109/JURSE57346.2023.10144135.	DLR/pikobytes
5/23	Leichtle T, Kühnl M, Droin A, Beck C, Hiete M & Taubenböck H (2023): Quantifying urban heat exposure at fine scale - modeling outdoor and indoor temperatures using citizen science and VHR remote sensing	Urban Climate Volume 49, May 2023, 101522. doi: 10.1016/j.uclim.2023.101522.	DLR
8/23	So trennt Hitze die deutschen Städte	Zeit Online https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2023-08/soziale-ungleichheit-hitze-stadtklima-beton-klima-anpassung	DLR
11/23	H. Herold, J. Wright: „Data Governance – Datennutzung und Datenqualität von raumbezogenen Informationen bei der Entwicklung neuer KI-basierter Anwendungen für die Planungspraxis“	Beitrag in Springer-Buch „Data Governance“	IÖR
Vorträge			
Datum	Konferenz	Thema/Zweck	Partner
10/21	mFUND-Konferenz	Vorstellung	HHI

5/22	Dresden Nexus Conference 2022, 23.-25.05.2022, Dresden.	Leichtle T, Kühnl M, Osterkamp N, Garcia de León AS, Martin K & Taubenböck H (2022): Mapping urban green – The capabilities of remote sensing data with spatial resolutions from 10 meters to 10 centimeters.	DLR
6/22	Digitales FONA-Forum	Vorstellung	DLR
7/22	DLR DFD-GZS Seminar, 29.07.2022	Leichtle T (2022). Heat exposure in cities - Quantification and intra-urban patterns by integrating remote sensing and Citizen Science.	DLR
9/22	mFUND-Konferenz	Vorstellung	HHI
12/22	European Space Imaging (EUSI) Conference 2022, 13.-15.12.2022, München.	Leichtle T (2022): Quantification of urban heat exposure based on VHR remote sensing and Citizen Science.	DLR
12/22	European Space Imaging (EUSI) Conference 2022, 13.-15.12.2022, München.	Taubenböck H (2022): Germany: How and where we (want to) live.	DLR
3/23	FOSSGIS-Konferenz in Berlin	Vortrag und Diskussionsrunde zum Thema „Geodatenanalyse in der Cloud mit OGC API Processes und pygeoapi“	Terrerstris/ meggsimum
3/23	Public Summit der Software AG	Präsentation KLIPS mit Fokus Dresden	LH Dresden/SAG
4/23	16. Mobiles GIS-Forum, 20.-21.04.2023, Augsburg.	Leichtle T (2023): Hitzehotspots anhand von Fernerkundungs- und	DLR

		Bürgerdaten in Augsburg und Einfluss von Stadtgrün	
5/23	Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), 17.-19. Mai 2023, Heraklion, Griechenland.	Leichtle T, Helgert S, Müller M, Handschuh J, Erbertseder T, Wurm M & Taubenböck H (2023): Opposing land surface and air temperatures from remote sensing and Citizen Science for quantification of the Urban Heat Island effect"	DLR/pikobytes
5/23	polisMobility	Vorstellung am mFUND-Stand	terrestris
6/23	Dresdner Flächennutzungssysmposium	Workshop	IÖR
6/23	Geographisches Kolloquium der Universität Bochum „Urbane Fernerkundung", 28.06.2023, Bochum.	Leichtle T (2023): Earth Observation for mapping urban green and estimation of heat exposure in cities-A statistical approach based on VHR remote sensing and Citizen Science.	DLR
9/23	Projekt „Biodiverse Schwammstadt Dresden"	Bedarfe und Anforderungen aus der Planungspraxis an neue Daten, Methoden und Tools für die Hitzeanpassung	IÖR
9/23	Deutscher Kongress für Geographie, 19.-23.09.2023, Frankfurt am Main.	Leichtle T, Kühnl M, Droin A, Beck C, Hiete M & Taubenböck H (2023): Hitze in Städten: Ein quantitativer Ansatz auf Basis von höchstaufgelösten Fernerkundungsdaten und Citizen Science	DLR

9/23	4. Kolloquium der Forschungsinstitute ibp, ifm, inwa, iisys und iwe der Hochschule Hof	Vorstellung	Hof
9/23	AI4EO conference, Ottobrunn, Deutschland.	Taubenböck H (2023): Understanding Urbanization using EO & AI: Capabilities and Challenges	DLR
10/23	EuroGEO Workshop 2023, 02.-04. Okt. 2023, Bozen, Italien.	Erbertseder T, Esch T, Gilardi L, Leichtle T, Khorsandi E, Marconcini M & Taubenböck H (2023): Global Urban Monitoring and Assessment of Environmental Health Risks.	DLR
10/23	AI4EO Symposium 2023, 09.-10.10.2023, München.	Wang K, Zhu, XX, Taubenböck H, Leichtle T & Wang Y (2023): Spatial-temporal dynamics of urban heat island hotspots.	DLR
11/23	Data Science Summit: Städte & Kommunen, 09.11.2023, Frankfurt am Main.	Hecker J (2023): Von der Stadtklimaanalyse zur KI-gestützten Prognose von Hitzeinseln	Stadt Langenfeld
11/23	Data Science Summit: Städte & Kommunen, 09.11.2023, Frankfurt am Main.	Leichtle T (2023): Erfassung des Stadtklimas mit Methoden der Erdbeobachtung	DLR
11/23	Internationaler EDIH-Workshop: Smarte Städte und Smarte Regionen	Vorstellung	LH Dresden
11/23	GEO Week and Ministerial Summit 2023, 06-10.11.2023, Kapstadt, Südafrika.	Erbertseder T, Esch T, Gilardi L, Leichtle T, Khorsandi E, Marconcini M & Taubenböck H (2023): Global Urban Monitoring	DLR

		and Assessment of Environmental Health Risks.	
03/24	Graduiertenkolleg Urban Green Infrastructure, 04.-06.03.204, Raitenhaslach.	Leichtle T (2024): Earth Observation for assessment of urban green infrastructure and heat exposure in cities.	DLR
03/24	#GEOHeatSprint Workshop of GEO and WMO, 28-29.02.2024, Genf, Schweiz.	Erbertseder T (2024): Tools for Assessing Global Heat Resilience	DLR
Messen			
Datum	Messe	Auftritt	Partner
4/21	Digitale Hannover Messe	Präsentation	SAG
11/23	Smart City Expo World Congress in Barcelona	Stand	LH Dresden, Ergo/pikobytes
06/24	Woche der Umwelt, Berlin	Stand	alle

Tab. 12: Veröffentlichungen, Vorträge, Messen