



Bezirksregierung  
Arnsberg



**Abschlussbericht  
(bitte im Verwendungsnachweis auf diesen  
Abschlussbericht verweisen und ihn als Anlage  
beifügen)**

**BürgerWOLKE Soest**

im Rahmen des Förderprogramms

**Digitale Modellregion Regierungsbezirk Arnsberg  
mit der Leitkommune Soest**

Stand: 12. Mai 2023

**Projektbeginn:** 25.05.2020  
**Projektabschluss:** 31.12.2022

**Projektkoordinator/in:**  
Jürgen Treptow  
Stadt Soest Markt 13, 59494 Soest  
02921/103 5401  
j.treptow@soest.de



**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung (Management Summary)</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Beteiligte Projektpartner</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Ausgangssituation</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Zielsetzung und Vorgehensweise</b> .....	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>10</b>

## 1 Zusammenfassung (Management Summary)

Inhaltlich beschäftigt sich das Projekt mit dem *Aufbau eines kleinräumigen stadtklimatologischen Messnetzes auf öffentlichen und privaten kommunalen Flächen*. Hierbei steht die aktive Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern sowie öffentlichen Einrichtungen ebenso im Fokus wie die Anwendung moderner Methoden der Datenverarbeitung und Visualisierung wie der Künstlichen Intelligenz und Dashboards.

Die Ausgangslage für die kommunale und private Nutzung stadtklimatologischer Messdaten ist unzureichend. Es gibt kein flächendeckendes kleinräumiges Messnetz innerhalb von Städten und Kommunen.

Das Projekt setzt genau hier an: Bei der Beantwortung der Frage, ob eine Kommune mit Hilfe von *LoraWAN* und *LowCost-Sensoren* und einer intensiven Bürgerbeteiligung ein derartiges Messnetz aufbauen und betreiben kann. Ebenso zentral stand die Frage im Raum, ob die *Datenqualität* der mit den Sensoren gewonnen Messdaten ausreicht und sich im Vergleich zu Messungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) darstellt. Hier sollte dann auch die Frage untersucht werden, ob und inwiefern Methoden der *Künstlichen Intelligenz* (KI) dazu beitragen können die Datenqualität im Bedarfsfall zu verbessern. Des Weiteren sollte untersucht werden, ob die im Projekt gewonnenen Daten zusammen mit Geodaten in ein *Stadtklimamodell* einfließen können und welche Ergebnisse sich daraus ableiten lassen können. Wie man stadtklimatologische Massendaten in einem übersichtlichen Dashboard visualisiert und ob dazu *OpenSource-Software* genutzt werden kann, sollte ebenso beleuchtet werden, wie die Möglichkeiten aus den Messdaten *Warnhinweise* für die Bevölkerung abzuleiten.

Die Projekt-Ergebnisse sind vielfältig und insgesamt aus Sicht der Kommune als positiv zu bewerten. Zunächst sind bereits vorhandene Daten und hier insbesondere Geodaten (3D-Stadtmodell, Klimatope u.a.) beim Messnetzaufbau äußerst vorteilhaft und gut nutzbar. In Bezug auf die Standardisierung können offenbar WMO-Standards auf lokale Verhältnisse angepasst werden. Die LoraWAN-Technologie eignet sich sehr gut als Kommunikationsnetz und LowCost-Sensoren eignen sich grundsätzlich zur Messung meteorologischer Parameter. Die Messdatenqualität ist dabei stark standortabhängig, was aber bei höherwertigen Sensoren nicht anders sein wird. Eine wichtige Erkenntnis ist: Die Messdatenqualität kann mit KI verbessert werden. Dazu sind jedoch zwingend Plausibilitätsmessungen in Form von mobilen Messfahrten und stationären Messungen durchzuführen, um Referenzdaten nutzen zu können.

Die Wartung der Sensorik ist relativ aufwendig und sollte deshalb an ein Dienstleistungsunternehmen übertragen werden. Das Thema Warnungen ist schwierig, weil eine klare Differenzierung zwischen amtlichen Warnungen des DWD und den hier aus den Messdaten abgeleiteten Warnungen erfolgen muss. Stadtklimamodellrechnungen mit Modellen wie das im Projekt zum Einsatz gekommene PALM4U sind zu ressourcenintensiv, um sie „on the fly“ und regelmäßig ggf. sogar dezentral in Eigenregie der Kommune durchführen zu können. Die Möglichkeiten der Visualisierung der Daten mit OpenSource-Tools sind gut, aber ausbaufähig. Eine wichtige Erkenntnis des Projektes ist, dass Bürgerinnen und Bürger beim Thema Klima hochmotiviert und kreativ auftreten. Außerdem wurde sehr deutlich, dass die gewonnenen Daten für viele Fragestellungen sehr nützlich sind und nach relativ kurzer Projektlaufzeit bereits vielfältig genutzt werden.

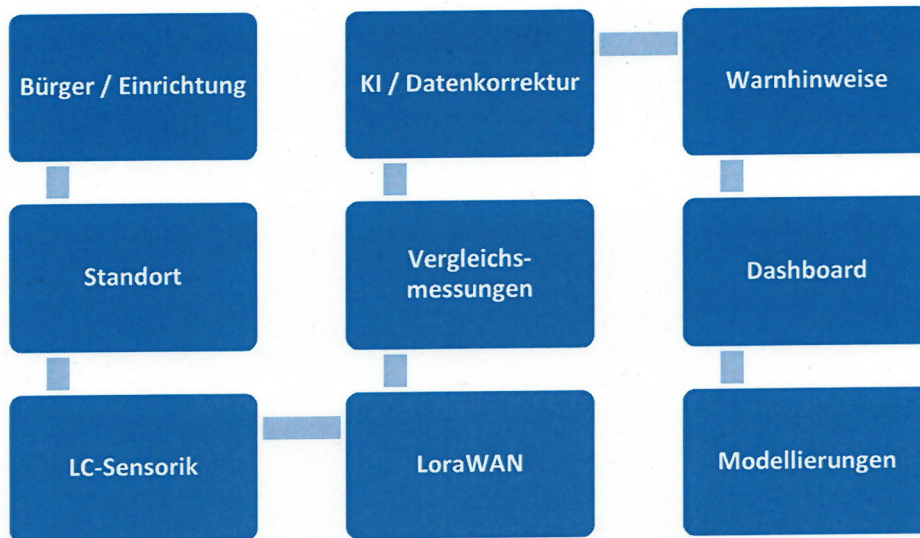


Abbildung 1: Die zentralen Bausteine von BürgerWOLKE

## 2 Beteiligte Projektpartner

### Angaben zum Projektkoordinator

**Firma/Organisation:** Stadt Soest

**Ansprechpartner:** Jürgen Treptow

Markt 13, 59494 Soest

Mail: [j.treptow@soest.de](mailto:j.treptow@soest.de) Tel: (02921) 103 5401

### Adresse und Ansprechpartner der Verbundpartner

**Firma/Organisation:** Fraunhofer IOSB-INA, Lemgo

**Ansprechpartner:** Holger Flatt

Mail: [holger.flatt@iosb-ina.fraunhofer.de](mailto:holger.flatt@iosb-ina.fraunhofer.de)

### 3 Ausgangssituation

Es existiert kein **flächendeckendes kleinräumiges Messnetz** zur Erfassung stadtklimatologischer Daten auf kommunaler Ebene in NRW. Die räumliche Dichte der vorhandenen behördlichen und privaten Messnetze sind für stadtklimatologische Untersuchungen bei weitem nicht ausreichend: Bei einer fiktiven Gleichverteilung aller hauptamtlichen und neben-amtlichen DWD-Klimastationen auf die Fläche Deutschlands würden ca. 600 km<sup>2</sup> durch eine Station mit Temperaturmessungen repräsentiert. Auf dem Soester Stadtgebiet gibt es keine DWD-Station, die nächste liegt in Werl. Lediglich eine Wetterstation des privaten Messnetzbetreibers Meteogroup und eine Station der LANUV liegen auf Soester Stadtgebiet - allerdings beide außerhalb der bebauten Kernstadt und damit nicht in einer typischen Stadtlage. Die vorhandenen Wetter-Stationen liegen also entweder gar nicht auf dem Soester Stadtgebiet oder *nicht in repräsentativer Stadtlage*. Darstellungen der innerstädtischen Differenzierung des Klimas können jedoch nur durch eine optimale Netzdichte und -verfügbarkeit erfolgen.

Es fehlen damit grundlegende kleinräumige **Klimadaten**, um daraus Klimaanpassungsmaßnahmen und Maßnahmen des Klimaschutzes ableiten zu können und/oder die Wirksamkeit von Maßnahmen überprüfen zu können.

**Der Grund für das Fehlen eines kleinräumigen Messnetzes ist der Kostenfaktor:** Für die **Sensoren** herkömmlicher Wetterstationen des DWD, der LANUV oder privaten Betreibern fallen so hohe Anschaffungs- und Betriebskosten an, dass eine Kommune sich den Betrieb eines derartigen Messnetzes nicht leisten kann. Ein Messcontainer der LANUV kostet eine fünfstellige, Messstationen des DWD vierstellige Summe.

Der gewünschte Soll-Zustand ist der erfolgreiche Betrieb eines flächendeckenden stadtklimatologischen Messnetzes, mit dem Messdaten in ausreichender Qualität für möglichst viele Anwendungsmöglichkeiten für einen möglichst großen Nutzerkreis im kommunalen Kontext unterstützt werden können.

## 4 Zielsetzung und Vorgehensweise

### 4.1 Zielsetzung

Um sinnvolle Maßnahmen gegen die Klimaerwärmung zu entwickeln, ist eine möglichst detaillierte Datenbasis erforderlich. Ziel des Projekts ist es, gemeinsam mit Soester Bürgerinnen und Bürger meteorologische Daten zu erheben und zu beobachten, wie sich einerseits bereits heute der Klimawandel auf die Stadt auswirkt und ob andererseits Klimaanpassungsmaßnahmen die gewünschten Effekte haben. Aus den gewonnenen Daten sollten darüber hinaus Warnungen herausgegeben werden können. Außerdem wird eine nachhaltige Datengrundlage meteorologischer Daten dringend und langfristig benötigt, um – ergänzt um die Geodaten – raumbezogene Analysen, Bewertungen und Simulationen zu ermöglichen. Im Fokus des Projektes stand die Dienstleistung Daten bereitzustellen, mit denen dann die Prozesse z. B. im Rahmen der Klimafolgenanpassung unterstützt und gesteuert werden können.

### 4.2 Aufgabenverteilung und Vorgehensweise

Organisatorisches: Über die gesamte Projektlaufzeit traf sich das Projektteam monatlich zu Meetings. Zum Projektteam gehörten Mitarbeitenden der Stadt Soest (Projektkoordinator,

Bürgerbeteiligung, Öffentlichkeitsarbeit), Mitarbeiter des Projektpartners IOSB-INA (Sensorik, Dashboard, KI), ein Mitarbeiter der Stadtwerke Soest (LoraWAN), ein Team des DWD und zeitweise Mitarbeiter der Elektrofirma (Montage und Wartung). Sämtliche Projektdaten standen den Projektteilnehmenden in einer Projekt-Cloud zur Verfügung. Das Vorgehen wurde stets in den Projektmeetings abgestimmt.

#### 4.2.1 Auswahl der Parameter und Sensoren

„Low-Cost-Sensoren“ sind weniger präzise und deshalb auch nur zur *orientierenden* Messung einsetzbar, dafür aber vergleichsweise kompakt und kostengünstig erhältlich. Im Projekt BürgerWOLKE wurden für den Aufbau des Sensornetzwerkes folgende Sensoren eingesetzt: 100 SenseBoxen, 3 sog. Wetterstationen vom Typ Decentlab DL-ATM41 sowie 8 Windsensoren vom Typ Decentlab DL-ATM22.



Abbildung 2: SenseBox

Mit diesen Messeinrichtungen werden im Projekt folgende meteorologische Parameter gemessen:

Parameter	Einheit	SenseB OX	DL- ATM41	DL- ATM22	Zweck der Messung
Windrichtung	° Grad		x	x	Stadtklima
Windstärke	m/s		x	x	für die Berechnung der gefühlten Temperatur
Niederschlag	mm		x		Stadtklima
UV-Intensität	W/m <sup>2</sup>	x			Stadtklima
Beleuchtungsstärke	lux	x			Stadtklima
Globalstrahlung	W/m <sup>2</sup>		x		für die Berechnung der gefühlten Temperatur
Lufttemperatur	° C	x	x		für die Berechnung der gefühlten Temperatur
Luftdruck	hPa	x	x		u. a. zum Vergleich von Messungen
relative Luftfeuchte	%	x	x		für die Berechnung der gefühlten Temperatur
durchschnittliche Blitzentfernung	km		x		wird nicht zwingend benötigt
Blitzeinschläge	Anzahl		x		wird nicht zwingend benötigt
Dampfdruck	hPa		x		Maß für Feuchtigkeitsgehalt der Luft
Anzahl eingesetzter Sensoren		100 Stk.	3 Stk.	8 Stk.	

#### 4.2.2 Festlegung der Standortanforderungen

Die Standortanforderungen richten sich im Optimum an den Vorgaben der World Meteorological Organisation (WMO). Diese hat einen Leitfaden herausgegeben, in dem beschrieben ist, welche Kriterien die Standorte in urbanen Räumen erfüllen müssen, um als Messpunkt geeignet zu sein. (*Instruments an Observing Methods Report No. 81: Intital Guidance to obtain represantative meteorological observations at urban sites by Tim R. Oke (Canada), WMO / TD-No. 1250 2006*). Für die Bürgerinnen und Bürger sowie Einrichtungen, die eine SenseBox aufstellen/montieren und betreiben möchten, wurde vom Projektteam eine Anleitung mit Hinweisen zur Standortwahl und Montage erstellt und online bereitgestellt.

### 4.2.3 Auswahl der Standorte

Die Auswahl und Festlegung der Standorte für die Messeinrichtungen auf öffentlichen Flächen war einfach. Diese wurden gezielt angeschrieben und da das Interesse besonders bei Schulen groß war, konnte die Anzahl von 50 Standorten schnell erreicht werden.

Die Auswahl und Festlegung der Standorte auf Privatgrundstücken erfolgte in *einem Online-Beteiligungsverfahren*: Die Bürgerinnen und Bürger konnten sich zum Mitmachen bewerben. Etwa 80 Bewerbungen gingen ein, von denen 50 nach den Standortbedingungen ausgewählt wurden. Dabei wurde darauf geachtet, dass die privaten Standorte Lücken im durch die Standorte auf öffentlichen Flächen vorgegebenen Messnetz schließen.

Zu jedem Standort wurde ein sogenanntes *Standortdatenblatt* erstellt mit den wichtigsten projektbezogenen Informationen wie die Kontaktdaten des Betreibers, ein Lageplan und Fotos zur detaillierten Beschreibung des Standortes.

Auf der Grundlage dieses Standortdatenblattes erfolgte dann vor Montage noch eine *Standorteignungsprüfung* durch den DWD. Dieser konnte sich aus Zeit- und Kostengründen nicht jeden Standort vor Ort anschauen und hatte so die Möglichkeit den Standort hinsichtlich der zuvor festgelegten Standortanforderungen zu prüfen. Erst nach Freigabe des DWDs, konnten die Sensoren montiert werden.

### 4.2.4 Montage der Sensorik

Die Montage der Sensorik erfolgte in den meisten Fällen durch eine Elektrofirma. In einigen Fällen erfolgte die Montage aber auch in Eigenregie, so z. B. an zwei Schulen durch Schülerinnen und Schüler.

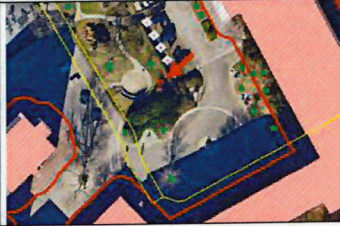

Standortkatalog	
Standortnummer	007
Standort_id	012
Standortname	Archlymnasium
SenseBox-Id	081
Status	geplant
Betriebsbeginn	29.5.2021
Adresse	Niederbergheimer Straße 9
Geländehöhe	102,5 m
	
<p>Möglicher Standort im Schulgarten. Hier wird die Wetterstation dauerhaft stehen und betrieben.</p> <p>Vorteil: Der Abstand zu größeren Gebäuden (rosa) wäre größer als 5m (rote Linie).</p>	
	
<p>Montage an der Wetterstation:</p>	

Abbildung 3: Standortdatenblatt (Auszug)

### 4.2.5 LoraWAN

Zur Datenübertragung wird im Projekt BürgerWOLKE auf LoraWAN gesetzt. Die Standortauswahl für die dafür notwendigen LoraWAN-Gateways erfolgte v.a. mit Hilfe des 3D-Stadtmodells der Stadt Soest. Es wurden insgesamt 10 Gateways für eine Fläche von 86 km<sup>2</sup> installiert. Bei der so optimierten und zügigen Planung der Gateway-Standorte wurden hier z. B. Höhenunterschiede, Hindernisse und sonstige Störungen wie Freileitungen mit einbezogen.

### 4.2.6 Dashboard

Parallel zum Aufbau des Messnetzes wurde an einem [Dashboard](#) gearbeitet. Der Aufbau und Inhalt des Dashboards wurde im Projektteam festgelegt und vom Entwickler beim IOSB-INA

stetig weiterentwickelt. Im Dashboard enthalten sind eine Karte mit allen Standorten sowie alle Messdaten der Sensoren. Außerdem enthält das Dashboard *Warnhinweise* und alle *Daten* lassen sich *downloaden* (OpenData).

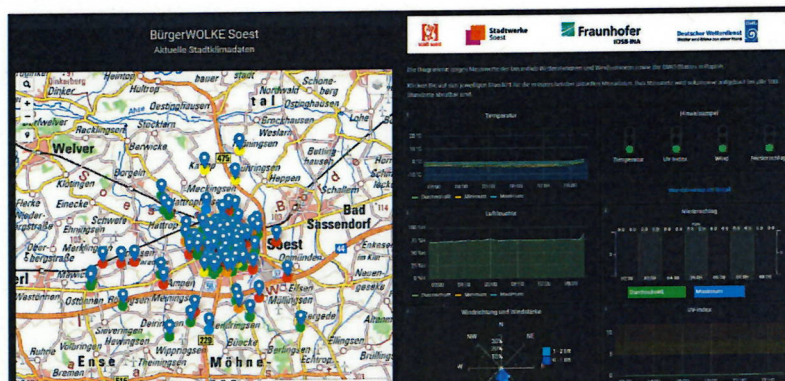


Abbildung 4: Dashboard

#### 4.2.7 Vergleichsmessungen

Zur Einschätzung der *Datenqualität* der SenseBox-Daten wurden sieben SenseBox-Standorte ausgewählt und in deren Nähe Vergleichsmessungen der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit mit einer mobilen Messstation des DWD durchgeführt. Die Auswahl dieser Standorte erfolgte teils aus der Relevanz des Standortes für die nähere Umgebung teils wegen Auffälligkeiten der Datenerhebung einer bestimmten SenseBox und außerdem zur Überprüfung der Daten von SenseBoxen zweier benachbarter Standorte. Vergleichsmessungen liefern gute Informationen und Anhaltspunkte für die Entwicklung möglicher Korrekturverfahren. So lassen sich erste Hinweise erhalten, ob beispielsweise systematische Messabweichungen vorliegen oder ob gegebenenfalls zu bestimmten Tageszeiten Differenzen (z. B. tagsüber durch Strahlungsfehler) zu beobachten sind.

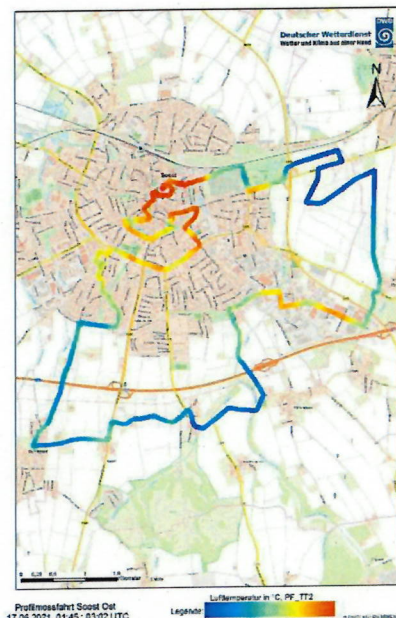


Abbildung 5: Profilmessfahrt in Soest

#### 4.2.8 Künstliche Intelligenz

Die Temperaturmessung der SenseBox wird insbesondere durch Sonneneinstrahlung verfälscht, da die Luft sich in der Wetter- und Strahlenschutzhüte staut und aufwärmt. Der Projektansatz verfolgte das Ziel, die Temperaturverfälschung durch Sonneneinstrahlung mittels KI-basierte Algorithmen in einem Modell zu lernen und anschließend dieses Modell zur Sensordatenkorrektur einzusetzen. Im vom Projektpartner IOSB-INA vorgelegten Abschlussbericht werden die einzelnen Schritte ausführlich erläutert, welche für die Umsetzung einer Datenplausibilisierung auf Basis von KI-Methoden notwendig waren und welche Verbesserungen erzielt werden konnten. Das Training der KI-Modelle erfolgt wie in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt. Insgesamt lässt sich im Ergebnis festhalten: Alle im Projekt angewandten KI-Methoden führen zu einer deutlichen Verringerung des Messfehlers der SenseBoxen. Insbesondere wirkt diese Verbesserung bei der Kompensation



der Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung verbessernd. Insgesamt kann eine Reduktion des Messfehlers um bis zu 50 % festgestellt werden.

#### 4.2.9 Stadtklimamodellierung mit Palm4U

Für die Berechnungen mit dem Stadtklimamodell PALM4U wurde ein Ausschnittgebiet der Stadt gewählt: Die Altstadt. Die horizontale Auflösung beträgt 2 m. Für jeden Zeitschritt der Modellierung wurden alle Gleichungen für jeden Zeitschritt an allen Gitterpunkten, d. h. an etwa 48 Millionen Gitterpunkten berechnet. Die Stadt Soest hat dazu als Eingangsdaten ein Gelände- und ein Gebäudemodell zur Verfügung gestellt. Die Berechnungen wurden dann jedoch mit den vom Land NRW zur Verfügung gestellten Daten für einen warmen Sommertag und verschiedene Anströmungsrichtungen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Modellierung liegen im Datenformat (netCDF) vor und können von der Stadt Soest im Geografischen Informationssystem ausgewertet werden. Beispielsweise liegt ein Datensatz vor mit jeweils drei Temperaturwerten in 1 m, 3 m und 5 m Höhe über Grund und zwar pro Zelle zu bestimmten Uhrzeiten im Tagesverlauf (alle 30 Minuten). Abbildung 6 zeigt die berechnete Lufttemperatur in 1 m über Grund für die Uhrzeiten 12 und 19 Uhr. Zum Vergleich wurde für beide Ergebnisfelder dieselbe Skala verwendet.

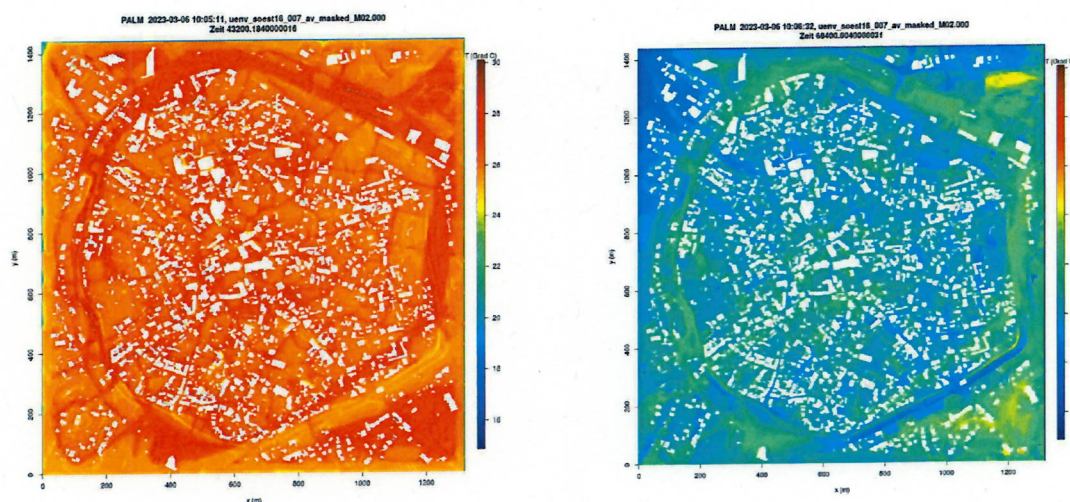


Abbildung 6: PALM4U-Ergebnisse

Ein weiteres Ergebnis der Modellrechnung ist ein Windfeld (Windgeschwindigkeit) nach 12 h Simulationszeit (12 Uhr mittags). Die Windgeschwindigkeit entspricht einem Wert in 1 m Höhe über Grund (Mitte der ersten vertikalen Rechenfläche) und einem zeitlichen Mittelwert über 30 Min. Die Modellergebnisse zeigen niedrige Windgeschwindigkeiten (blaue Flächen) insbesondere in dicht bebauten Gebieten.

Schließlich wurden die Modellergebnisse mit Messungen der SenseBoxen verglichen. Dieser Vergleich konnte im Rahmen der Projektlaufzeit jedoch nicht mehr ausgewertet werden und bleibt damit eine Aufgabenstellung für Anschlussprojekte.

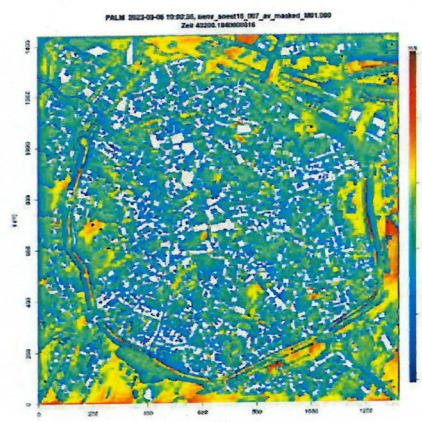


Abbildung 7: berechnete Windgeschwindigkeit (m/s) nach 12 Stunden Simulationszeit (12 Uhr)

#### 4.2.10 Öffentlichkeitsarbeit und Workshops

Die Kommunikation des Projekts BürgerWOLKE folgte einer Multi-Channel-Strategie. Während auf der [Website](#) des Projektes generelle Informationen zum Projekt, dem Ablauf und technische Details bereitgestellt werden, bietet das Dashboard die Übersicht der tatsächlichen Sensordaten in Echtzeit. Für Fragen rund um das Projekt stand der Projektleiter telefonisch und per Mail zur Verfügung. Besondere Meilensteine und Ereignisse wurden über die Social-Media-Kanäle des [stadtLABOR](#) Soests und von [Soest Digital](#) veröffentlicht. Seitens der Stadt gab es sechs Pressemitteilungen sowie einige Artikel der Lokalpresse. Darüber hinaus wurde das Projekt auf verschiedenen Smart-City-Veranstaltungen, Presseterminen und im Rahmen eines Schülerinnenaustausches vorgestellt und mit Interesse aufgenommen. Im Rahmen des Projektes wurden zwei Workshops für alle beteiligten Bürgerinnen und Bürger angeboten. Die Veranstaltungen hatten das Ziel, Grundlagenwissen zur Stadtklimatologie zu vermitteln, die Funktionsweise der SenseBoxen zu erläutern und das Gespräch zwischen den Bürgerinnen und Bürgern mit den Projektverantwortlichen zu ermöglichen. Bei den zwei Workshops nahmen rund 25 interessierte Personen sowie Projektbeteiligte der Stadt Soest, des Fraunhofer Instituts IOSB-INA und des DWD teil. Der erste Workshop hat sich mit Fragen rund um generelle Aspekte der Stadtklimatologie, der Sensorik und mit dem Thema KI beschäftigt. Im zweiten Workshop lag der Fokus auf dem Aufbau der SenseBoxen und der Rolle des LoraWANs.

#### 4.2.11 Hitze-Warnungen

Um die Bürgerinnen und Bürger auf eine mögliche Hitzebelastung hinzuweisen, wurde eine Warnampel entwickelt. Überschreitet die gefühlte Temperatur einen bestimmten Wert, so springt die Ampel von „grün“ auf „gelb“ oder von „gelb“ auf „rot“. Es werden auch entsprechende Verhaltensmaßnahmen angezeigt. Es ist zu beachten, dass die Warnampel nur Hinweise auf eine mögliche Hitzebelastung geben kann. Allein der DWD darf eine amtliche Warnung vor Hitze aussprechen.



Abbildung 8: Warnampel im Dashboard

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Projektergebnisse

Der Aufbau des Messnetzes wurde erfolgreich durchgeführt. Von 100 geplanten Standorten wurden 95 Standorte mit Sensoren ausgestattet. Diese sind gut verteilt und liegen in verschiedenen *Klimatopen* (z.B. Altstadt, Wohngebiet, Dorfgebiet, Freiland) und werden von privaten Personen oder öffentlichen Einrichtungen betrieben.

Die Nutzung von [Geodaten](#) (insbesondere 3D-Geodaten) stellte sich beim Messnetzaufbau als sehr vorteilhaft heraus. Besonders bei der Standortsuche für die LoraWAN-Gateways waren diese sehr gut nutzbar.

Die WMO-Standards für urbane stadtklimatologische Messeinrichtungen können auf lokale Verhältnisse und LowCost-Sensoren angepasst werden.

Die LoraWAN-Technologie eignet sich sehr gut als Kommunikationsnetz und zeichnet sich auch durch eine besondere Stabilität aus (kein Netzausfall während der gesamten Projektlaufzeit)

LowCost-Sensoren eignen sich grundsätzlich zur Messung, die Messdatenqualität ist jeweils stark standortabhängig. Je nach Standort müssen Anpassungen in der Konfiguration und Ausstattung der Sensoren vorgenommen werden wie z.B. der Einbau zusätzlicher Lüfter.

Die Messdatenqualität kann mit KI-Methoden verbessert werden. Dazu sind in jedem Fall professionelle Plausibilitätsmessungen in Form von mobilen Messfahrten und stationären Messungen eine zwingende Ergänzung zu den Rohdaten. Außerdem sind detaillierte Standortbeschreibungen für die KI-Modelle gewinnbringend. Wie die Auswertungen zeigten, führen die im Projekt eingesetzten KI-Methoden zu deutlicher Verringerung des Messfehlers. Insbesondere kommt diese Verbesserung bei der Kompensation der Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung zum Tragen. Insgesamt kann eine deutliche Reduktion des Messfehlers um bis zu 50 % festgehalten werden.

Die Wartung der Sensorik ist relativ aufwendig, kann aber geleistet werden. Erfahrungen aus dem Projekt deuten auf jährliche Wartungskosten von rd. 100 Euro pro Standort hin.

Warnungen sind ein schwieriges Thema, dürfen keinen amtlichen Charakter bekommen.

Stadtklimamodellrechnungen mit PALM4U sind zu ressourcenintensiv, um sie „on the fly“ und regelmäßig dezentral von einer Kommune durchführen zu können. Das Modell PALM benötigt bei entsprechend hoher räumlicher Auflösung eine hohe Rechenzeit: bei der hier gewählten räumlichen Auflösung und der Nutzung von 30 Rechenkernen auf einem Linux-Server für eine Simulation von mehreren Tagen. Damit schließt sich eine near-realtime Simulation z. B. zur near-realtime Korrektur der SenseBox-Daten bei derzeitigem Rechenaufwand aus.

Es ist weiterer Bedarf nötig, das Modell PALM4U (inklusive der Datenaufbereitung) in weiteren Anwendungsprogrammen (z. B. Forschungsprojekten) zu testen, bevor mit „Knopfdruck“-Anwendungen das Modell eine verbreitete Anwendung bei kommunalen und städteplanerischen Vorhaben finden kann. Ebenso ist das (dauerhafte) Hosting des Modells bei Institutionen sowie der Zugang der Kommunen zu Rechnerkapazitäten erforderlich.

Die Schaffung einer Datengrundlage, um fachübergreifende Analysen zur Bewertung stadtklimatologischer Fragestellungen im Rahmen der Bauleitplanung durchführen zu können und Maßnahmen zur Verbesserung des Stadtklimas planen zu können, ist insofern im Projekt „Bürgerwolke 1.0“ noch nicht vollständig gelungen. Es konnten am Ende des Projektes nicht die Anwendung von Werkzeugen/Tools „auf Knopfdruck“ für die Beurteilung von Luftströmungen und der Einflüsse von Neubaugebieten auf das Stadtklima präsentiert werden.

Die Möglichkeiten der Visualisierung der Daten mit OpenSource-Tools sind begrenzt und ausbaufähig. So ist es nicht gelungen mehrere Suchen in die Benutzeroberfläche einzubauen (Suche nach Adresse und Suche nach Standortnummer) und auch die Verknüpfung zwischen Karte und Diagrammen ist nicht dynamisch.

Bürgerinnen und Bürger sind grundsätzlich beim Thema Klima hochmotiviert und kreativ. Ein Bürger hat sich die Anwendung in Eigeninitiative auf sein Smartphone portiert. Ein anderer Bürger nutzt die Daten für seine Landwirtschaft, Erdkundelehrer nutzen die Daten im Erdkundeunterricht und Berufsschüler erproben die Erstellung von Internetseiten mit Bezug zum Klima-Thema.

Die gewonnenen Daten sind für viele Fragestellungen sehr nützlich und werden bereits genutzt. Ein wichtiges Projektziel war die Echt-Zeit-Bereitstellung in einem Dashboard und dies ist gelungen: Alle Roh- und korrigierten Daten sind in einem Dashboard jederzeit verfügbar.

Zu guter Letzt sind alle Projektergebnisse für andere Kommunen gut nutzbar und eine *Übertragbarkeit* ist gegeben:

Sämtliche relevante Informationen und Dokumentationen zum Projekt wie zur Standortsuche, Sensorik, dem Aufbau des Messnetzes, Vergleichsmessungen sind online verfügbar. Das Dashboard ist mit der freien Software Grafana erstellt und kann einfach in andere Datenplattformarchitekturen übernommen werden. Die zur Datenplausibilisierung eingesetzten KI-Algorithmen können auch für andere Sensoren bei vergleichbaren Fragestellungen verwendet werden. Hierbei wird in jedem Fall die Inanspruchnahme von Consulting seitens des Fraunhofer IOSB-INA empfohlen.

## 5.2 Nutzenbetrachtung

Der Nutzen von BürgerWOLKE ist sehr vielfältig: Einzelne Bürgerinnen und Bürger können das Mikroklima an der eigenen Wohnadresse beobachten. Kindergärten, Schulen und die Fachhochschule können die Messungen und Sensoriken in die Umwelterziehung und Naturwissenschaften einbinden und das Thema Klima erlebbar machen. Die Stadtverwaltung kann die gewonnenen Daten in wichtigen Themen wie Klimaschutz und Klimafolgenanpassung uneingeschränkt nutzen. Die Fachhochschule kann die Daten nutzen, um im Rahmen von Forschung und Lehre KI-Methoden zu erproben usw.

Aus dem Projekt entstanden einige Mustervorlagen für andere Kommunen: Zu nennen sind hier die Standortempfehlungen und -kriterien und die daraus resultierende Montageanleitung. Auch die Standortdatenblätter als Muster für eine Messstandortbeschreibung (Metadaten) sind für vergleichbare Messnetze verwendbar. Bei den Warnhinweisen wurden für vier Parameter Schwellenwerte festgelegt, ab wann welche Warnstufe erreicht wird. Schließlich wurden bei der Betrachtung der Datenqualität tolerierbare Bereiche definiert, ab wann ein Messwert unplausibel ist und korrigiert werden sollte.

Es gab allerdings auch einige Herausforderungen im Projekt: U. a. führte die Corona-Pandemie zu fehlenden Präsenzveranstaltungen und dadurch Schwierigkeiten bei der Bürgerinnenbeteiligung. Technische Hindernisse gab es beim Einbau von Lüftern, die sich an einigen Standorten als notwendig erwiesen. Auch beim Stadtklimamodell PALM4U kam es zu erhöhtem Aufwand aufgrund von zu hohen Rechnerkapazitäten.

## 5.3 Verwertung und Anschlussfähigkeit

Mögliche weiterführende Arbeiten im Anschluss an das Projekt *außerhalb der Stadtverwaltung* haben sich schon während der Projektlaufzeit ergeben: Studierende der Fachhochschule Soest haben sich die Messdaten und die Standorte für das Trainieren weiterer KI-Methoden zu Nutze gemacht. Seitens der Stadt Soest und der FH wird daran gedacht bestimmte Themen aus Bürgerwolke zu vertiefen (z. B. Einflüsse der Standortfaktoren auf die Datenqualität) und in Lehrveranstaltungen zu nutzen. Auch zeigen sich die Soester Gymnasien interessiert am

Projekt und schlagen Brücken zu interessanten eigenen Projekten wie z. B. die Integration von sensorgestützten Vogelfutterstationen in das LoraWAN-Netz.

*Innerhalb der Stadtverwaltung* finden die Daten immer größeres Interesse in der Stadtplanung und Klimageschäftsstelle. Hierbei geht es um die potenzielle Verknüpfung der Daten mit anderen Umweltdaten wie die Starkregengefahrenkarte oder im Rahmen der Fortschreibung des Klimaanpassungskonzeptes. Mittelfristig ist der Aufbau eines sogenannten Digitalen Zwillings einzelner Stadtquartiere auf der Grundlage des 3D-Stadt- und Geländemodells und Thermal-Infrarot-Aufnahmen geplant. Hier werden möglicherweise dann auch die in BürgerWOLKE gesammelten Daten integriert werden können.

Die Übertragbarkeit auf andere Kommunen ist gegeben. Im interkommunalen Projekt „5 für Südwestfalen“ arbeiten die beteiligten Städte gemeinsam am Aufbau einer regionalen Datenplattform. Das Projekt BürgerWOLKE stellt hierbei einen der ersten UseCases dar, der auf andere Kommunen aus dem Konsortium übertragen werden soll. Es gibt aber auch Anfragen von weiteren Kommunen aus verschiedenen Bundesländern.

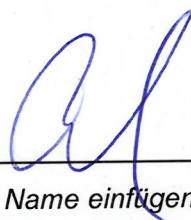
Eine zukünftige Zusammenarbeit mit den bisherigen Projektpartnern ist entweder im Gange (die Stadtwerke Soest betreiben das LoraWAN weiter, der DWD misst weiterhin mit eigenem Equipment in Soest) oder werden noch diskutiert.

Schon jetzt hat das Projekt BürgerWOLKE zu nachhaltigen Veränderungen geführt: Innerhalb der Stadtverwaltung wachsen die Anfragen bzgl. der Messdaten und deren Nutzungsmöglichkeiten stetig an. Außerhalb der Stadtverwaltung werden die Daten sowohl von Privatpersonen als auch von mehreren Institutionen bereits intensiv genutzt. Die zu sich abzeichnenden UseCases sind vielfältig und betreffen einige Lebensbereiche von der Gesundheitsfürsorge über Bildung bis hin zur Planung und den vielen Aufgaben des Klima- und Umweltschutzes.

**Unterschrift Zuwendungsempfänger – Zuwendungsempfänger einfügen**

Soest, 22.06.23

Ort, Datum



Name einfügen

(Stempel und rechtsverbindliche  
Unterschrift)