

Nutzung von Copernicus-Klimadaten in Kommunen am Beispiel der Stadt Konstanz

Use of Copernicus Climate Data in Municipalities using the Example of the City of Constance

Christoph Sebald | Martin Metzner | Tim Tewes | Volker Schwieger

Zusammenfassung

Der Klimawandel stellt eine große Herausforderung für unseren Planeten und unsere Existenz dar, insbesondere auch für Kommunen. Diese sind zunehmend von extremen Bedingungen wie Hitzewellen, Dürren und Überschwemmungen betroffen, die eine Änderung der kommunalen Planung zur Stärkung der Widerstandsfähigkeit (Klimaresilienz) erfordern. Der Zugang zu umfassenden Klimadaten ist dabei für Kommunen entscheidend für die Identifizierung von Risiken, die Bewertung von Anfälligkeitkeiten und die gezielte Planung von Anpassungsmaßnahmen. Das Projekt CoKLIMAX zielt darauf ab, Klima- und Satellitendaten aus dem Copernicus Climate Change Service (C3S) und seinem Copernicus Climate Data Store (CDS) für Kommunen bereitzustellen. Der Schwerpunkt des Projekts liegt auf der Entwicklung benutzerfreundlicher Werkzeuge und effizienter Arbeitsabläufe für die Datenerfassung, -verarbeitung, -bereitstellung und -anwendung der Copernicus-Klimadaten unter Einbeziehung aller Interessensgruppen der Stadt, vor allem der Verwaltung. Die entwickelten Werkzeuge und Anwendungen werden im Projekt als Advanced Municipal Climate Data Store-Toolbox (AMCDS-Toolbox) zusammengefasst.

Schlüsselwörter: Copernicus, Copernicus Climate Change Service, Klimaresilienz, Kommunale Planung, CODE-DE, GIS

Summary

Climate change is a major challenge for our planet and our existence, especially for municipalities. They are increasingly affected by extreme conditions such as heatwaves, droughts and floods, which require a change in municipal planning to strengthen resilience (climate resilience). Access to comprehensive climate data is crucial for municipalities to identify risks, assess vulnerabilities and plan adaptation measures. The CoKLIMAX project aims to make climate and satellite data from the Copernicus Climate Change Service (C3S) and its Copernicus Climate Data Store (CDS) available to municipalities. The project focuses on the development of user-friendly tools and efficient workflows for data collection, processing, provision and application of Copernicus climate data involving all stakeholders of the city, especially the city administration. The developed tools and applications are grouped in the project as Advanced Municipal Climate Data Store-Toolbox (AMCDS-Toolbox).

Keywords: Copernicus, Copernicus Climate Change Service, climate data, municipal planning, CODE-DE, GIS

1 Hintergrund

Hitzewellen, Starkregenereignisse und Überschwemmungen sowie Dürren sind nur einige Beispiele für die extremen Bedingungen, mit denen sich Kommunen im Zuge des voranschreitenden Klimawandels auseinandersetzen müssen. Diese Ereignisse erfordern ein Umdenken in der kommunalen Planung, um die Resilienz der Kommunen und ihrer Bewohner zu stärken.

Viele Studien betrachten die vorhandenen Daten und deren Nutzung in Kommunen und es scheint ein Mangel an hochauflösenden Daten und einfach zu bedienenden Werkzeugen für die kommunalen Verwaltungen zu geben, die diese für die Entscheidungsfindung im Rahmen der kommunalen Entwicklung nutzen können (Bühler 2021). Eine neue Datenressource ist der Copernicus Climate Data Store (CDS – CDS 2024) des Copernicus Climate Change Service (C3S), der Daten im Zusammenhang mit dem Klimawandel und seinen Indikatoren als offene Daten bereitstellt. Die darin enthaltenen Informationen über das Klima der Vergangenheit, der Gegenwart und der Zukunft sowie Indikatoren für den Klimawandel können dabei einen Mehrwert für die kommunale Planung und die notwendigen Klimaanpassungsmaßnahmen liefern (Bund 2024).

Das Projekt CoKLIMAX untersucht, wie die Nutzung von Klima- und Satellitendaten dazu beitragen kann, eine Kommune – im Projekt die Stadt Konstanz – bei der Anpassung an den Klimawandel zu unterstützen. Für dieses Projekt hat sich ein Konsortium, bestehend aus der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung Konstanz (HTWG), dem Institut für Ingenieurgeodäsie (IIGS) der Universität Stuttgart, dem Climate Service Center Germany (GERICS) am Helmholtz-Zentrum Hereon und der Stadt Konstanz, gebildet. Ziel ist es herauszufinden, wie die Stadtplanung in der Pilotstadt Konstanz speziell mit Hilfe von Daten und Informationen aus dem Copernicus-Programm effektiver und widerstandsfähiger gegenüber klimatischen Veränderungen gestaltet werden kann. Der Fokus liegt dabei auch auf der Entwicklung von benutzerfreundlichen Werkzeugen und effizienten Arbeitsprozessen für die Erfassung, Verarbeitung, Auswertung und Anwendung von Daten durch die Kommune. Ein zentraler Ansatz besteht darin, die umfangreichen und z. T. sehr komplexen Copernicus-Daten aus dem CDS so aufzubereiten und bereitzustellen, dass sie (möglichst) nahtlos in die bestehenden Verwaltungsprozesse integriert werden

können und ein einfacher Zugang zu den Informationen realisiert wird. Die hierfür entwickelten Werkzeuge und Anwendungen werden im Projekt als Advanced Municipal Climate Data Store-Toolbox (AMCDS-Toolbox) zusammengefasst, wobei ein Fokus auf Anwendungen aus den Bereichen Wärme, Wasser und Vegetation gelegt wird.

Im Rahmen des Projektes wurde gemäß Vögt et al. (2023) festgestellt, dass die Verwaltungseinheiten der Kommunen vor zahlreichen Herausforderungen bei der Integration von Klimadaten in die kommunale Planung stehen. Es existieren diverse rechtliche Rahmenbedingungen, darunter nationale und lokale Vorschriften, die die Verwendung von Klimadaten in bestehenden Strukturen und Planungsverfahren behindern. Deshalb schlagen Vögt et al. (2023) vor, dass »die Ressourcen innerhalb der AMCDS-Toolbox in allen Phasen« der Verfahrensprozesse innerhalb der Stadt einzogen werden können, »um alle Interessengruppen von der Gemeinde und dem Stadtrat bis hin zu Bürgern, öffentlichen Einrichtungen und externen Experten zu unterstützen«. Die Toolbox soll hierbei helfen, frei verfügbare Informationen und Klimadaten über die regionale und lokale Umwelt bereitzustellen. Zusätzlich soll die Toolbox bei der kommunalen Planung hinsichtlich Demonstration und Bewertung der Auswirkungen der geplanten Klimawandelanpassungsmaßnahmen unterstützen (Vögt et al. 2023).

Im Folgenden werden in Abschnitt 2 Hintergrundinformationen zu dem Projekt und der Stadt Konstanz gegeben, und in Abschnitt 3 der C3S und das Potenzial der darin enthaltenen Daten für das Projekt beschrieben, gefolgt von einem Überblick zum technischen Hintergrund der im Projekt verwendeten ArcGIS Enterprise-Plattform auf der CODE-DE Cloud, d. h. der Cloud-Infrastruktur, die für die Nutzung der Copernicus-Daten bereitgestellt wird. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR hat hierbei im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) die Firma CloudFerro S.A. mit dem Aufbau, dem

Betrieb und der Weiterentwicklung der CODE-DE Cloud betraut. In Abschnitt 4 werden dann beispielhaft einige ausgewählte Anwendungen beschrieben.

2 Die Stadt Konstanz: Projektpartner und Projektgebiet

Die Stadt Konstanz, gelegen am Bodensee in Baden-Württemberg, erstreckt sich über eine Fläche von circa 55 Quadratkilometern und hat eine Bevölkerung von über 80.000 Einwohnern. Die Stadt zeichnet sich durch ein gemäßiges, subozeanisches Klima aus, welches durch milde Jahresdurchschnittstemperaturen und einen durchschnittlichen Jahresniederschlag von 900 mm charakterisiert ist (Rösch 1993). Die Bodenbedeckung des Gebietes besteht u. a. aus Siedlungsflächen, Ackerflächen, Grünland, Laub- und Mischwald sowie Feuchtfächen (Auen) (Lechterbeck und Rösch 2021). Neben den Auswirkungen des Klimawandels auf die Stadt Konstanz stellt auch die zunehmende Erwärmung der Wassertemperatur des Sees eine ernsthafte Gefahr für die Wasserqualität und die ökologische Integrität dar, was sich wiederum negativ auf die Nutzungsmöglichkeiten des Sees auswirkt (Heugel und Chilla 2021). Eine Übersicht des Projektgebiets findet sich in Abb. 1.

Die Stadt Konstanz hat ihre Eignung für die erfolgreiche Umsetzung des Projekts durch ihre umfangreichen und gut etablierten Aktivitäten und VORarbeiten im Bereich der Klimaresilienz und verwandter Themen mehrmals unter Beweis gestellt. Das Amt für Stadtplanung und Umwelt ist mit seinen Abteilungen Umwelt und Grün, Stadtplanung, Stadtentwicklung und Mobilität bereits seit vielen Jahren in diesem Bereich aktiv. Auch das Tiefbauamt, das für die Entwässerung und damit für die Bewältigung von Starkregenereignissen zuständig ist, sowie die Technischen Betriebe Konstanz, die sich um den Unterhalt und die Pflege der Grünflächen kümmern, spielen eine bedeutende Rolle. Bereits mit der Verabschiedung eines Beschlusses zur Ausrufung des Klimanotstands im Jahr 2019 hat die Stadt Konstanz gezeigt, dass das Thema Klimawandel einen sehr hohen Stellenwert in der Stadt hat. Ein weiterer und für das Projekt essenzieller Punkt ist, dass die Stadt bereits aktiv und umfassend Geo- und Umwelt-daten einsetzt.

Grünflächen kümmern, spielen eine bedeutende Rolle. Bereits mit der Verabschiedung eines Beschlusses zur Ausrufung des Klimanotstands im Jahr 2019 hat die Stadt Konstanz gezeigt, dass das Thema Klimawandel einen sehr hohen Stellenwert in der Stadt hat. Ein weiterer und für das Projekt essenzieller Punkt ist, dass die Stadt bereits aktiv und umfassend Geo- und Umwelt-daten einsetzt.

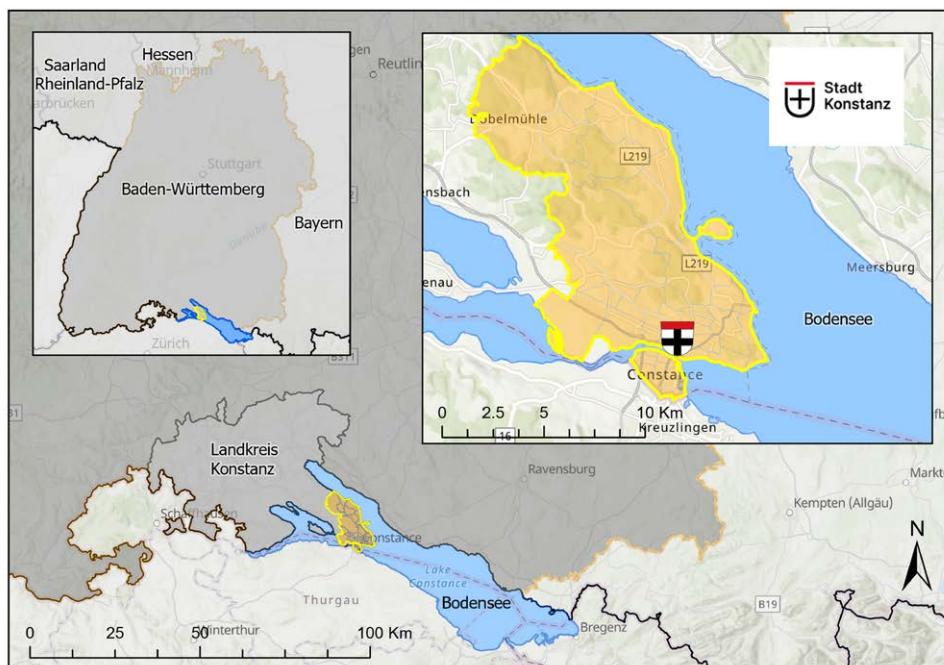


Abb. 1:
CoKLIMAx-Projektgebiet:
die Stadt Konstanz

3 Datengrundlage und technische Basis

3.1 Der Copernicus Climate Change Service

Der Copernicus Climate Change Service (C3S) stellt einen der gegenwärtig sechs thematischen Dienste des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus dar. Das primäre Ziel des Dienstes besteht in der Bereitstellung von autorisierten Informationen über das Klima der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft sowie von Indikatoren für den Klimawandel. Um eine Vielzahl von klimabezogenen Produkten und Dienstleistungen zu generieren, werden im C3S Daten aus diversen Quellen aggregiert und zur Verfügung gestellt, einschließlich Satellitenbeobachtungen, terrestrischen Messungen und Klimamodellen. Darüber hinaus offeriert der C3S eine Vielzahl von Instrumenten und Services, um die Nutzung dieser Daten zu erleichtern. Hierzu zählen Tools zur Datenvisualisierung, Klimaindikatoren sowie Klimaszenarien. Die Daten werden über den sogenannten Copernicus Climate Data Store (CDS) veröffentlicht und kostenfrei für kommunale Anwender angeboten. Die Produkte beinhalten dann z. B. Informationen zu Hitzewellen, Wasserständen und Temperaturen von Seen, zu Niederschlagsprognosen und vielen anderen bedeutenden Klimavariablen (Essential climate variables – ECVs) (Bountempo et al. 2022). Im Rahmen des Projekts CoKLIMAX werden die umfangreichen Inhalte des CDS in einem auf die Bedürfnisse der Nutzer zugeschnittenen Klimadatenkatalog aufbereitet und veröffentlicht, der mit Anwendungsbeispielen angereichert ist.

3.2 CoKLIMAX IT-Infrastruktur

Zur Durchführung des Projektes wurde eine ArcGIS Enterprise-Plattform in einer Cloud-Umgebung, verteilt auf Virtuellen Maschinen (VMs), installiert. Benutzt wurde

hierzu die CODE-DE Cloud, welche im nächsten Abschnitt noch näher erläutert wird. Die darauf installierte GIS-Plattform wird im Projekt CoKLIMAX zentral für alle durchzuführenden Aufgaben bereitgestellt, beispielsweise für die Realisierung der Extract-Transform-Load-Prozesse (ETL-Prozesse) und Prozessketten oder die Speicherung bereits vorhandener oder generierter Daten. Ferner wurde ein Zugriff auf die Geodaten der Stadt Konstanz durch die Einrichtung einer ArcGIS-Portal-Connection realisiert, wodurch ein Datenaustausch zwischen beiden Plattformen (ArcGIS-Plattform der Stadt Konstanz sowie des CoKLIMAX-Projektes auf CODE-DE) ermöglicht ist. Über die CODE-DE Cloud ist außerdem der Internetauftritt des Projekts bewerkstelligt, die Domain coklimax.net wird hierzu als Schnittstelle zum Internet eingesetzt. Die GIS-Plattform steht somit als zentraler Knotenpunkt zur Verfügung, an dem Nutzer Karten, Anwendungen und Geodaten erstellen, gemeinsam nutzen, verwalten und mit anderen Nutzern als Services teilen können.

3.2.1 CODE-DE Cloud und ArcGIS Enterprise

CODE-DE ist die Abkürzung für »Copernicus Data and Exploitation Platform – Deutschland« (CODE-DE 2024) und bietet Geodaten und Cloud-Prozessierung aus dem Copernicus-Programm der Europäischen Union speziell für Deutschland an. Das Copernicus-Programm ist ein Satellitenbeobachtungsprogramm, das verschiedene Datenarten (wie z. B. Fernerkundungsbilder im sichtbaren und infraroten Spektrum, Radardaten, thermische Daten, Daten über die Konzentration von Schadstoffen in der Luft) sammelt.

Über CODE-DE wird dabei nicht nur der Zugang zu den Fernerkundungsdaten zur Verfügung gestellt, sondern auch zu Speicherressourcen, Programmen, Rechenkapazität und Werkzeugen zur Verarbeitung der Daten (Cozacu et al. 2022). Im Projekt CoKLIMAX werden die Ressourcen

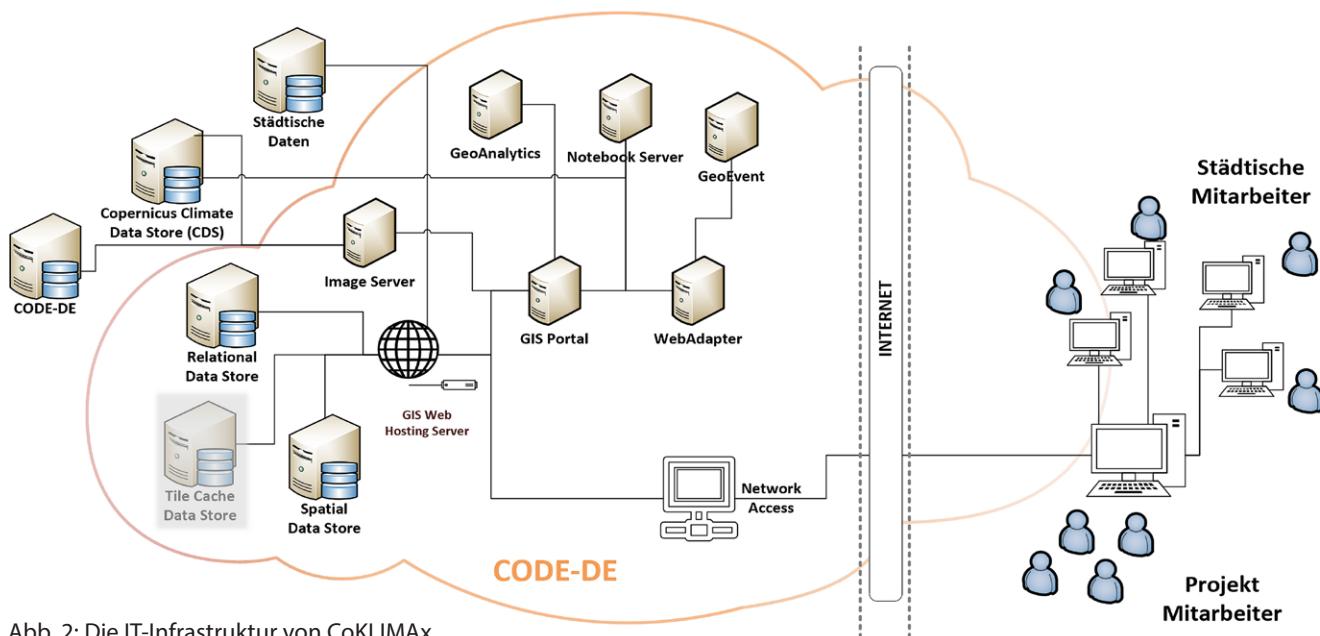


Abb. 2: Die IT-Infrastruktur von CoKLIMAX

der Virtuellen Maschinen (VM) auf der Cloud-Plattform, anstelle der eigenen IT- bzw. Server-Infrastruktur genutzt. Die Cloud-Umgebung gilt ferner aufgrund der BSI-Zertifizierung als sicheres Arbeitsumfeld und ist somit auch im Umfeld von kommunalen Verwaltungen einsetzbar.

Die Darstellung in Abb. 2 zeigt einen Teil der IT-Struktur für das CoKLIMAX-Projekt in der CODE-DE Cloud. Grundsätzlich wird die Vorgehensweise, die Software ArcGIS Enterprise von Esri in der Cloud-Umgebung zu installieren, als positiv und erstrebenswert bewertet, da so das Potenzial, die Leistungsfähigkeit, Flexibilität, Skalierbarkeit und Sicherheit einer GIS-Infrastruktur optimal ausgenutzt werden kann.

3.2.2 Datenbereitstellung und Advanced Municipal Climate Data Store-Toolbox (AMCDS-Toolbox)

Um zu veranschaulichen, wie die Copernicus-Klimadaten und Informationen genutzt werden können, werden im Projekt CoKLIMAX Anwendungsbeispiele (vgl. Abschnitt 4) erarbeitet, die potenzielle Anwendungen zur Entscheidungsunterstützung und für Planungsarbeiten in der Kommune darstellen. Für die Anwendungen werden Daten aus dem CDS und In-situ-Messungen extrahiert, transformiert und in die Anwendung geladen (sog. ETL-Prozess). Ein Arbeitsablauf, um Daten aus dem CDS an eine Anwendung zu übergeben, beginnt mit der Selektion und Datenextraktion auf dem CDS (siehe Abb. 3, Schritt 1). Bei der Auswahl der Daten muss bestimmt werden, welche Parameter (z.B. zeitliche und räumliche Auflösung) ausgewählt und welche Datenformate und Zugangsmethoden (z.B. API, FTP, Webservices) festgelegt werden. Getestet und genutzt wird im Projekt der manuelle Download wie auch der Download mit Hilfe der API und Softwarewerkzeugen von Esri (ArcGIS Enterprise Notebook und Notebook in ArcGIS Pro). Beide Methoden funktionierten gut.

Im nächsten Schritt 2 werden die Daten aus dem CDS übermittelt und in ihrem ursprünglichen Format (z.B. NetCDF, CSV, HDF5) extrahiert. In Schritt 3 findet eine Vorverarbeitung der Daten statt, bei der die Konvertierung der Daten in ein mit der Software ArcGIS Enterprise kompatibles Format (z.B. Shapefiles, Geodatenbanken) durchgeführt wird. Es ist nicht auszuschließen, dass Variablen umgeschrieben und zusätzliche Datentransformationen durchgeführt werden müssen (wie z.B. Reprojektion, Aggregation, Filterung), um die Daten für die Integration auf die GIS-Plattform vorzubereiten. Im vierten Schritt werden die vorverarbeiteten Daten in die ArcGIS Enterprise-Plattform geladen. Dabei muss beachtet werden, in welchem geeigneten Datenspeicher und Format (z.B. Feature-Klassen, Rasterdatensätze) diese innerhalb der Plattform gespeichert werden. In Schritt 5 geht es bereits um die Anwendungsentwicklung, wobei Karten und Anwendungen mit Schnittstellen auf die Daten für die Datenvisualisierung und -analyse entworfen werden. In Schritt 6 werden Werkzeuge von ArcGIS und darin enthaltenen Bibliotheken zur Visualisierung der integrierten Daten angewendet und die

Ergebnisse als Karten in Dashboards und Apps in sinnvoller Weise präsentiert. In einem weiteren Schritt (Schritt 7) werden Tests durchgeführt, um die Benutzerfreundlichkeit der integrierten Daten sowie die Funktionalität und Leistungsfähigkeit der GIS-Anwendungen zu gewährleisten. Das Bereitstellen (Schritt 8) der integrierten Daten und GIS-Anwendungen in der ArcGIS Enterprise-Umgebung wird realisiert, indem die Anwendungen für die Endbenutzer über Webbrowser zugänglich gemacht wurden.

Neben dem Zugriff auf die Klimadaten des CDS werden zusätzlich In-situ-Messungen in das Projekt eingebunden. Diese Messungen werden durch zusätzlich installierte Sensorik (Wetterstationen) in Konstanz erfasst. Neben einfacher, kostengünstiger Sensorik sind auch zwei hochwertige Wetterstationen implementiert worden. Ein Ziel dabei ist zum einen, einen Vergleich zwischen lokalen Messungen und denen des C3S vornehmen zu können, zum anderen ist dadurch auch eine Steigerung der räumlichen Auflösung der Messungen (mit gleichzeitig möglichst kostengünstigen und/oder exakt messenden Sensoren) möglich. Die In-situ-Messungen fließen ebenfalls in die ArcGIS Enterprise-Plattform und werden über Dashboards zur Verfügung gestellt. Somit entstehen aus der Vielzahl der Daten und Anwendungen die Werkzeuge der AMCDS-Toolbox.

4 Anwendungsbeispiele

Wie bereits oben erwähnt, nutzt die Stadtverwaltung Konstanz bereits in großem Ausmaß und Umfang Geo- und Umweltdaten mit ArcGIS Software, um digitale Informationsquellen in der kommunalen Planung einzusetzen. Im Rahmen des Projektes CoKLIMAX wurde zunächst eine umfassende Anforderungsanalyse durchgeführt, um die Bedürfnisse der Stadtverwaltung hinsichtlich von benötigten und in das bestehende Umfeld passenden Klimadaten besser zu verstehen (Vögt et al. 2023).

Nach Absprache mit der Stadt und unter Berücksichtigung ihrer Interessen wurde im Laufe des Projektes entschieden, sich aus der Vielzahl der Daten auf folgende Datensätze aus dem CDS zu konzentrieren, welche dann in den einzelnen, beispielhaften Anwendungen verwendet wurden:

- Hitzewellen und Kälteperioden in Europa auf der Grundlage von Klimaprojektionen (Heat waves and cold spells in Europe derived from climate projections),
- CORDEX regionale Klimamodell-Daten auf einzelnen Ebenen (CORDEX regional climate model data on single levels),
- Oberflächenwassertemperatur des Sees von 1995 bis heute, abgeleitet aus Satellitenbeobachtungen (Lake surface water temperature from 1995 to present derived from satellite observations),
- ERA5-Reanalyse abgeleitete Indizes für den thermischen Komfort (Thermal comfort indices derived from ERA5 reanalysis),

- Blattflächenindex und Anteil der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung 10-tägiger Rasterdaten von 1981 bis heute (Leaf area index and fraction absorbed of photosynthetically active radiation 10-daily gridded data from 1981 to present),
- Klimavariablen für 100 Städte in Europa 2008 bis 2017 (Climate variables for cities in Europe from 2008 to 2017).

Gleichzeitig wird damit im Projekt CoKLIMAx der Fokus auf Anwendungen aus den Bereichen Wärme, Wasser und Vegetation gelegt, aus denen im Folgenden einige Beispiele vorgestellt werden.

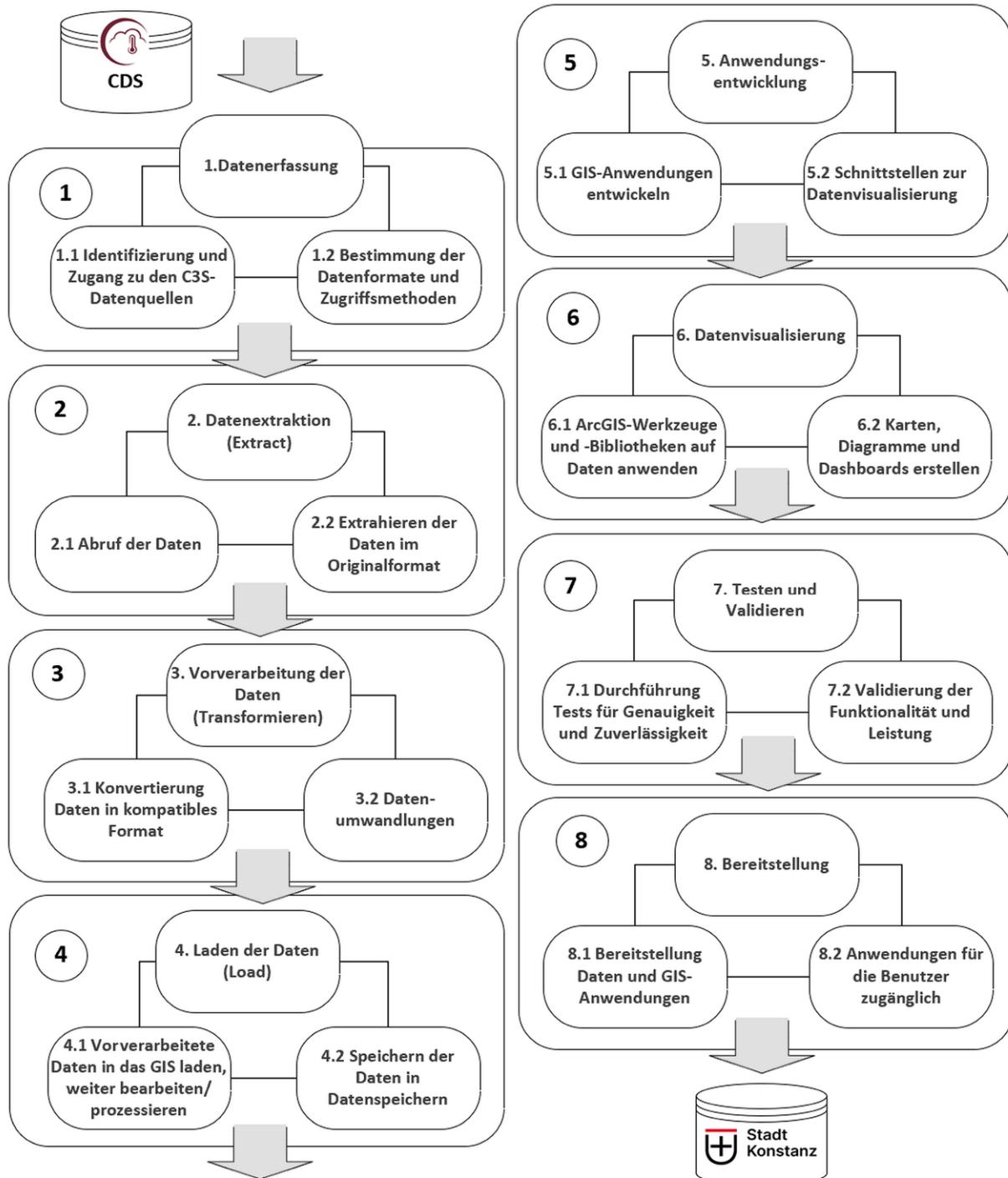
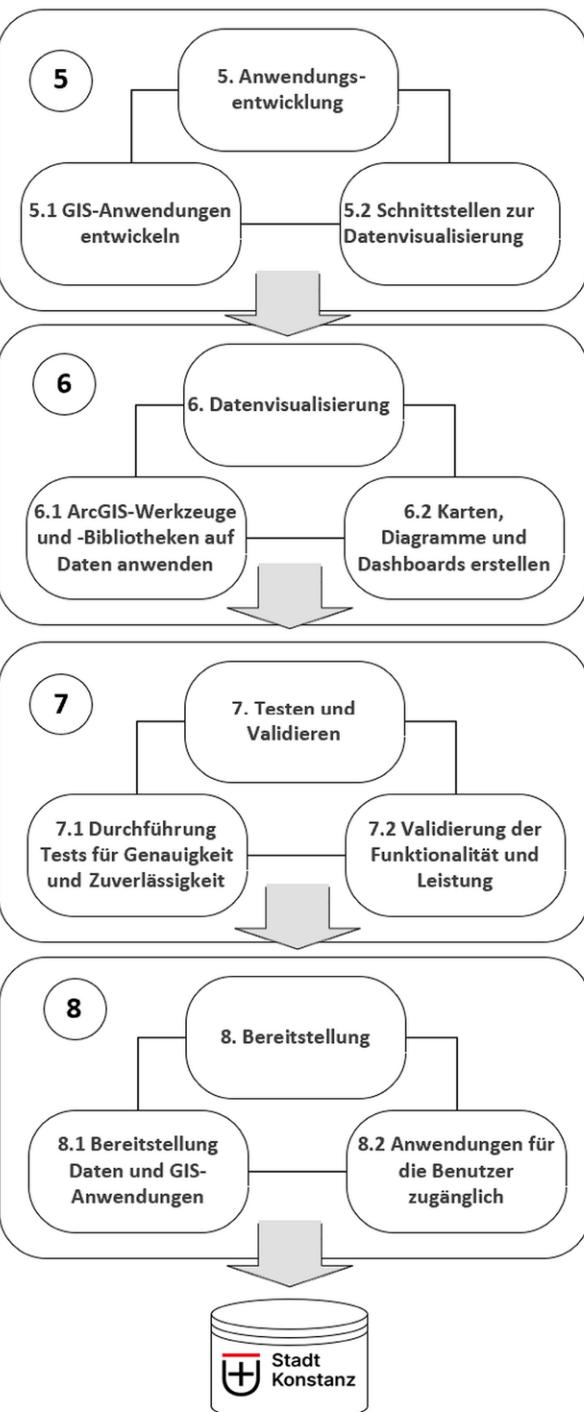


Abb. 3: ETL-Prozesskette: C3S-Daten aus dem CDS bis zur Anwendung

4.1 Wärme

Ein Anwendungsbeispiel für das Thema Wärme (vgl. Abb. 4) bezieht sich auf die Auswirkungen von auftretenden Hitzewellen auf die Kommune. Auch wenn die Ausgangsdaten aufgrund ihrer groben Auflösung mit viel Aufwand herunterskaliert wurden, geben sie Einblicke hinsichtlich der zukünftigen zu erwartenden Temperaturen, auf deren Grundlage kommunale Planungsentscheidungen getroffen werden können.

Modellrechnungen (Klimaprojektionen) deuten darauf hin, dass zukünftig mit einem Temperaturanstieg zu



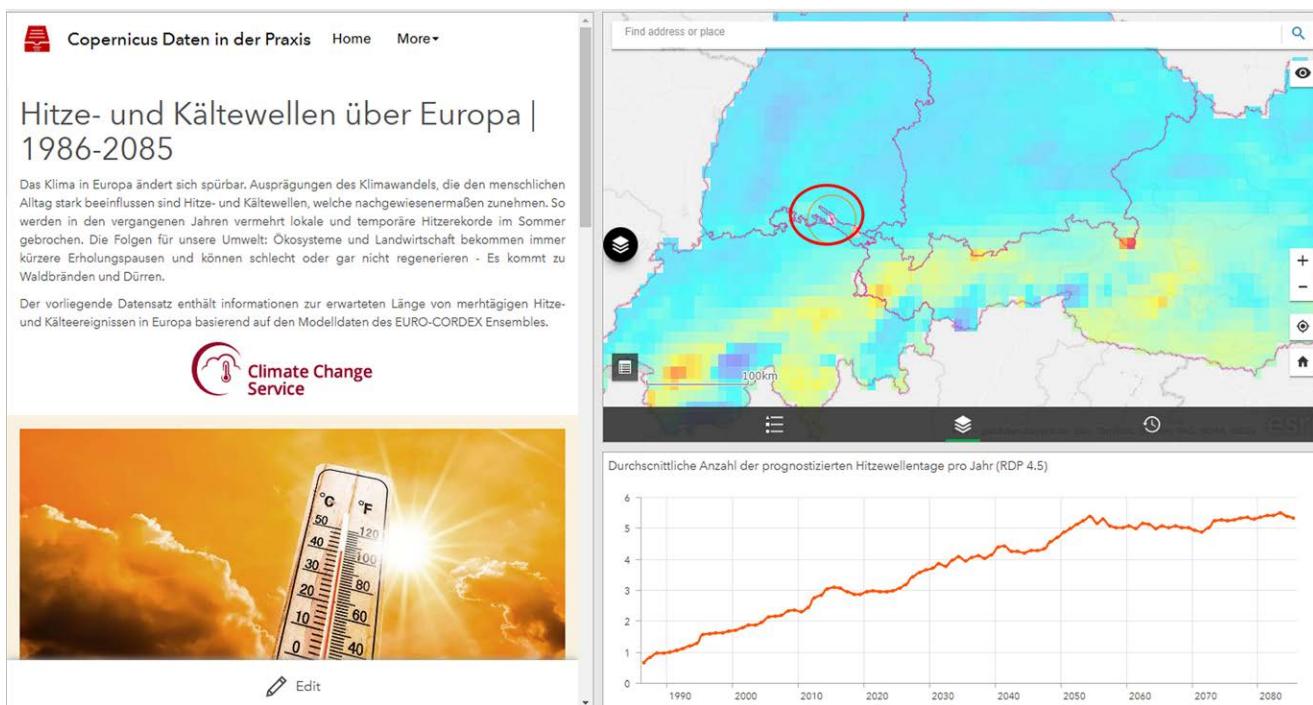


Abb. 4: Dashboard Hitzewellen

rechnen ist. In Abb. 4 ist eine weitere, daraus folgende Auswirkung zu sehen – die der Hitzewellen (definiert als eine mehrtägige Periode mit ungewöhnlich hoher thermischer Belastung (DWD 2024)). Der dargestellte und bis in das Jahr 2085 modellierte Anstieg deutet darauf hin, dass Hitzewellen häufiger und intensiver auftreten werden. Gleichzeitig nimmt die Anzahl der Kälteperioden ab.

Das Dashboard in Abb. 4 zeigt links die Katalogseite, welche die Einzelheiten zum Datensatz zu Hitze- und Kältewellen in Europa beschreibt. Der Datensatz enthält die Anzahl der Tage mit Hitze- und Kälteperioden, die im Rahmen einer Modellierung des Europäischen Gesundheitsdienstes des C3S entwickelt wurde. Die Hitzewellen- und Kälteperioden sind für verschiedene zukünftige Zeiträume verfügbar und basieren auf verschiedenen Klimawandel-

szenarien (CDS 2024). Rechts oben im Dashboard ist die Karte mit dem eingebundenen Datensatz aus dem CDS zu sehen. Das Diagramm rechts unten zeigt als Ergebnis der Modellierung mit Representative Concentration Pathway 4.5 (RCP 4.5) die durchschnittliche Anzahl der prognostizierten Hitzewellentage pro Jahr von 1986 bis 2085. RCP 4.5 wird in der Klimamodellierung zur Vorhersage künftiger Treibhausgasemissionen und deren möglicher Auswirkungen auf das Erdklima genutzt.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel zum Thema Wärme ist die Verwendung der CORDEX-Daten (CDS 2024) in Abb. 5. Links im Dashboard ist wieder eine Katalogwebseite eingebunden, mit der der Datensatz beschrieben ist. In der Mitte ist eine Anwendung mit dem Dashboard verknüpft, in welcher die prognostizierte Entwicklung der

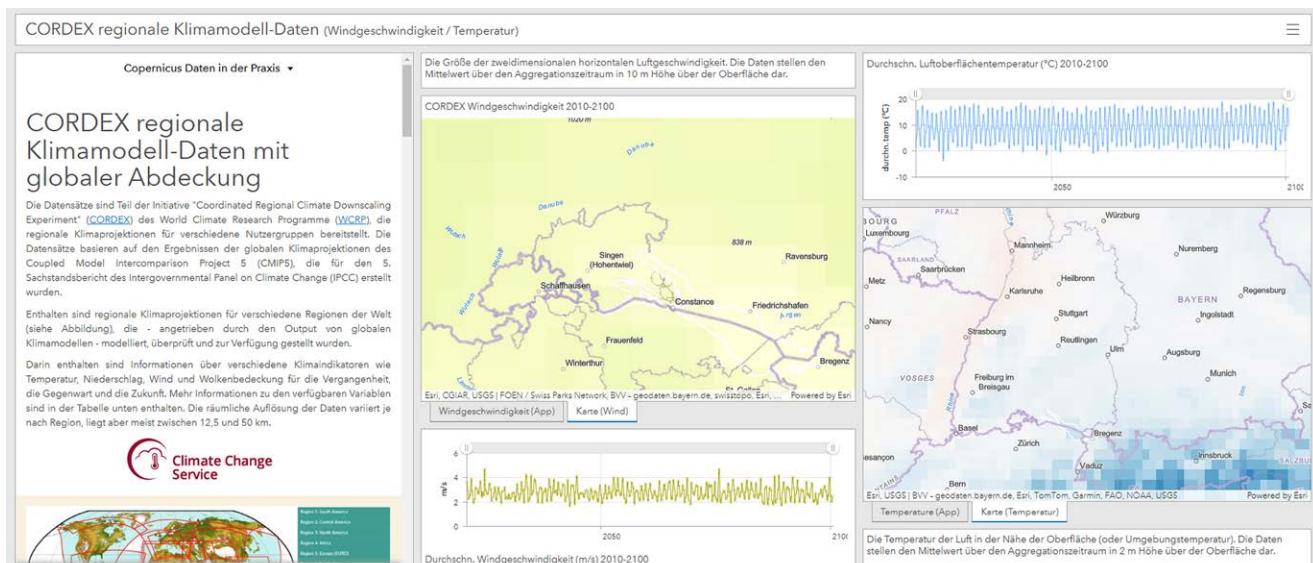


Abb. 5: Dashboard Temperatur und Windgeschwindigkeit

durchschnittlichen Wind- bzw. Luftgeschwindigkeit (m/s) für die Jahre 2010 bis 2100 visualisiert wird, zur Rechten ist die durchschnittliche Luftoberflächentemperatur (°C) 2010 bis 2100 dargestellt.

Ähnlich wie im vorherigen Beispiel zu Hitzewellen in Abb. 4 ist es anhand der Darstellung möglich, Risiken von Extremwetterereignissen besser einzuschätzen und darauf basierend geeignete Anpassungsmaßnahmen zu planen. Obwohl die räumliche Auflösung der CORDEX-Daten je nach Region variiert (Seitenlänge einer Rasterzelle meist zwischen 12,5 km und 50 km), ist es dennoch möglich, Muster und Veränderungen zu erkennen, wobei kleinere Kommunen mit einem oder zwei Pixeln der Rasterdaten bereits abgedeckt sind. Die CORDEX-Daten bieten trotz ihrer geringen Auflösung, im Vergleich zu einigen hochauflösenden Modellen, wichtige Erkenntnisse auf regionaler Ebene, um das Bewusstsein der Öffentlichkeit für den Klimawandel und dessen mögliche Folgen für die lokalen Kommunen zu schärfen.

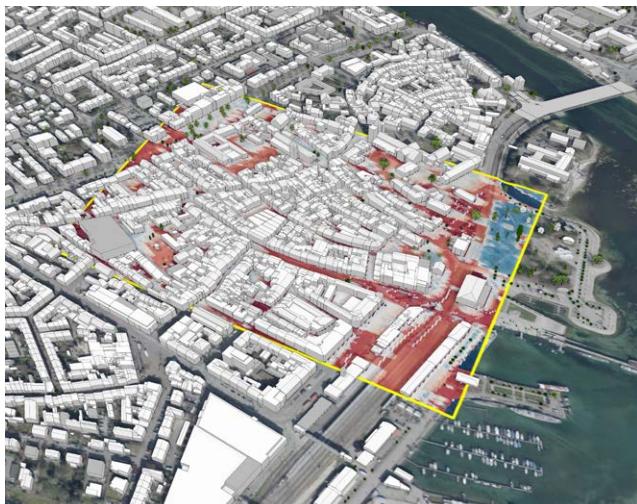


Abb. 6: Palm4U Modellierung (Oktober 2023, Akteurs Workshop Stadt Konstanz, <https://coklimax.net/>)

Um die Auswirkungen durch die Hitzebelastungen auch im kleinskaligen Bereich zu untersuchen, werden im Projekt zudem mikroskalige Klimanalysen für den städtischen Bereich durchgeführt, um hier weitere Aussagen treffen zu können (vgl. Abb. 6). Die technische Umsetzung wird von struc.ture GmbH begleitet und durchgeführt. Genutzt wird das Stadtclimamodell PALM4U, welches zusätzliche, hochauflöste Informationen über das Bioklima, den Temperaturverlauf oder die Durchlüftung der Stadträume simulieren und berechnen kann.

4.2 Wasser

Aufgrund der besonderen Lage am Bodensee sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserstände des Sees sowie der lokalen Fließgewässer für die Stadt von besonderem Interesse. Neben der Notwendigkeit, Maßnahmen zur Hochwasservorsorge zu ergreifen, ist auch das Auf-

treten von Hoch- und Niedrigwasser des Bodensees eine Herausforderung, die eine spezielle Strategie erfordert. Um Aussagen über Eintrittswahrscheinlichkeiten von Extrembedingungen treffen zu können, wurde mit Hilfe eines hydrologischen Modells (HEC-HMS) das Einzugsgebiet des Bodensees bis zum Jahr 2100 modelliert. HEC-HMS und HEC-RAS sind hydrologische Modellierungsprogramme, die vom US Army Corps of Engineers entwickelt wurden. HEC-HMS simuliert Niederschlag-Abfluss-Prozesse, während HEC-RAS die Flusshydrdraulik modelliert. Zusammen bieten sie die Möglichkeit, Analysen von Hochwasserrisiken und das Verhalten von Wassereinzugsgebieten wie auch die Planung hydraulischer Strukturen für die Bewirtschaftung von Wasserressourcen zu modellieren (HEC 2024). Die technische Umsetzung wurde vom Ingenieurbüro Tejeda (Tejeda 2024) begleitet und unterstützt. Als Datengrundlage dienten die Landklassifikationen CORINE Land Cover als Teil des Copernicus-Landüberwachungsdiensts (Copernicus Land Monitoring Service – CLMS) sowie Klimaprojektionen aus dem C3S. Darauf aufbauend wurde in einem nächsten Schritt die Entwicklung des Seerheins als größtes Fließgewässer in Konstanz modelliert (HEC-RAS) und die Wahrscheinlichkeit von Extremsituationen simuliert. Die Ergebnisse wurden als Anwendungsbeispiel für die Toolbox aufbereitet, sodass diese von der Stadtplanung weiterverwendet werden können (vgl. Abb. 7).

Das Dashboard in Abb. 7 zeigt die modellierten Klimawandelszenarien zu Hoch- und Niedrigwassereignissen sowie aktuelle Messwerte und Informationen der zwei Pegelmessstellen Konstanz-Bodensee und Konstanz-Rhein oder die Hochwassergefahrenkarten der Hochwasservorhersagezentrale Land Baden-Württemberg (LUBW 2024).

4.3 Vegetation

Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist die Modellierung der Vegetationsgesundheit, deren Ergebnisse im Vegetations-Dashboard gezeigt werden (vgl. Abb. 8). Die Karte zeigt den Zustand der Vegetation im Juli 2021. Der Zustand der Vegetation in den Stadtvierteln bzw. landwirtschaftlichen Flächen ist kategorisiert und reicht von »gestresster Vegetation« bis hin zu »gesunder Vegetation«. Die erarbeiteten Ergebnisse tragen wiederum dazu bei, neue Einblicke zu gewinnen und die urbane resiliente, klimaangepasste Planung zu verbessern sowie Handlungsräume zu erkennen. Zudem bieten sie ein intuitives Werkzeug zur Überwachung der Vegetationsgesundheit und ihrer Reaktion auf Klimabedingungen (Vögt et al. 2023).

Die verfügbaren Daten zu Klima- und Vegetationsindikatoren wiesen, analog zu den Temperaturdaten, eine grobe Auflösung auf. Daraufhin wurde auch hier ein Arbeitsablauf entwickelt, um ein einfaches Instrument zur Beobachtung von Veränderungen und Zustand der Vegetation bereitzustellen (Khikmah et al. 2024). Die abgeleiteten Daten aus dem CDS umfassen bioklimatische Indikatoren, wie den jährlichen Feuchtigkeitsindex und die Mindesttemperatur

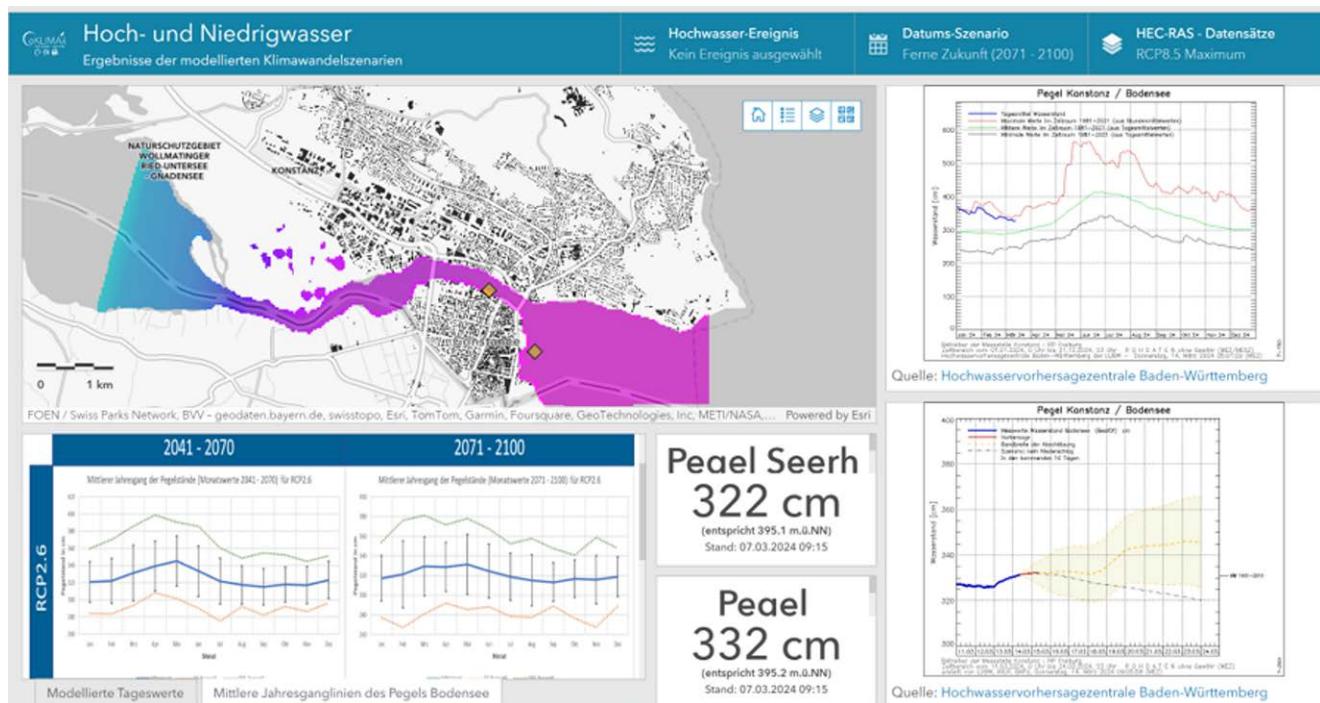


Abb. 7: Dashboard Hoch- und Niedrigwasser, Pegelstände Messstationen

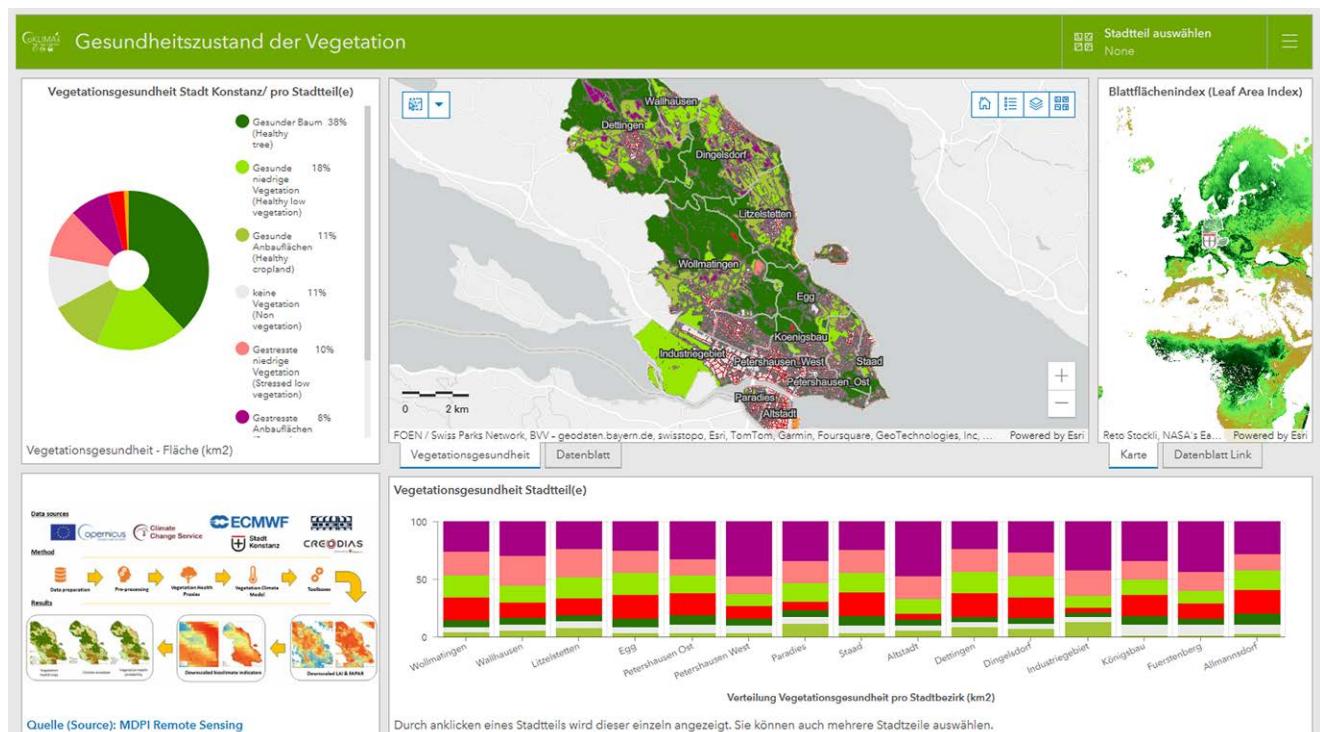


Abb. 8: Dashboard Vegetationsgesundheit

des kältesten Monats. Die verwendeten biophysikalischen Parameter sind der Blattflächenindex (LAI) und der Anteil der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (FA-PAR). Zur Ableitung der Gleichungen für die herunterskalierten biophysikalischen Parameter wurden ein lineares Regressionsmodell (Khikmah et al. 2024) sowie Daten des Copernicus Satelliten Sentinel-2 verwendet.

5 Fazit und Ausblick

Durch die Kombination einer leistungsstarken Plattform (z. B. CODE-DE) und Software (z. B. ArcGIS Enterprise), die durch eine Zusammenarbeit mehrerer Akteure bereitgestellt und genutzt wird, zusammen mit den Copernicus-Klimadaten und den Fachkenntnissen von Experten, können Kommunen in die Lage versetzt werden, fundierte

Entscheidungen für die kommunale Entwicklung unter Zuhilfenahme von Klimadaten zu treffen. Dadurch können Kommunen langfristig ihre Resilienz gegenüber dem Klimawandel stärken und eine nachhaltige und lebenswerte (kommunale) Umwelt schaffen.

Es werden im Projekt Anwendungen entwickelt und getestet, die zusammen die AMCDS-Toolbox bilden. Die aus dem CDS stammenden Daten und die darin enthaltenen Variablen werden genutzt, um die Themen Wärme, Wasser und Vegetation für die kommunale Verwaltung im Kontext der Herstellung einer Klimaresilienz aufzuarbeiten. Zum einen werden den Nutzern Analysen und Visualisierungen bereitgestellt, zum anderen werden über die Projekthomepage auch Beispieldokumente des Workflows (in Python) bereitgestellt, sodass versierte Nutzer diese für eigene Anwendungen anpassen und weiternutzen können. Dies alles wird mit kommerzieller Software wie ArcGIS Enterprise Notebook, ArcGIS Online und mit ArcGIS Pro, aber auch Open Source Software, wie QGIS, umgesetzt. Das Resampling einiger Daten des CDS, die eine sehr grobe Auflösung haben, gilt dabei häufig als unerlässlich, um diese dann im kommunalen Umfeld anschaulich nutzen zu können.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass insbesondere auch die in die Zukunft projizierten Klimadaten ein entscheidendes Potenzial für kommunale Planungsprozesse und die Stärkung der Klimaresilienz aufweisen. Die effektive Nutzung ist an eine Vielzahl verschiedener Herausforderungen gebunden, die mit Unsicherheit, Nicht-übereinstimmung von Größenordnungen, Datenqualität, interdisziplinärer Zusammenarbeit, Kapazitätsaufbau, Ressourcenbeschränkungen, politischen Barrieren und Kommunikationsschwierigkeiten zusammenhängen (Copernicus 2023). Um die vorliegenden Herausforderungen zu bewältigen, bedarf es immer wieder einer gesamtheitlichen koordinierten Anstrengung seitens der verantwortlichen, politischen Akteure und der kommunalen Verwaltung sowie von Forschern und anderen kommunalen Beteiligten. Durch die Einbeziehung von Copernicus-Klima-Daten in die Entscheidungsfindung einer Kommune kann eine Stadt wie Konstanz ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel verbessern und eine nachhaltige Entwicklung auf lokaler Ebene erreichen.

Literatur

- Bühler, M. M., Sebald, C., Rechid, D., Baier, E., Michalski, A., Rothstein, B., Nübel, N., Metzner, M., Schwieger, V., Harris, J.-A. (2021): Application of Copernicus Data for Climate-Relevant Urban Planning Using the Example of Water, Heat, and Vegetation. In: *Remote Sensing* 13, no. 18: 3634. DOI: 10.3390/rs13183634.
- BUND (2024): Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. www.bmuv.de/download/zweiter-fortschrittsbericht-zur-deutschen-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel, letzter Zugriff 05/2024.
- Buontempo, C., Burgess, S., Dee, D., Pinty, B., Thépaut, J., Rixen, M., Almond, S., Armstrong, D., Brookshaw, A., Alos, A., Bell, B., Bergeron, C., Cagnazzo, C., Comyn-Platt, E., Damasio-Da-Costa, E., Guillory, A., Hersbach, H., Horányi, A., Nicolas, J., Obregon, A., Ramos, E.,

- Raoult, B., Muñoz-Sabater, J., Simmons, A., Soci, C., Suttie, M., Vamborg, F., Varnell, J., Vermoote, S., Yang, X., Garcés de Marcilla, J. (2022): The Copernicus Climate Change Service: Climate Science in Action. In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 103(12), E2669–E2687.
- CDS (2024): Copernicus Climate Data Store. <https://cds.climate.copernicus.eu/>, letzter Zugriff 08.05.2024.
- CODE-DE (2024): Copernicus-Daten und Cloud-Prozessierung für deutsche Behörden. <https://code-de.org/de/>, letzter Zugriff 05/2024.
- CoKLIMAX (2024): Projekt-Webseite. <https://coklimax.net/>, letzter Zugriff 05/2024.
- Copernicus (2023): Evaluation der Nutzerdurchdringung und Wirkung des Copernicus-Programms in Deutschland. www.d-copernicus.de/infothek/news/news-details/news/studie-zur-evaluation-des-copernicus-programms-in-deutschland-veröffentlicht, letzter Zugriff 05/2024.
- Cozacu, A., Kuechly, H. U., Vallentin, C., Luneau, S., Nicolai, C., Meyer zu Erpen, N. (2022): Passende Satellitendaten finden – Das Datenportal CODE-DE. Inforeihe SAPIENS: Satellitendaten für Planung, Industrie, Energiewirtschaft und Naturschutz, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. DOI: 10.48440/sapiens.2022.002.
- DWD (2024): Wetter- und Klimalexikon. Deutscher Wetterdienst. www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html, letzter Zugriff 05/2024.
- HEC (2024): US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center. www.hec.usace.army.mil/, letzter Zugriff 05/2024.
- Heugel, A.; Chilla, T. (2021): In: *Regional Report // Lake Constance; ESPON EGTC: Luxembourg*, ISBN: 978-2-919816-26-2.
- Khikmah, F., Sebald, C., Metzner M., Schwieger V. (2024): Modelling Vegetation Health and Its Relation to Climate Conditions Using Copernicus Data in the City of Constance. In: *Remote Sensing* 16(4):691. DOI: 10.3390/rs16040691.
- Lechterbeck, J., Rösch, M. (2021): Böhringer See, western Lake Constance (Germany): an 8500 year record of vegetation change. *Grana* 60(2), 119–131. DOI: 10.1080/00173134.2020.1784265.
- LUBW (2024): Hochwassergefahrenkarte der Hochwasservorhersagezentrale Baden-Württemberg. www.hochwasser.baden-wuerttemberg.de/hochwassergefahrenkarten, letzter Zugriff 05/2024.
- Rösch, M. (1993): Prehistoric Land Use as Recorded in a Lake-Shore Core at Lake. In: *Vegetation History and Archaeobotany* 2(4):213–232. DOI: 10.1007/BF00198163.
- Tejeda (2024): Ingenieurbüro Webseite. www.tejedaingburo.com/services, letzter Zugriff 05/2024.
- Vögt, V., Harris, J.-A., Reinhart, V., Hollenbach, P., Bühler, M. M., Tewes, T. (2023): Implementing Agile Data Workflows to Unlock Climate-Resilient Urban Planning. In: *Climate*, 11(9):174. DOI: 10.3390/cli11090174.

Kontakt

Christoph Sebald | Dr. Martin Metzner |
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Volker Schwieger
Institut für Ingenieurgeodäsie, Universität Stuttgart
Geschwister-Scholl-Straße 24 D, 70174 Stuttgart
christoph.sebald@iigs.uni-stuttgart.de
martin.metzner@iigs.uni-stuttgart.de
volker.schwieger@iigs.uni-stuttgart.de
www.iigs.uni-stuttgart.de

Tim Tewes
Projektleiter CoKLIMAX
Amt für Stadtplanung und Umwelt, Stadt Konstanz
Untere Laube 24, 78462 Konstanz
tim.tewes@konstanz.de
www.konstanz.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaeis.info.