

Hochschule  
München  
University of  
Applied Sciences

Fakultät für Geoinformation

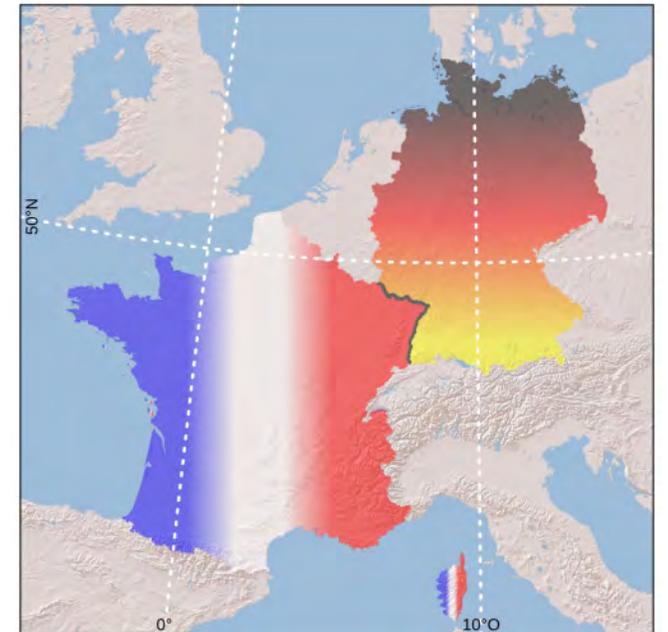
Institut für Anwendungen des  
maschinellen Lernens und  
intelligenter Systeme (IAMLIS)

# Die deutsch-französische Grenzregion aus dem Weltraum

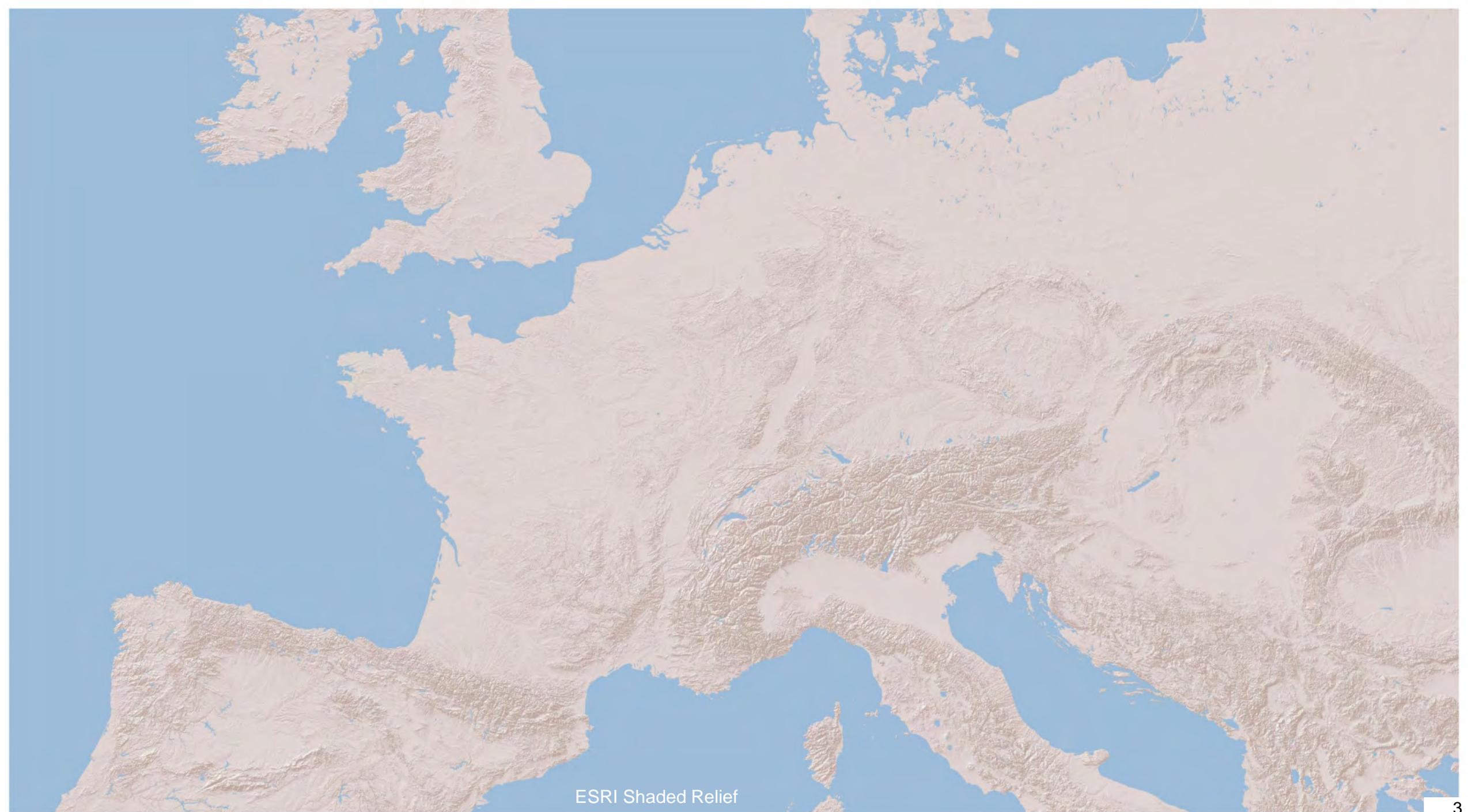
## Beobachten, wie Europa zusammenwächst

Oktober 2025

Prof. Dr.-Ing. Andreas Schmitt







ESRI Shaded Relief

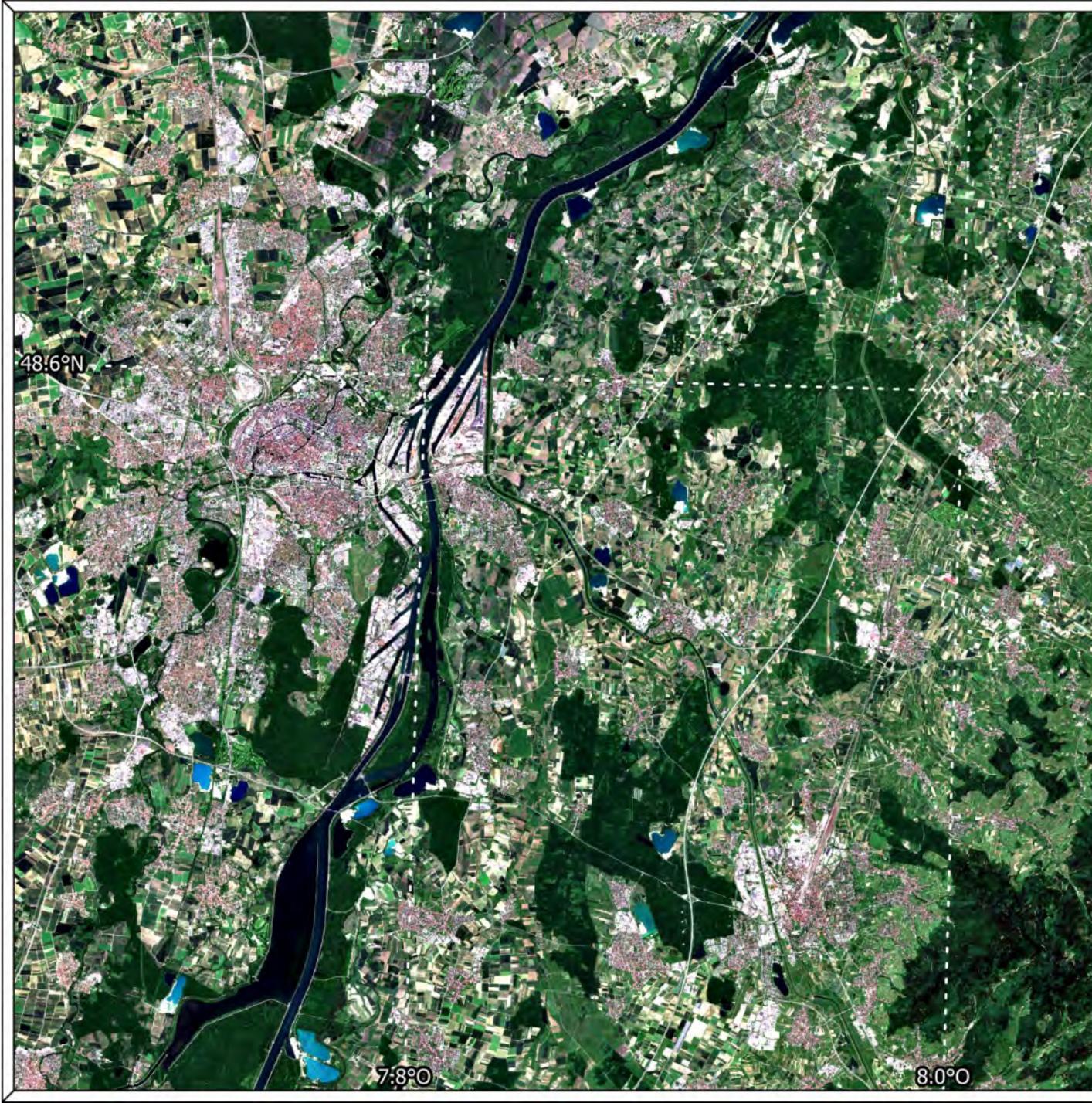


Sentinel-2  
Mosaik aus dem Jahr 2024  
© ESA 2024

## Eurodistrikt Strasbourg-Ortenau

Multispectral Imager (MSI)

- 10m-Kanäle
  - *Blau*
  - *Grün*
  - *Rot*
  - *Infrarot*
- alle fünf Tage
  - *bei gutem Wetter*

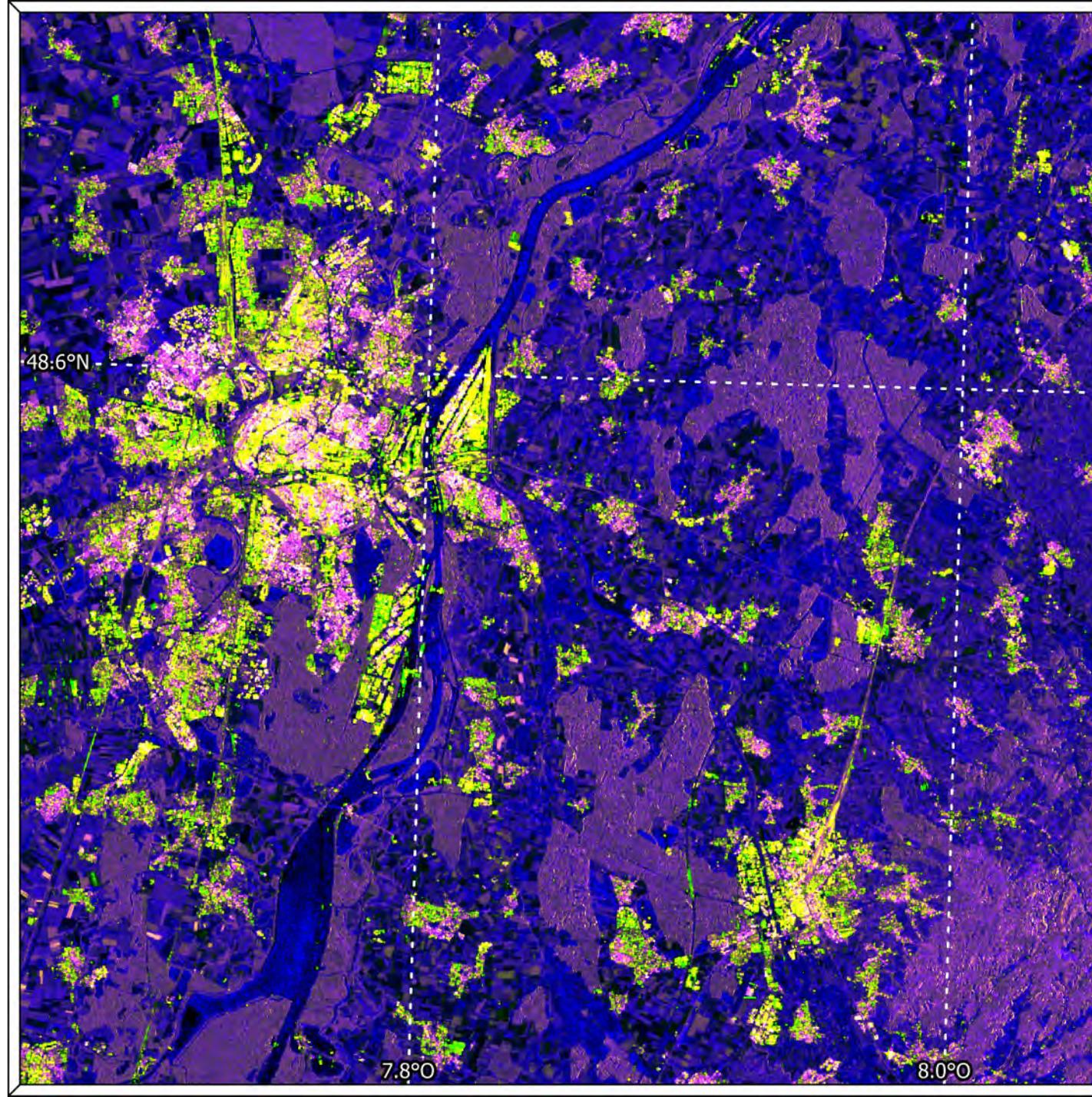


Sentinel-1  
Mosaik aus dem Jahr 2024  
© ESA 2024

## Eurodistrikt Strasbourg-Ortenau

C-Band Synthetic Aperture Radar

- Interferometric Wideswath Mode
- Polarisationen
  - *VV*
  - *VH*
- alle sechs Tage
  - *unabhängig vom Wetter*

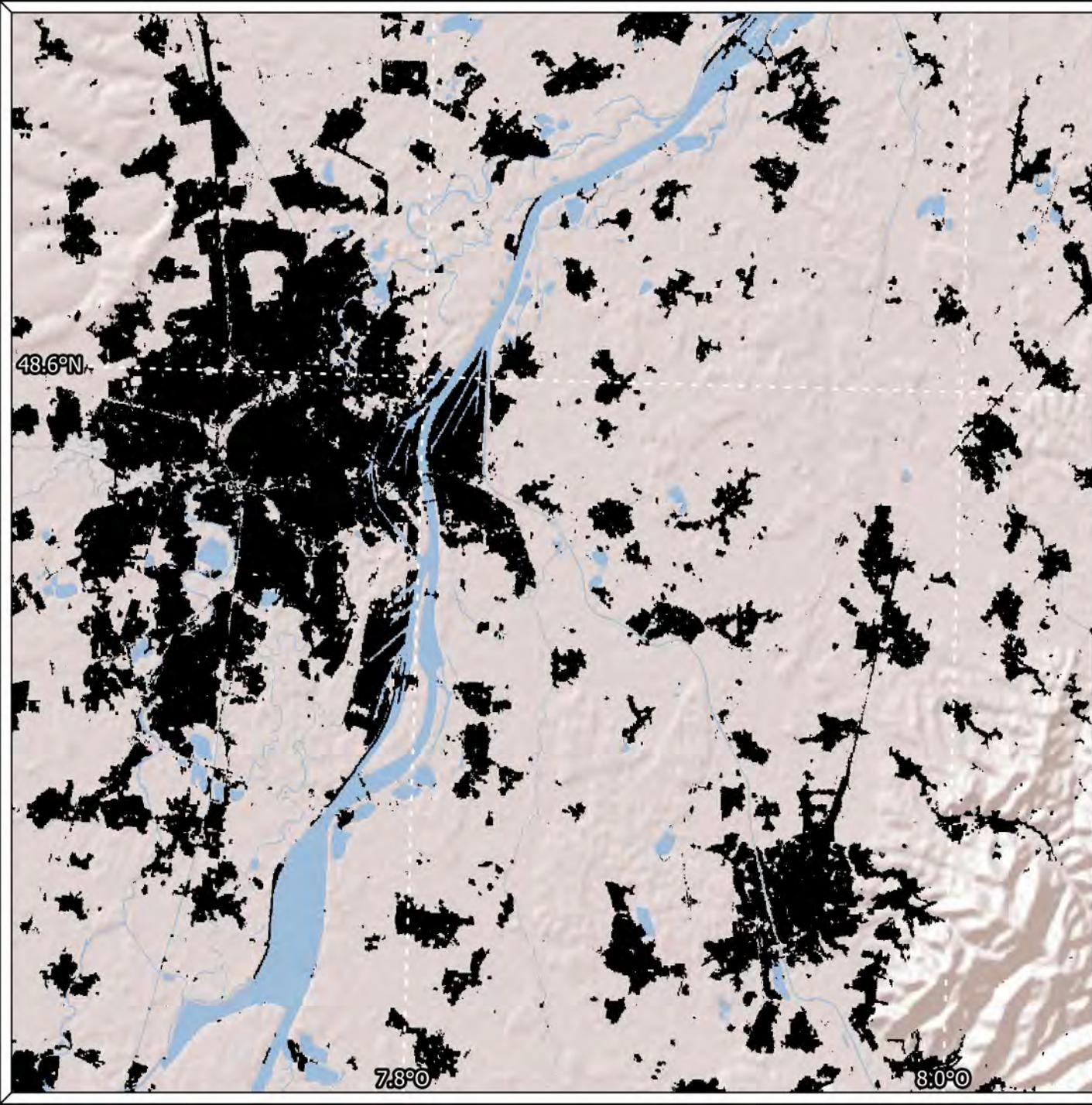


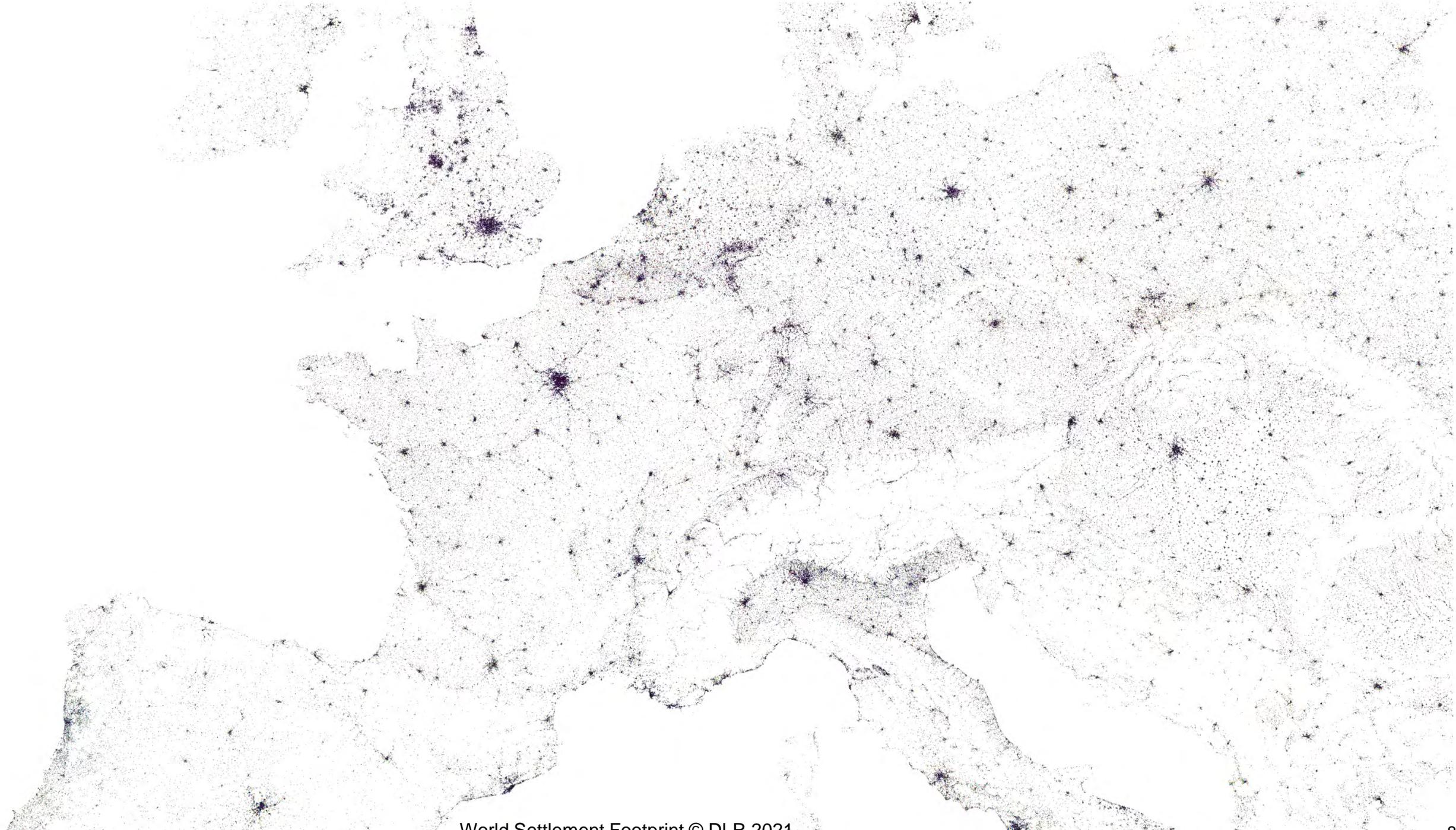
World Settlement Footprint  
aus dem Jahr 2015  
© DLR 2021

## Eurodistrikt Strasbourg-Ortenau

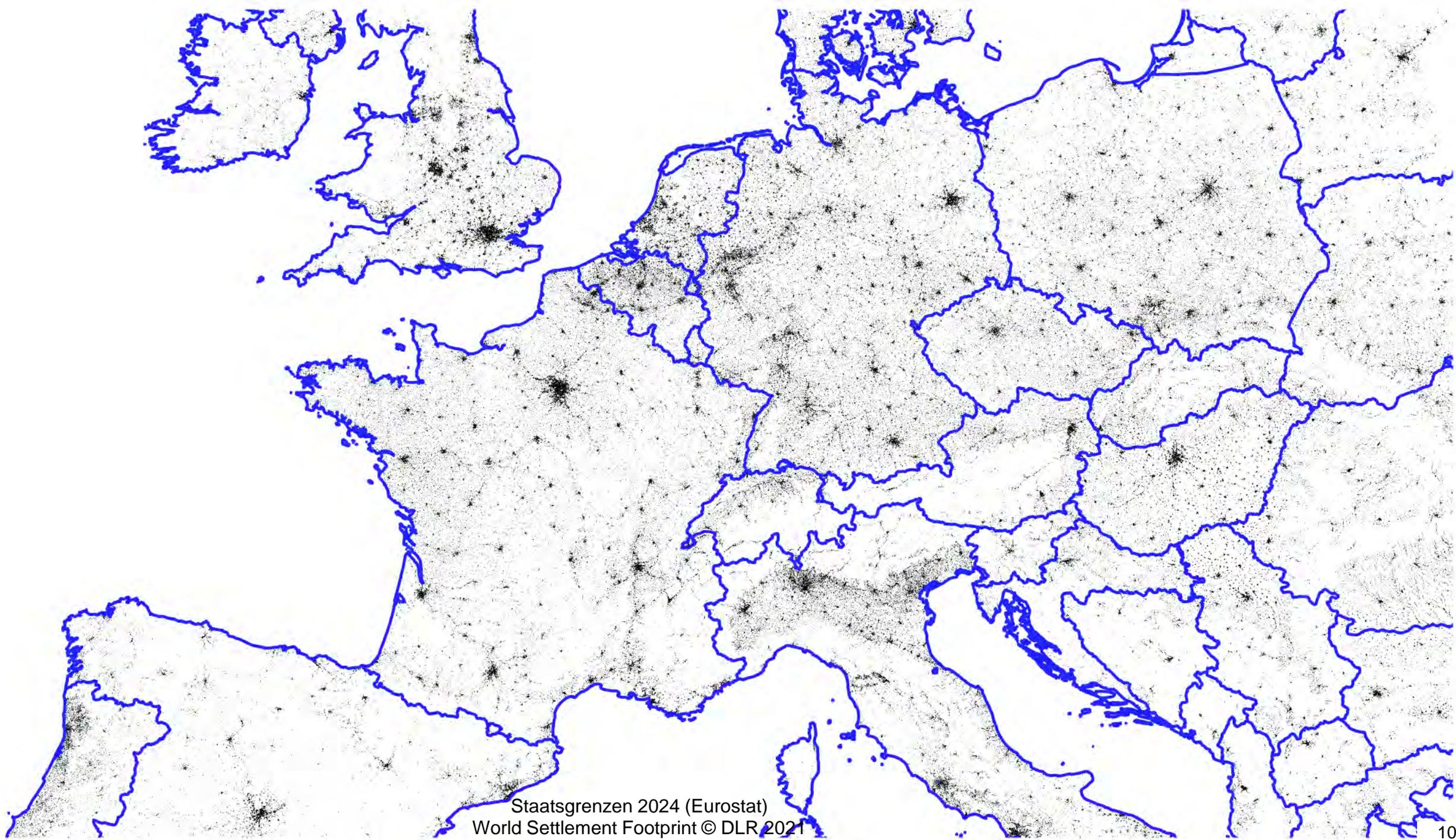


<https://geoservice.dlr.de/web/maps/eoc:wsf>

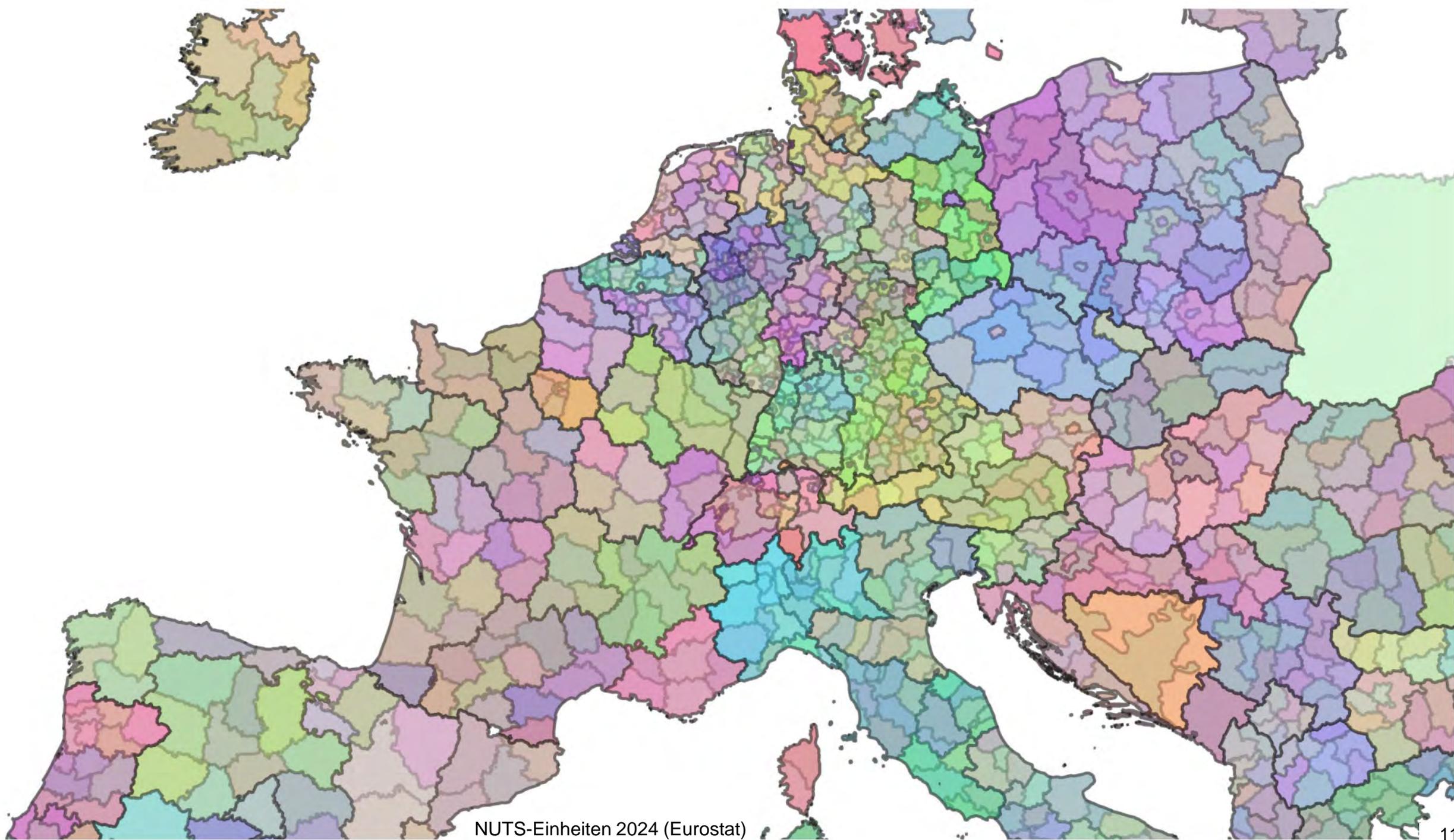


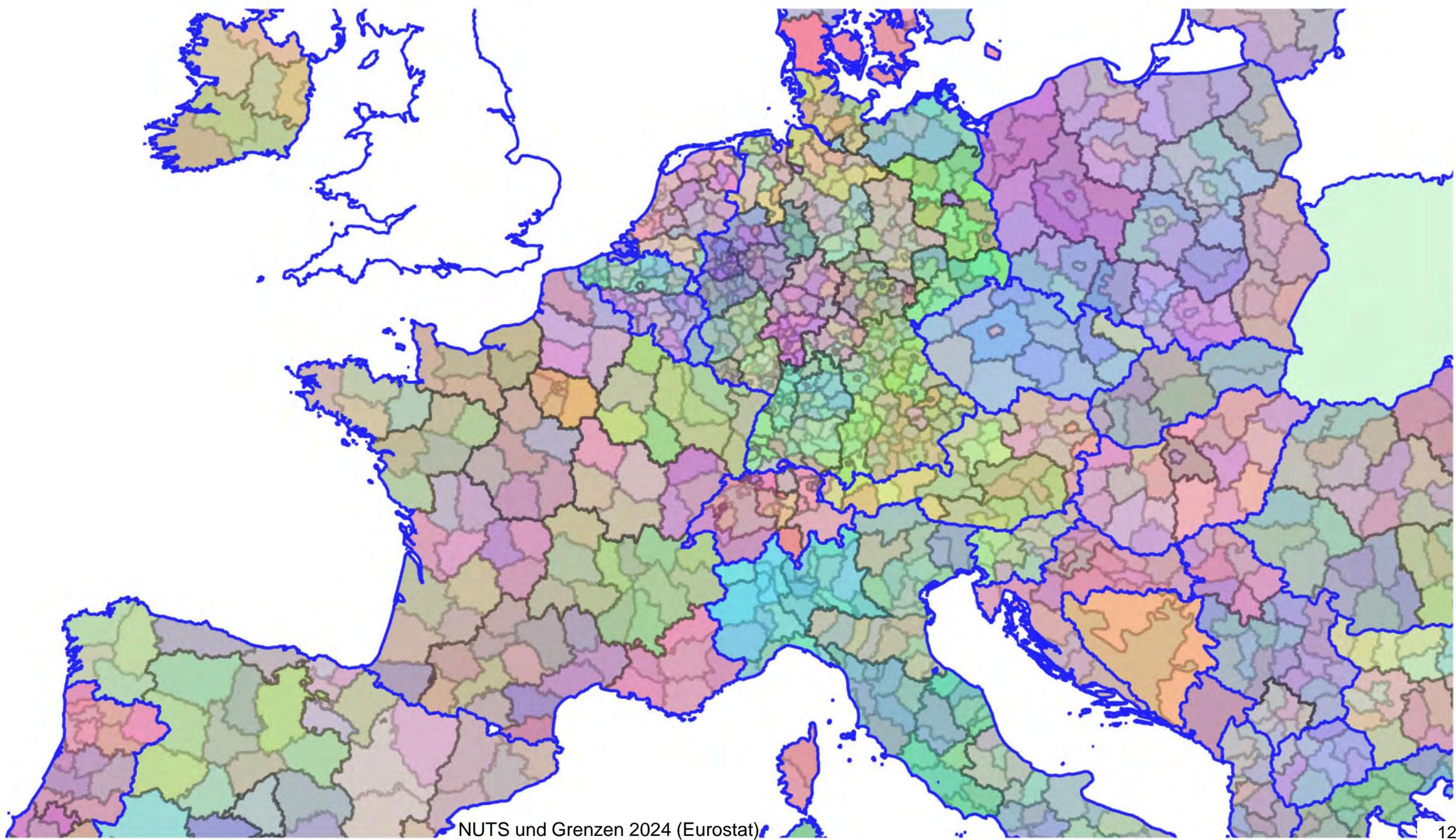






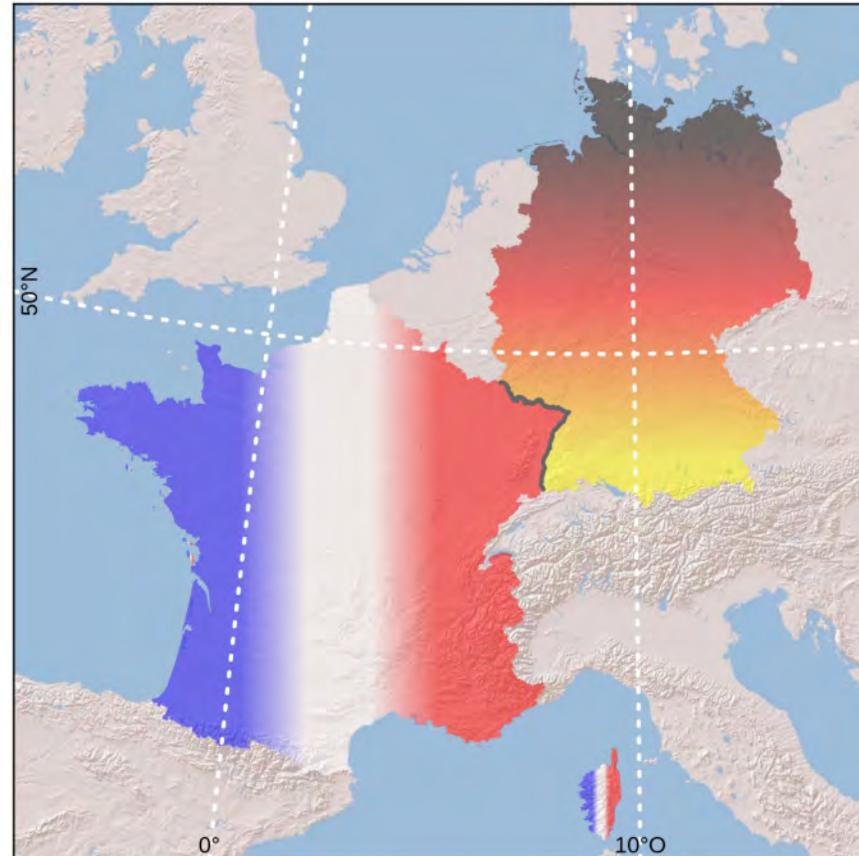
Staatsgrenzen 2024 (Eurostat)  
World Settlement Footprint © DLR 2021





Europa

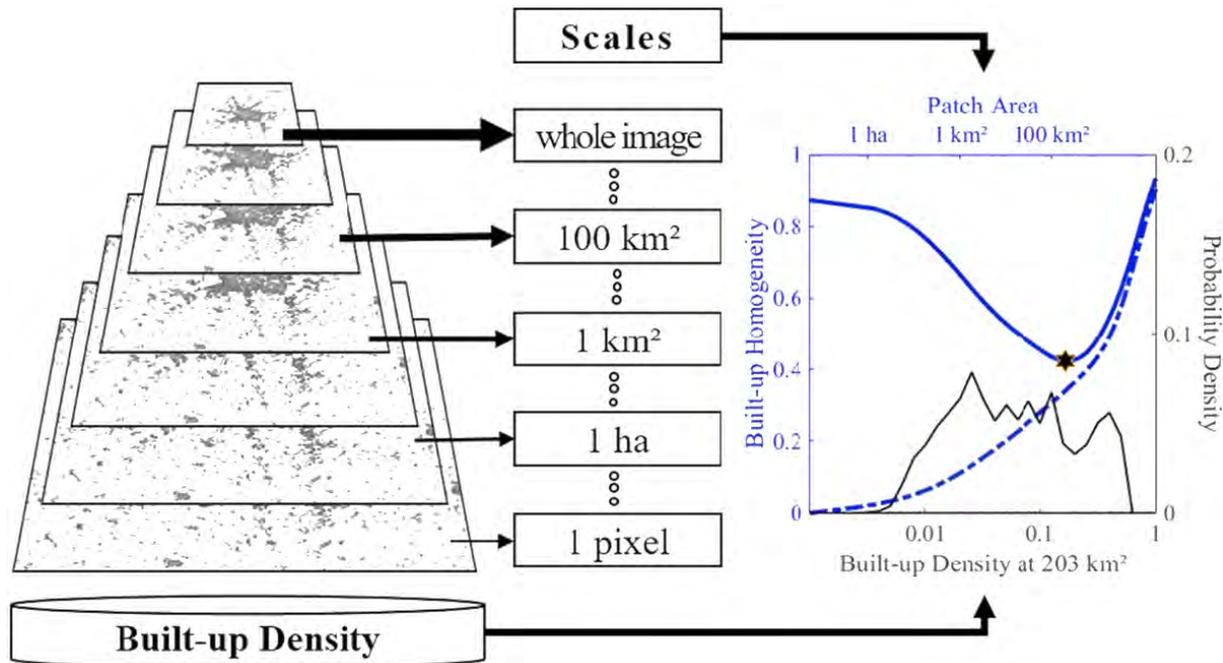
# Siedlungsstrukturen in Frankreich und Deutschland



Frankreich

Deutschland

# Skalenabhängige Homogenität der Bebauung



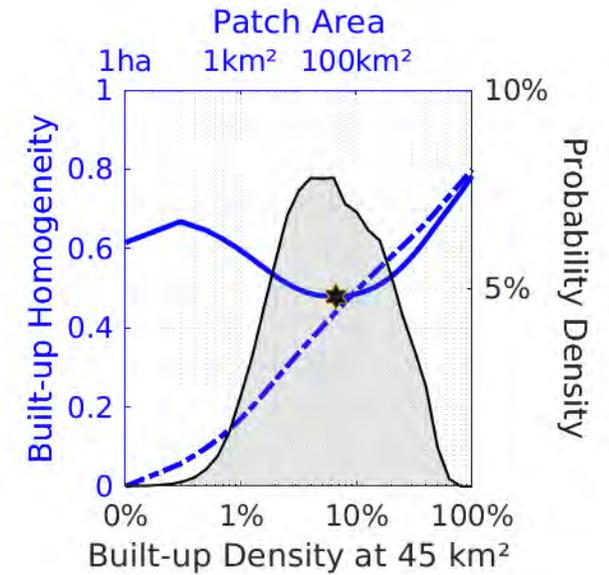
**homogen** →  $H \approx 1$

- gleiche Bebauungsdichte
- einheitliche Bebauung

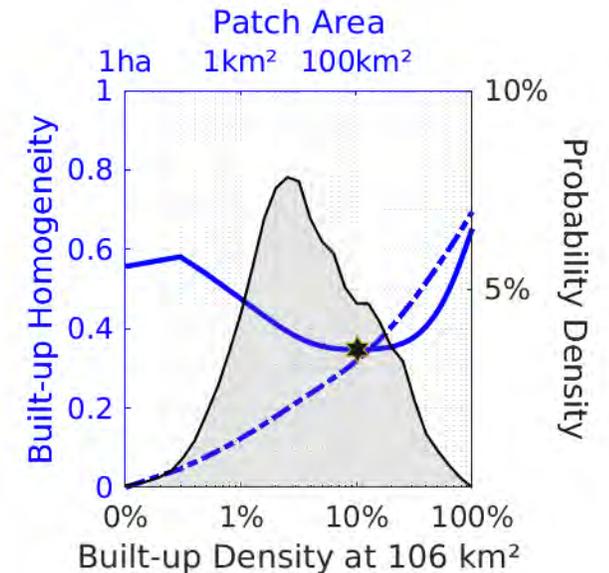
**heterogen** →  $H \approx 0$

- gleichverteilte Bebauungsdichte
- vielfältige Bebauung

Deutschland

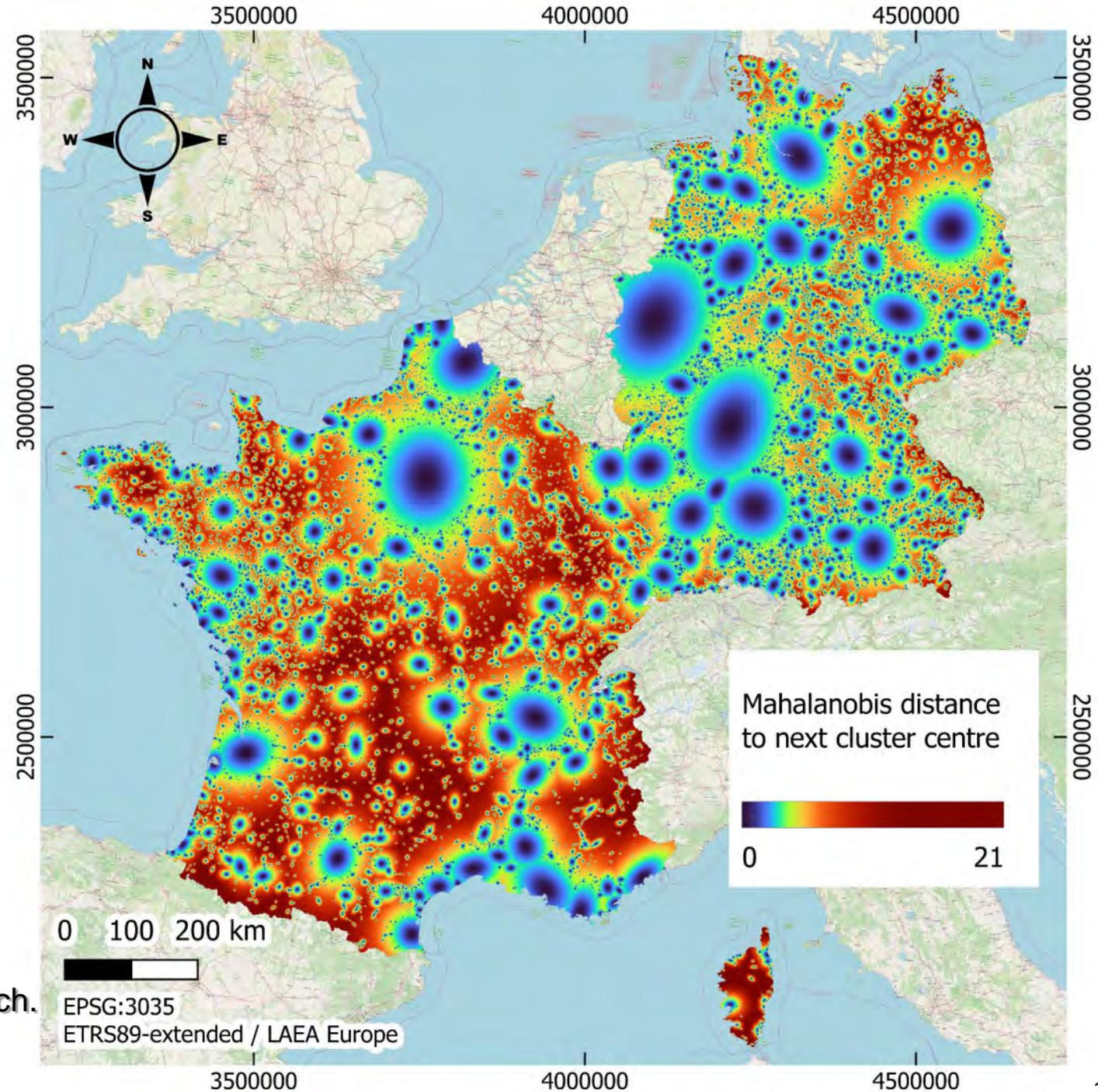


Frankreich

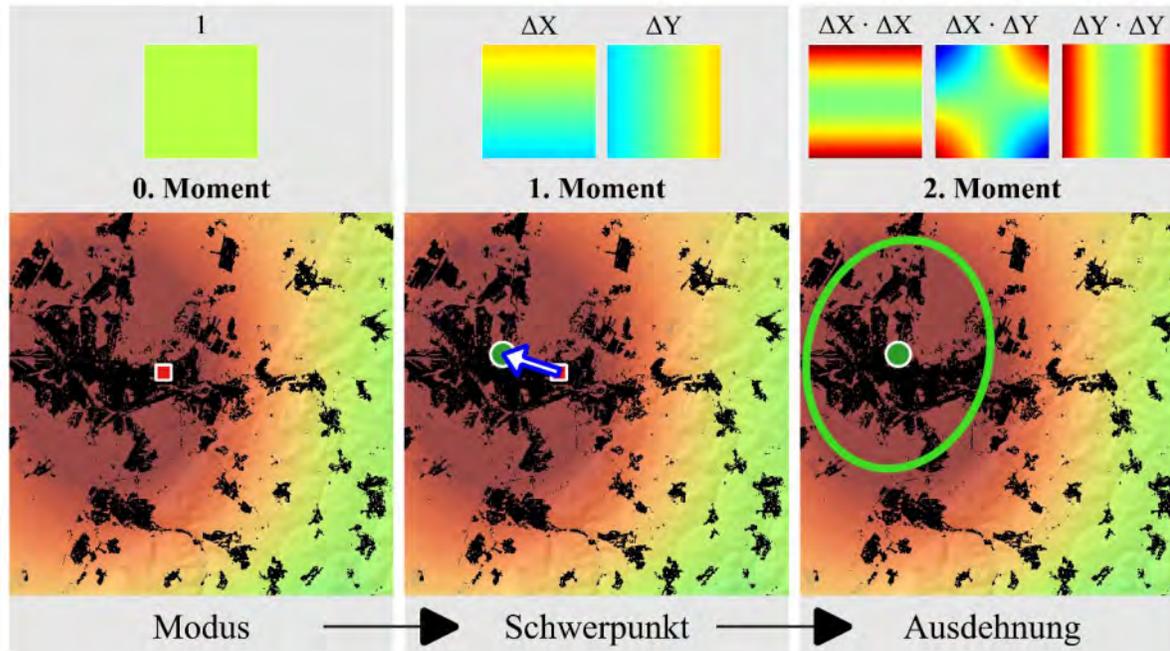
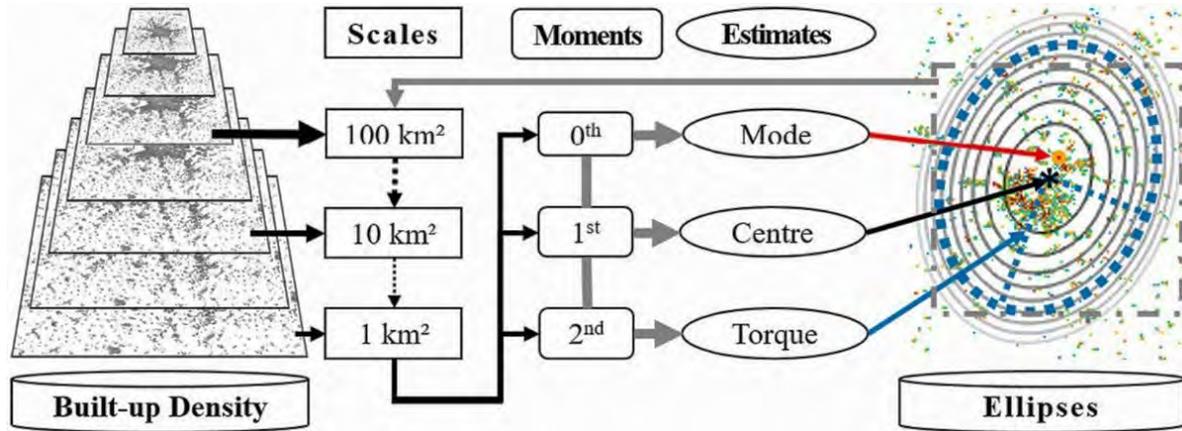


# Abstand zur nächsten Stadt

- Deutschland ist dichter bebaut als Frankreich.
- Minimale Homogenität
  - *Deutschland*
    - 50% im Umkreis von etwa 7 km
  - *Frankreich*
    - 35% im Umkreis von etwa 10 km
  - *Metropolregionen in den USA*
    - 61 % im Umkreis von etwa 19 km
- Frankreich ist heterogener bebaut als Deutschland.
- Mahalanobis Distanz
  - *Deutschland*
    - Durchschnittlich 4 km, 99% unter 11 km
  - *Frankreich*
    - Durchschnittlich 5 km, 99% unter 16 km
- In Deutschland sind die Wege kürzer als in Frankreich.



# Gaußsches Mischverteilungsmodell



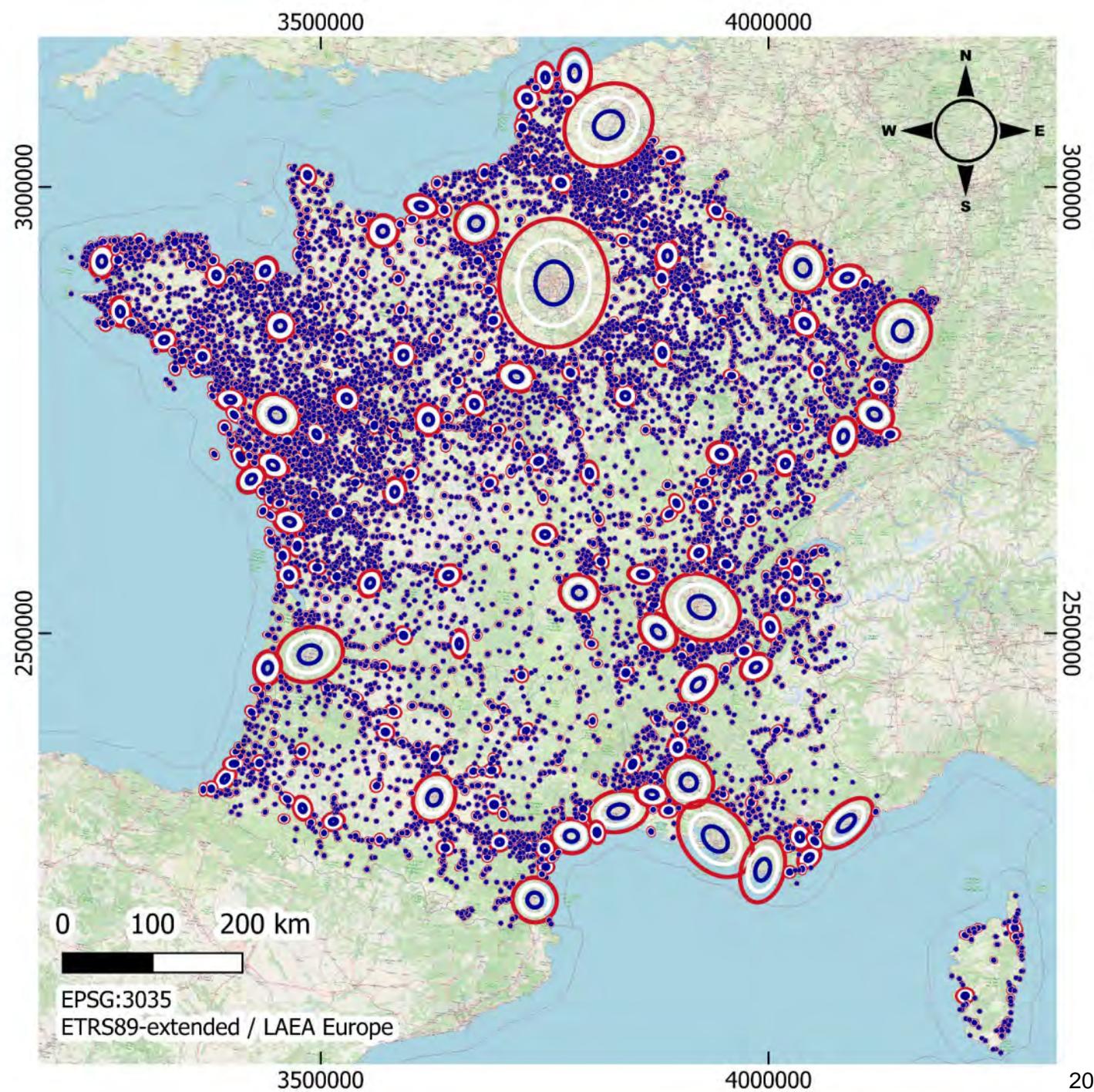
## Stadteffipsen – UrbanEllipses

- Parametrisch abstrahierte Beschreibung
  - Zusammenfassung zu Clustern
  - Elimination kleiner Fehler
  - Vergleichbare Werte
- Abgeleitete Parameter
  - Modus
    - *höchste Bebauungsdichte*
  - Schwerpunkt
    - *Mittelpunkt der gesamten Stadt*
  - Ausdehnung
    - *Ellipsen als generalisierter Stadtrand*
    - $1\sigma \approx 68,3\%$  → innerer Ring
    - $2\sigma \approx 95,4\%$  → mittlerer Ring
    - $3\sigma \approx 99,7\%$  → äußerer Ring

# Stadtellipsen in Frankreich



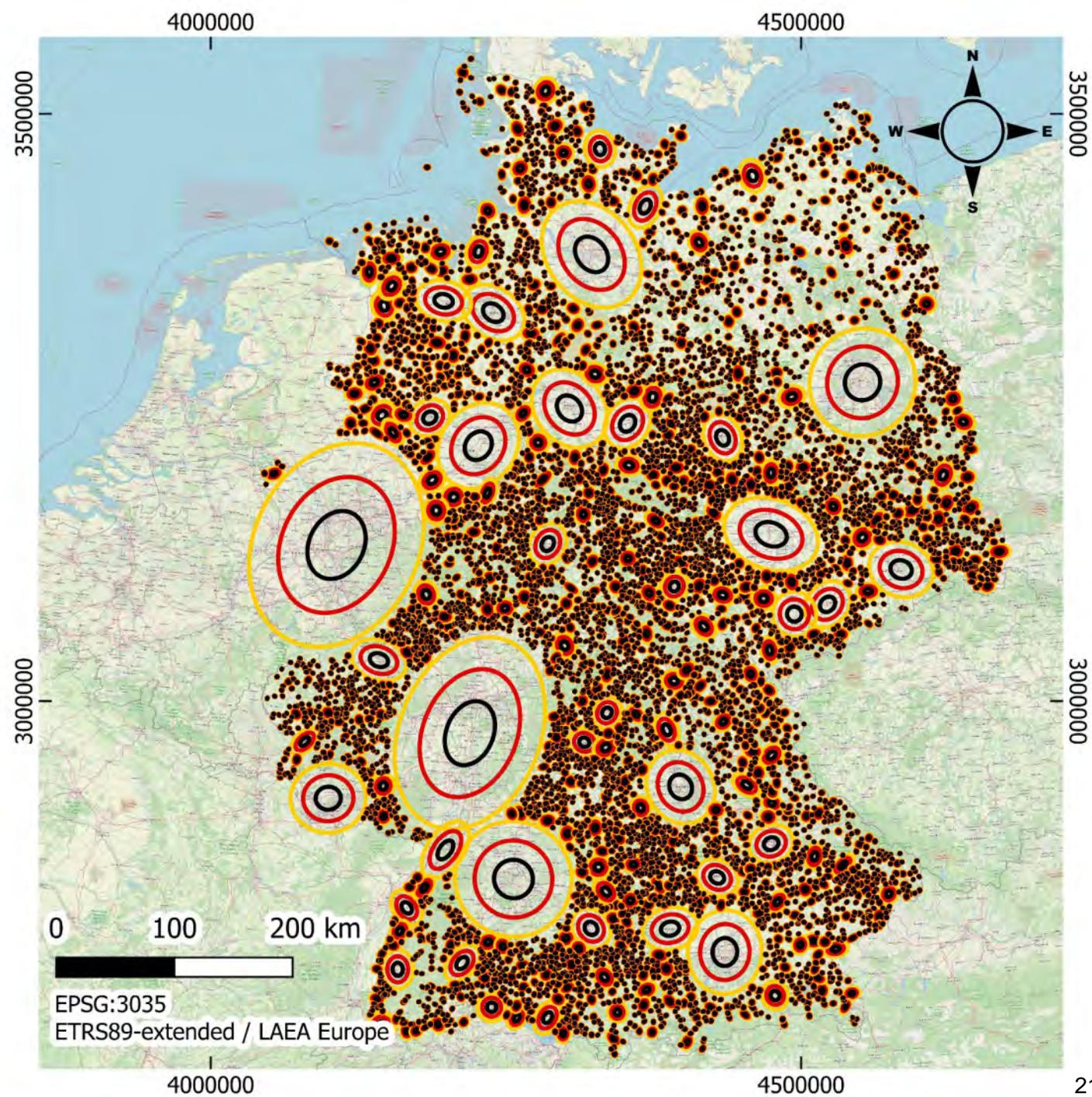
Verfügbar als Open Data  
Kartographische Nachrichten



# Stadtellipsen in Deutschland



Verfügbar als Open Data  
Kartographische Nachrichten



EPSG:3035  
ETRS89-extended / LAEA Europe

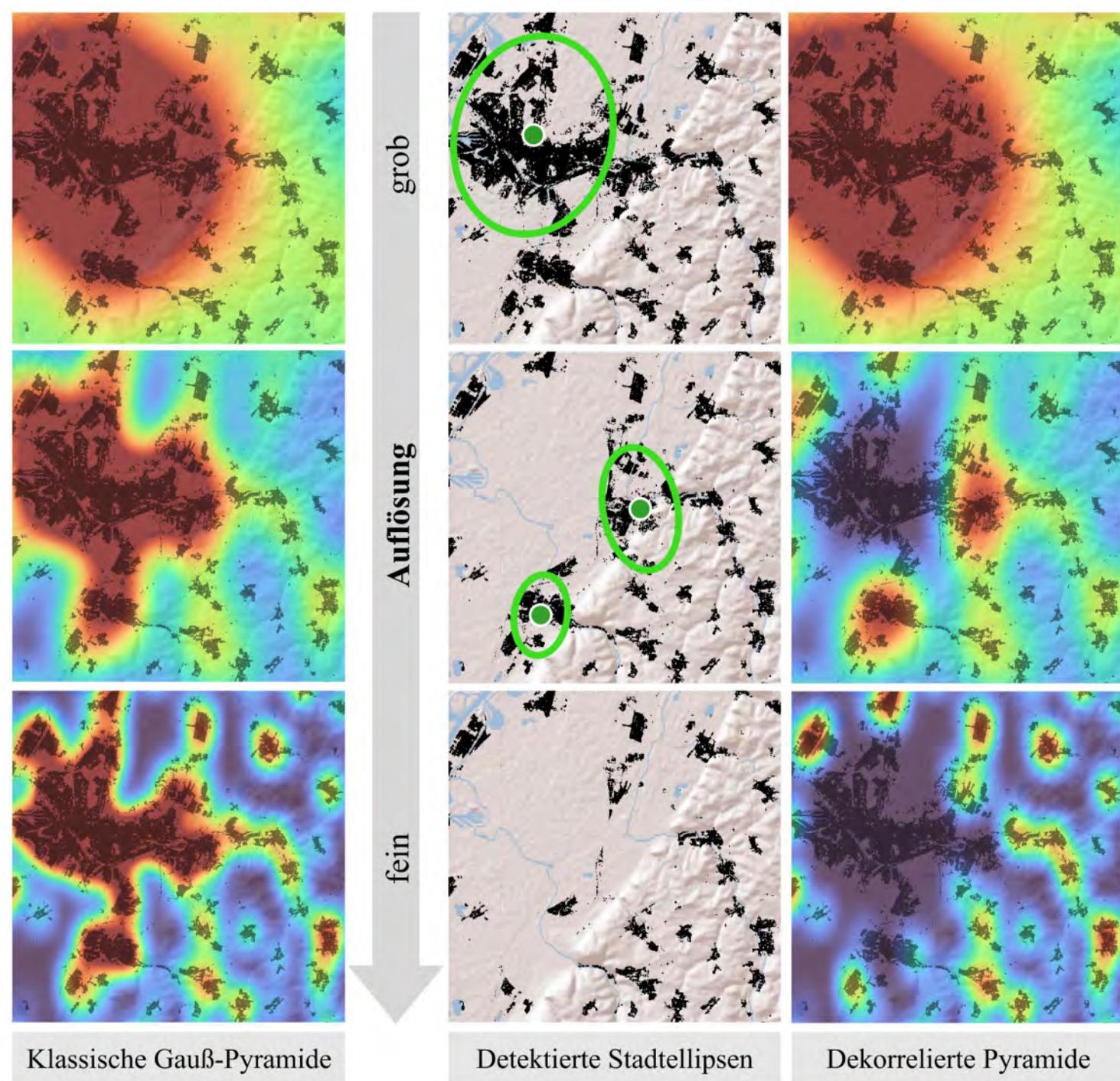
# Multiskaliges hierarchisches Clustering

## Verfahrensablauf

- Suche die größte Stadt
- Schätze deren Stadtellipse
- Markiere die Stadt als bekannt
  - Suche die nächstkleinere Stadt
  - ...

## Ergebnis

- Liste von Stadtellipsen
  - *Länge und Breite*
  - *Flächeninhalt*
  - *Exzentrizität*
  - *Ausrichtung*

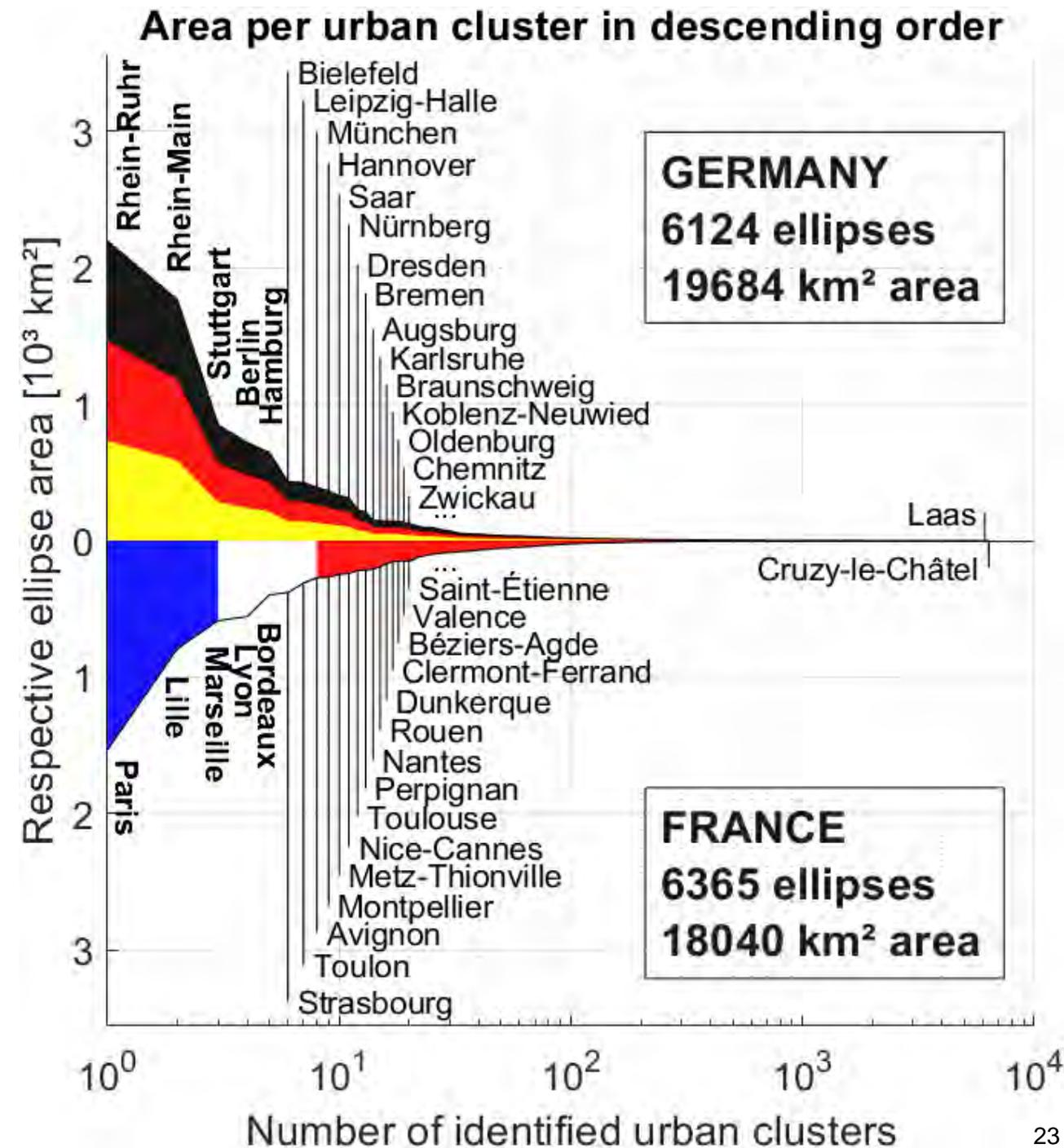


## Statistischen Auswertung der Stadtellipsen

- Frankreich
  - *Paris mit Abstand größtes Zentrum vor Lille, Marseille, Lyon und Bordeaux*
  - *Zentralistische Verwaltungsstruktur (!?)*
- Deutschland
  - *Rhein-Ruhr und Rhein-Main weit vor Stuttgart, Berlin und Hamburg*
  - *Föderalistische Verwaltungsstruktur (!?)*



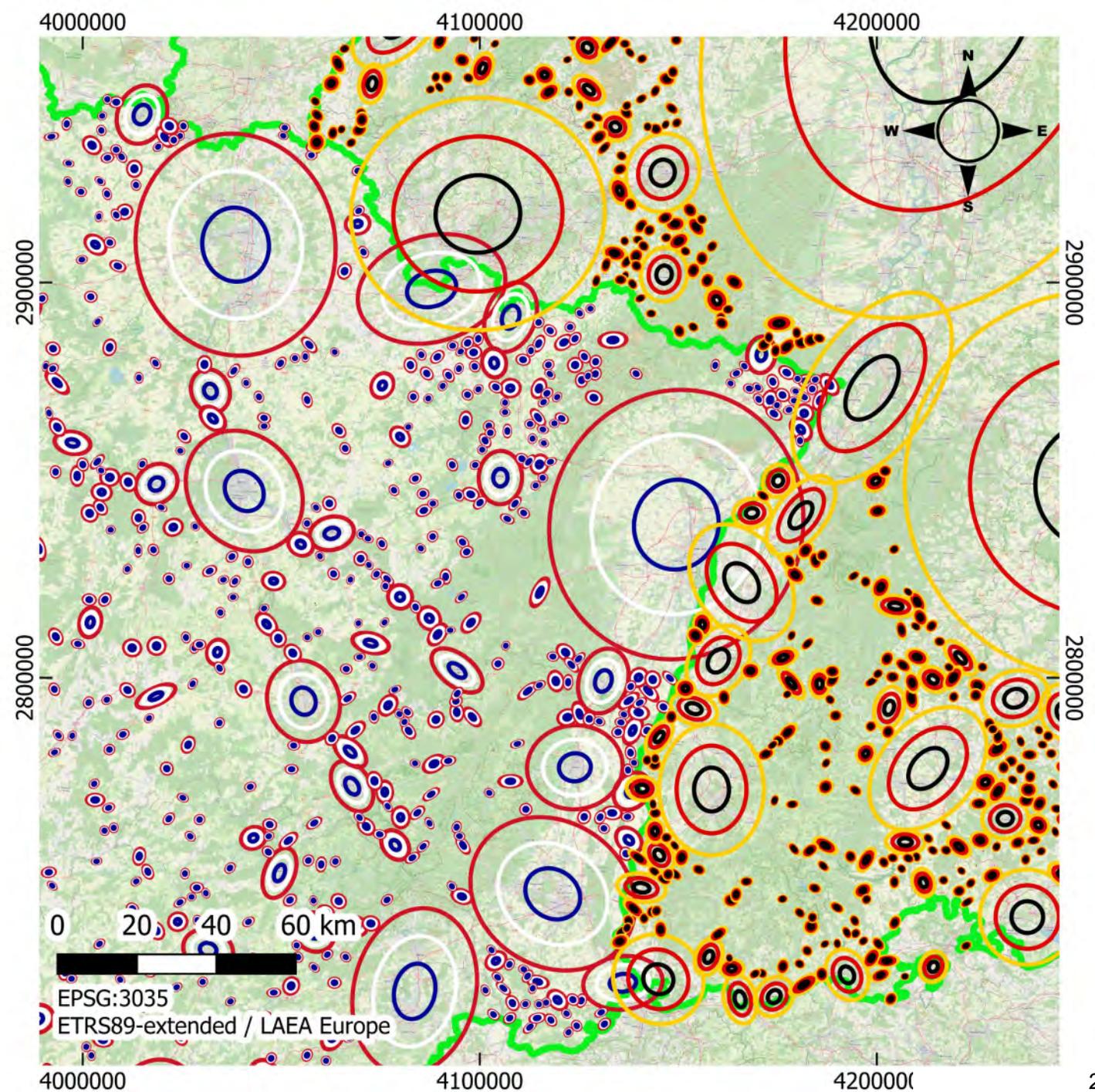
Schmitt, A., Haselmayr, T. & Taubenböck, H. Urban Patterns from Space: A Remote Sensing Based Comparison Between France and Germany. *KN J. Cartogr. Geogr. Inf.* 74, 233–249 (2024). <https://doi.org/10.1007/s42489-024-00173-x>



# Deutsch-französische Stadtellipsen entlang der gemeinsamen Grenze

## Erkenntnisse

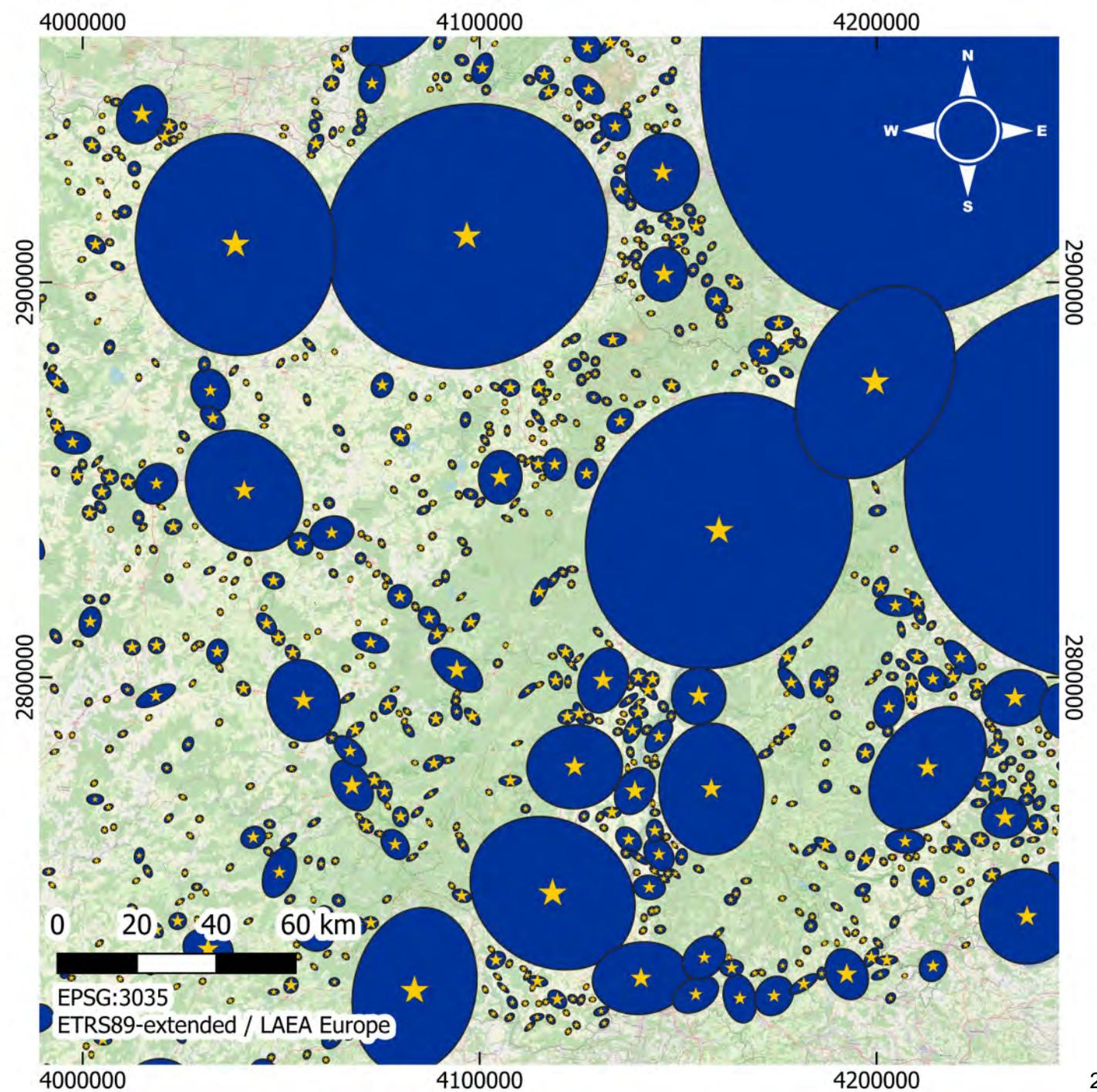
- Zahlreiche Überlagerungen
  - *Eurodistrikte*
    - Saar-Moselle
    - PAMINA
    - Strasbourg-Ortenau
  - *Dreiländereck Basel*
- Grenzen in Stadtellipsen erkennbar?
  - „Nationalität“ der Stadtellipsen
    - getrennte Auswertung
    - entsprechende Darstellung
  - nur „natürliche“ Grenzen der Siedlungsentwicklung sichtbar
    - Rhein
    - Schwarzwald
    - Vogesen & Pfälzer Wald



# Europäische Stadtellipsen entlang der deutsch-französischen Grenze



Verfügbar als Open Data  
Kartographische Nachrichten



# Deutsch-französische Stadtellipsen entlang der gemeinsamen Grenze

## Fazit

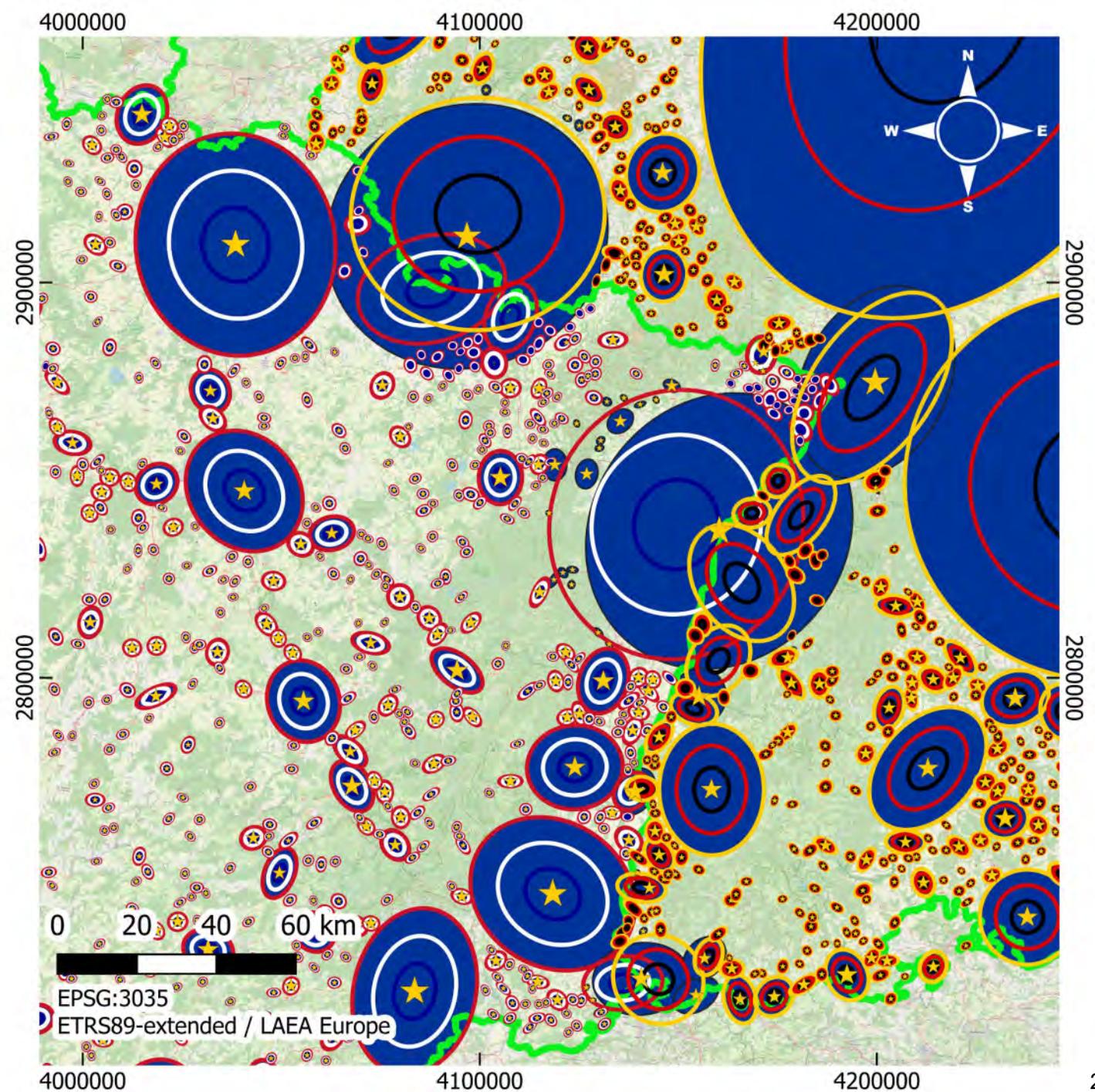
- Markante Metropolregionen
- Grenzüberschreitende Eurodistrikte

## Offene Frage

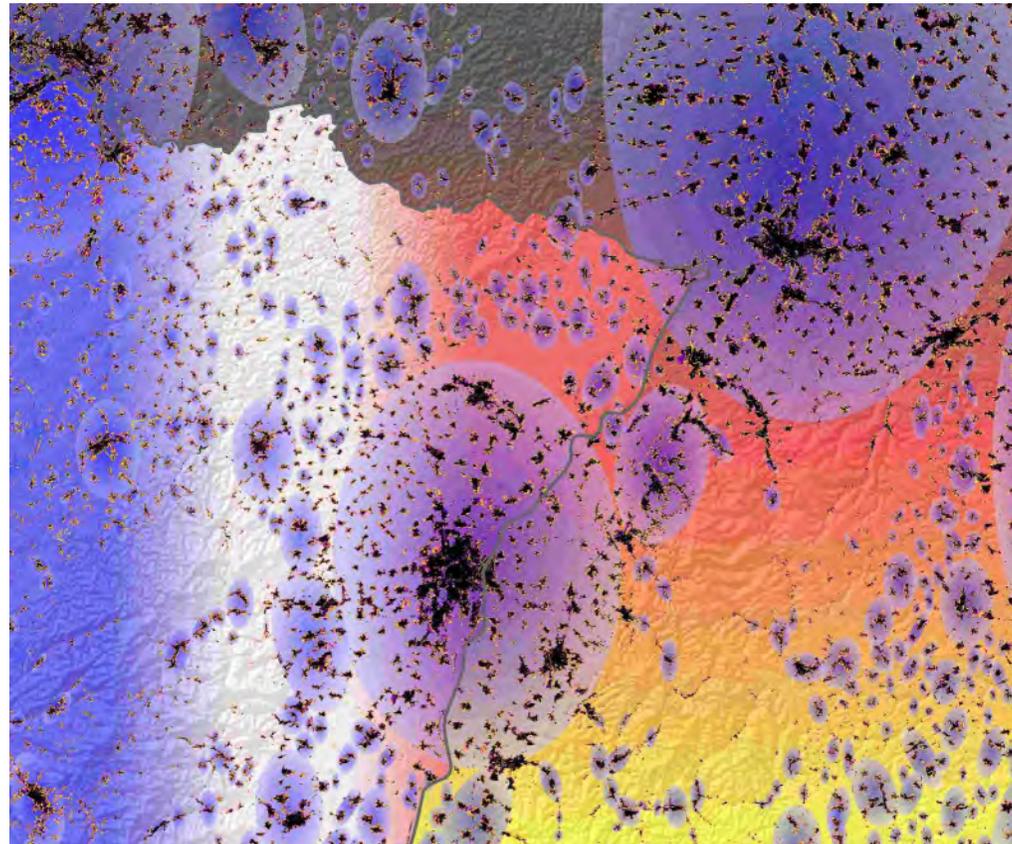
- Wie hat sich die Bebauung in der Grenzregion seit 1985 entwickelt?



Schmitt, A., Haselmayr, T. & Taubenböck, H. Urban Patterns from Space: A Remote Sensing Based Comparison Between France and Germany. *KN J. Cartogr. Geogr. Inf.* 74, 233–249 (2024). <https://doi.org/10.1007/s42489-024-00173-x>



# Siedlungsentwicklung entlang der deutsch-französischen Grenze



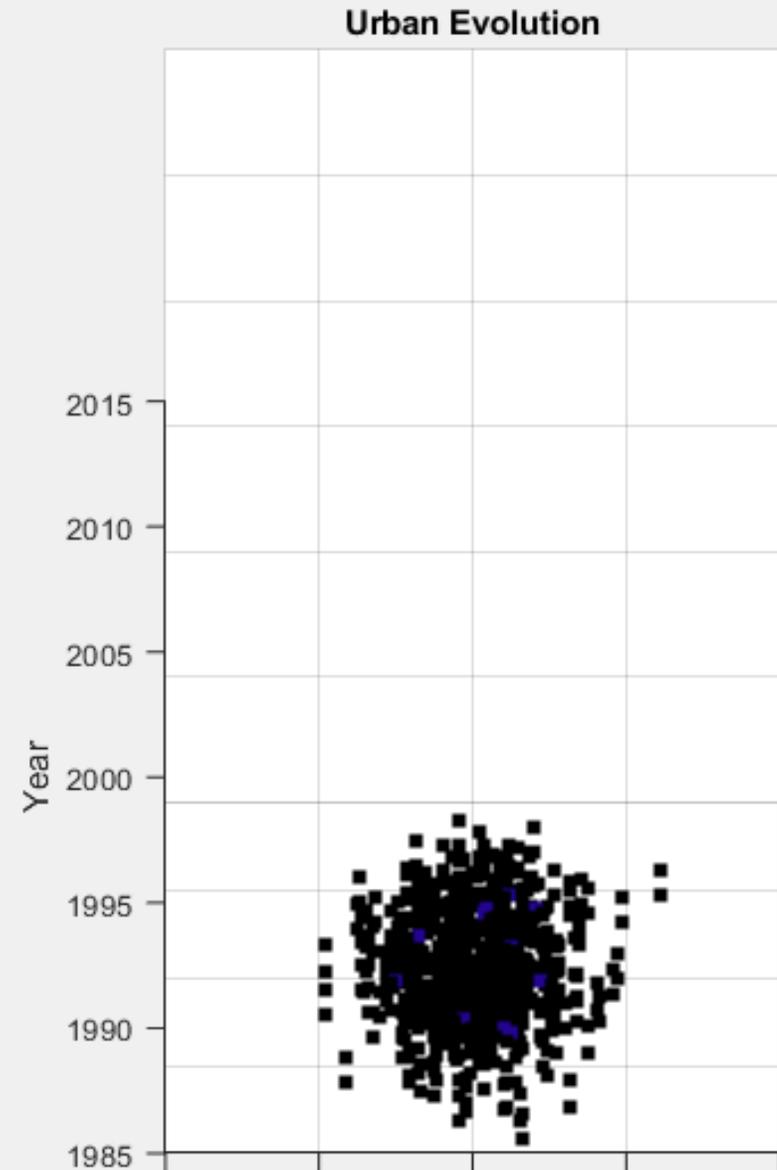
# World Settlement Footprint Evolution

## Weltweite Kartierung der Bebauung

- Zustand im Jahr 1985
- Jährlicher Zuwachs bis 2015
- Satellitenbilder von Landsat 5 & 7
- Frei verfügbar, gesamte Welt in Kacheln
- später ergänzt um
  - World Settlement Footprint 2019



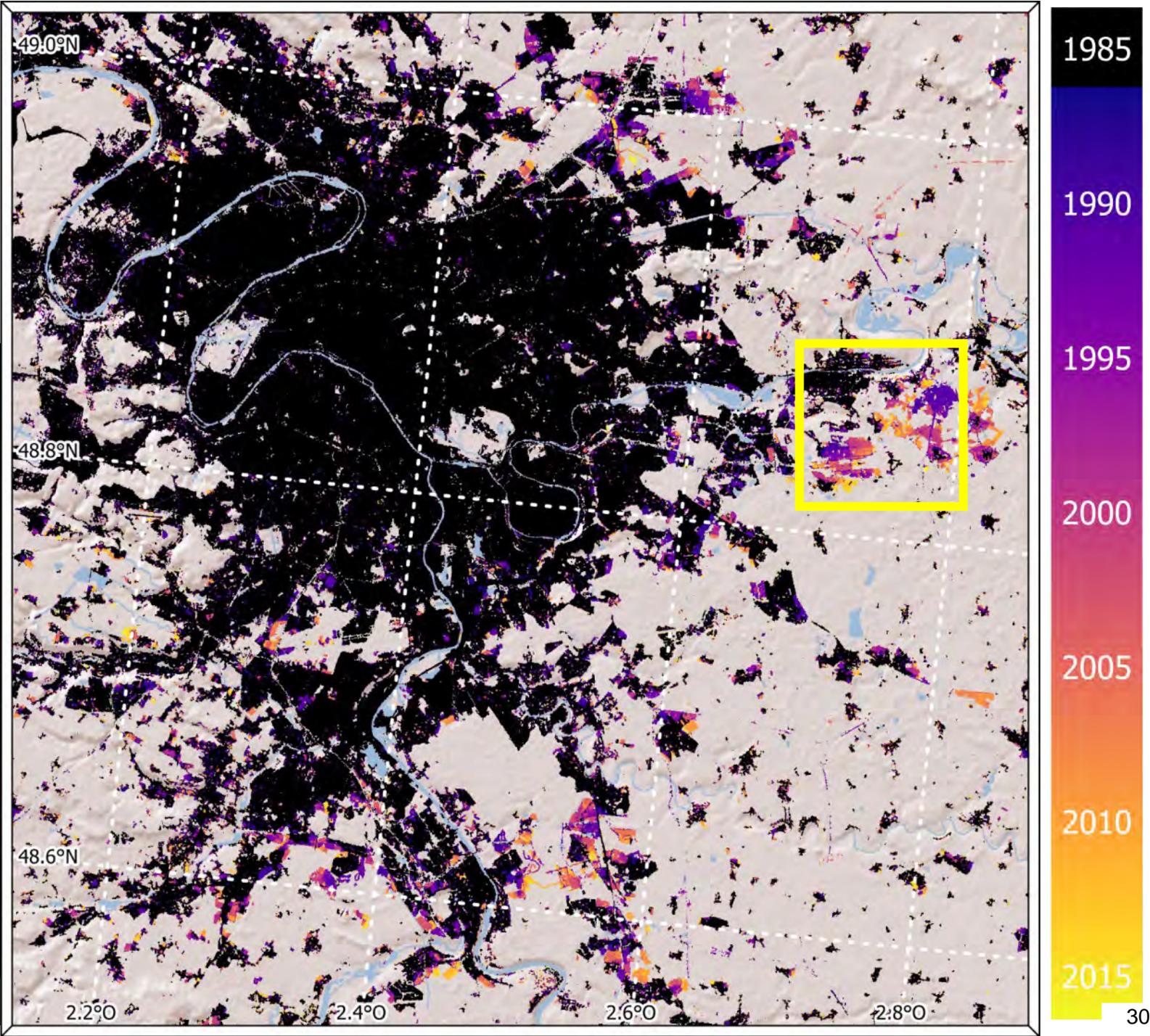
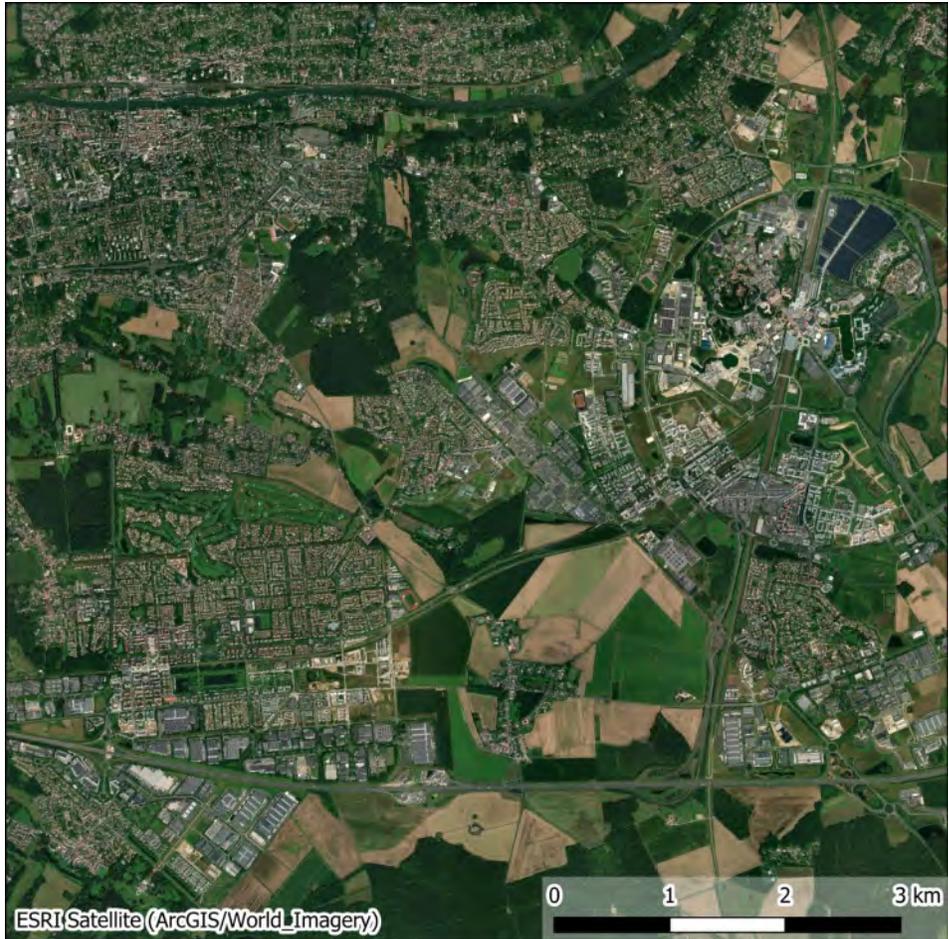
<https://geoservice.dlr.de/web/maps/eoc:wsfevolution>



World Settlement Footprint Evolution  
1985 – 2015 © DLR 2021

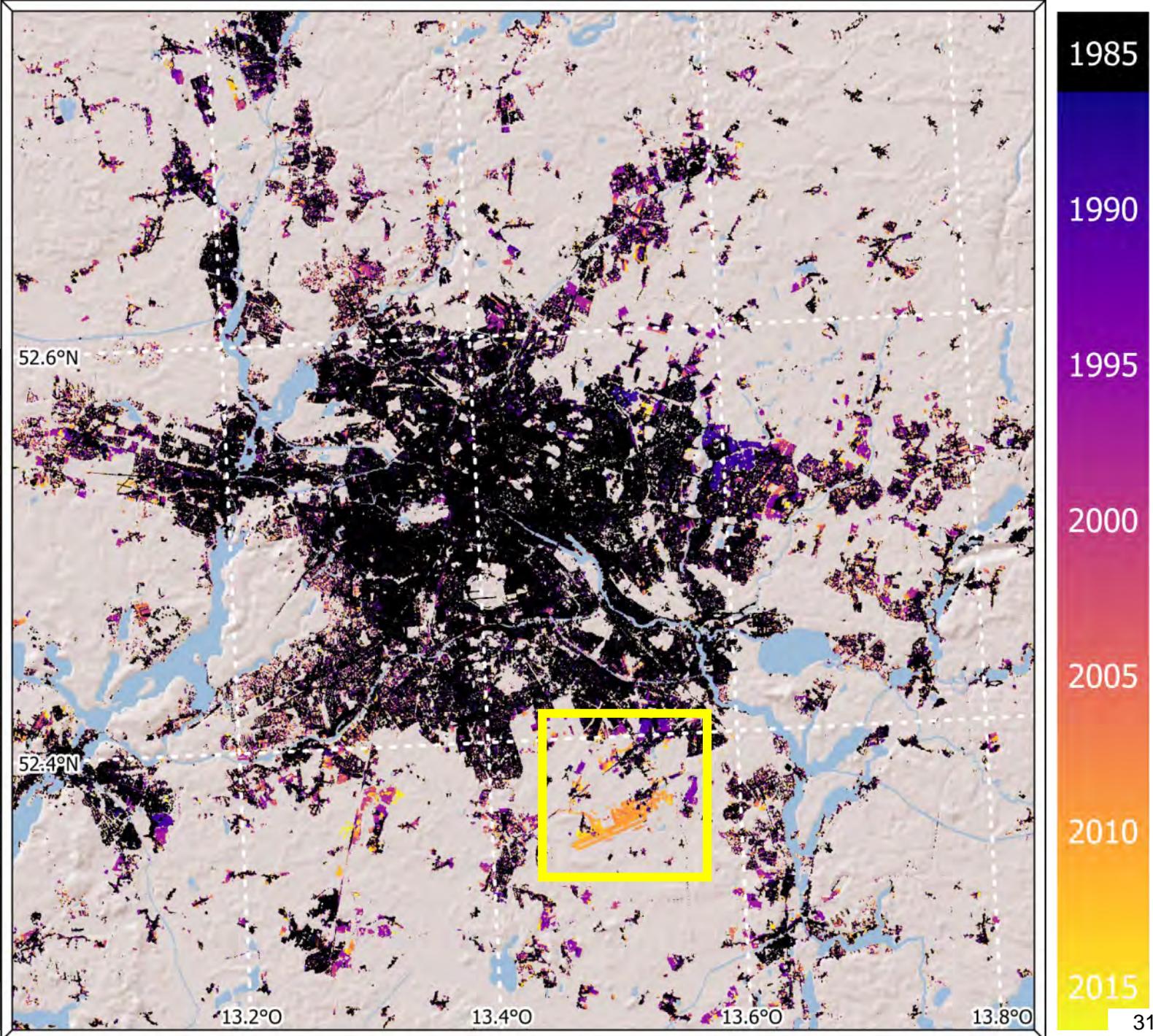
World Settlement Footprint Evolution  
1985 – 2015 © DLR 2021

# Paris



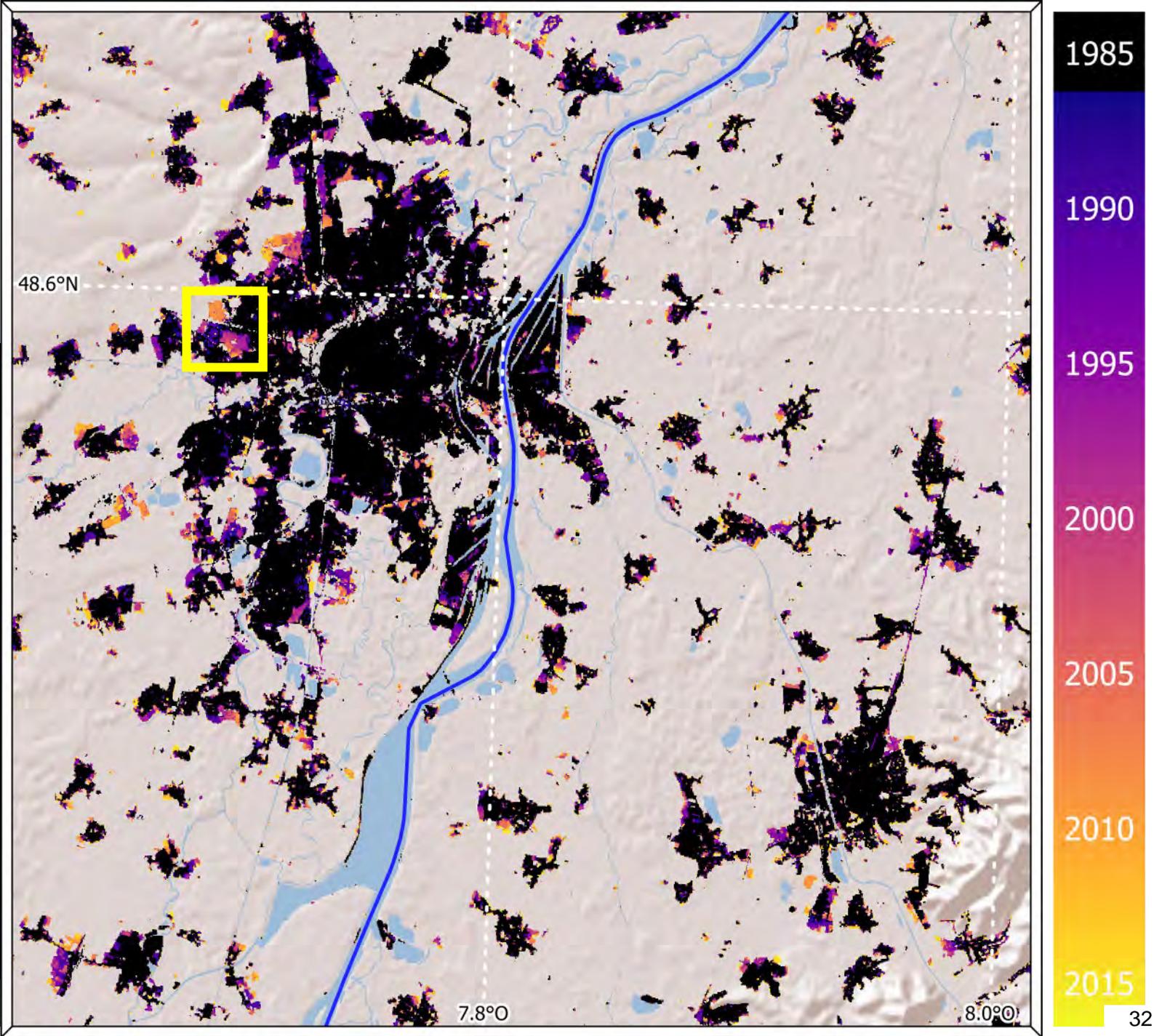
World Settlement Footprint Evolution  
1985 – 2015 © DLR 2021

# Berlin

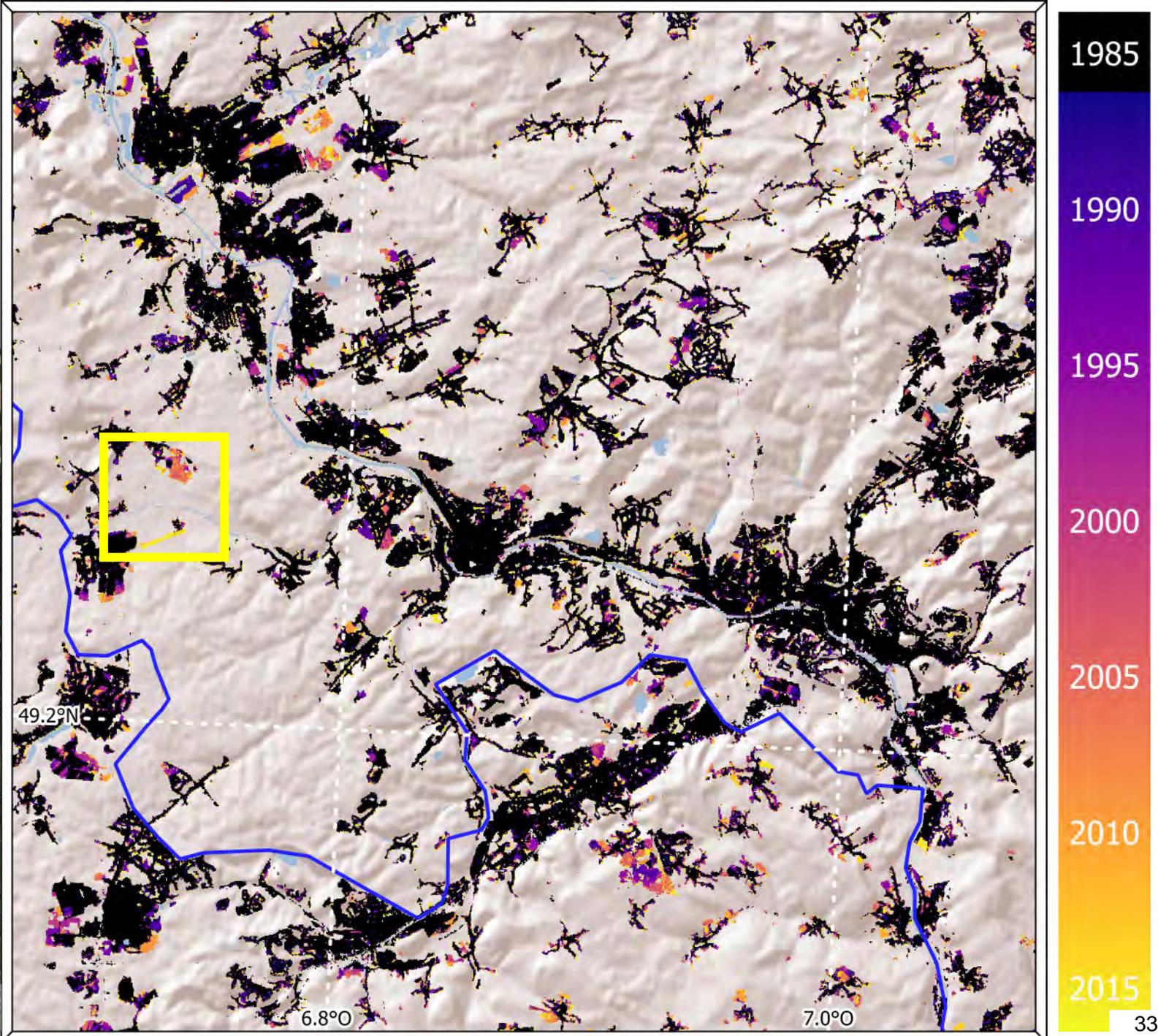


World Settlement Footprint Evolution  
1985 – 2015 © DLR 2021

# Eurodistrikt Strasbourg-Ortenau

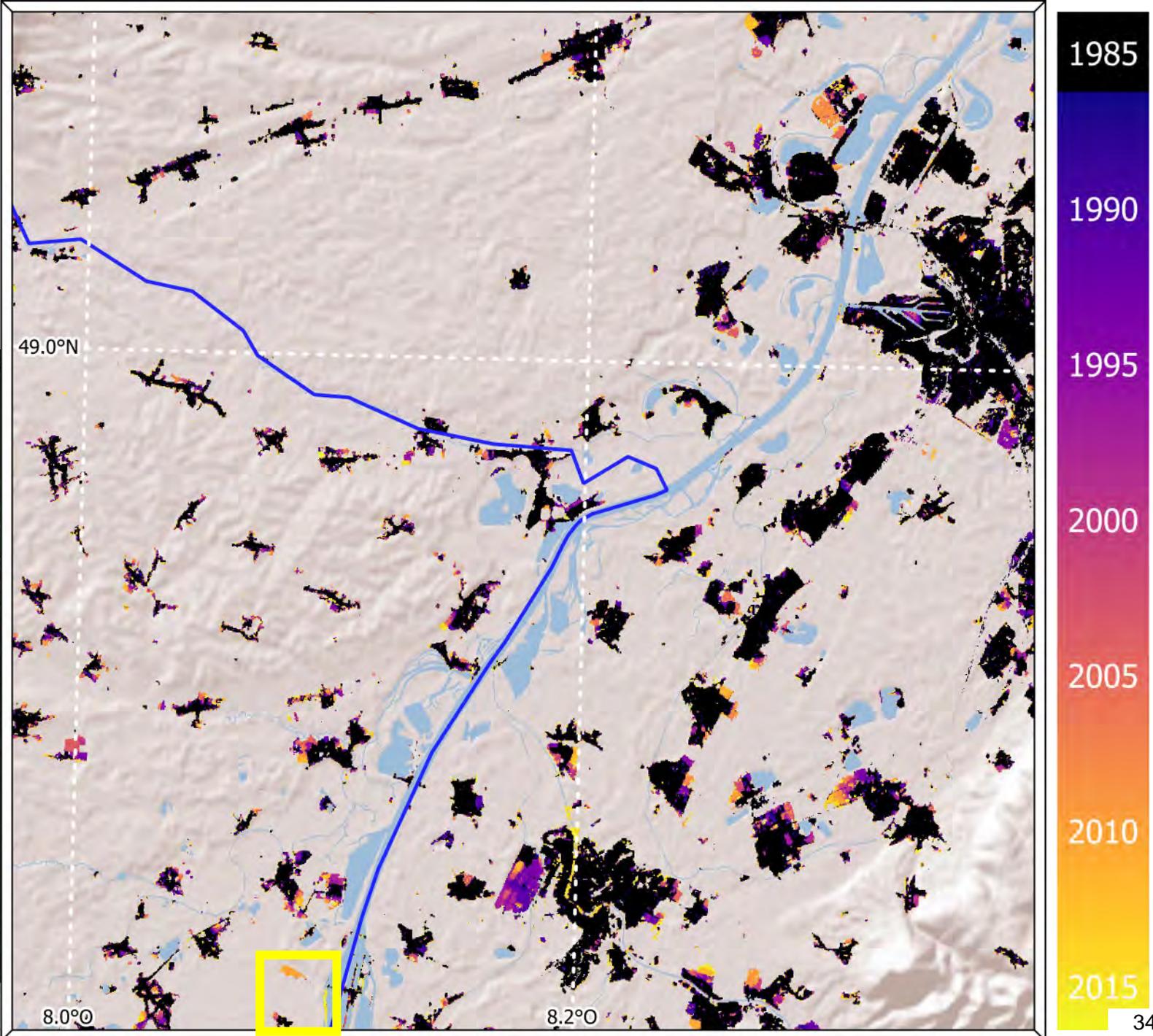


# Eurodistrikt Saar-Moselle



World Settlement Footprint Evolution  
1985 – 2015 © DLR 2021

# Eurodistrikt PAMINA



# Deutsch-französische Grenze

## • Direkte Nachbarn

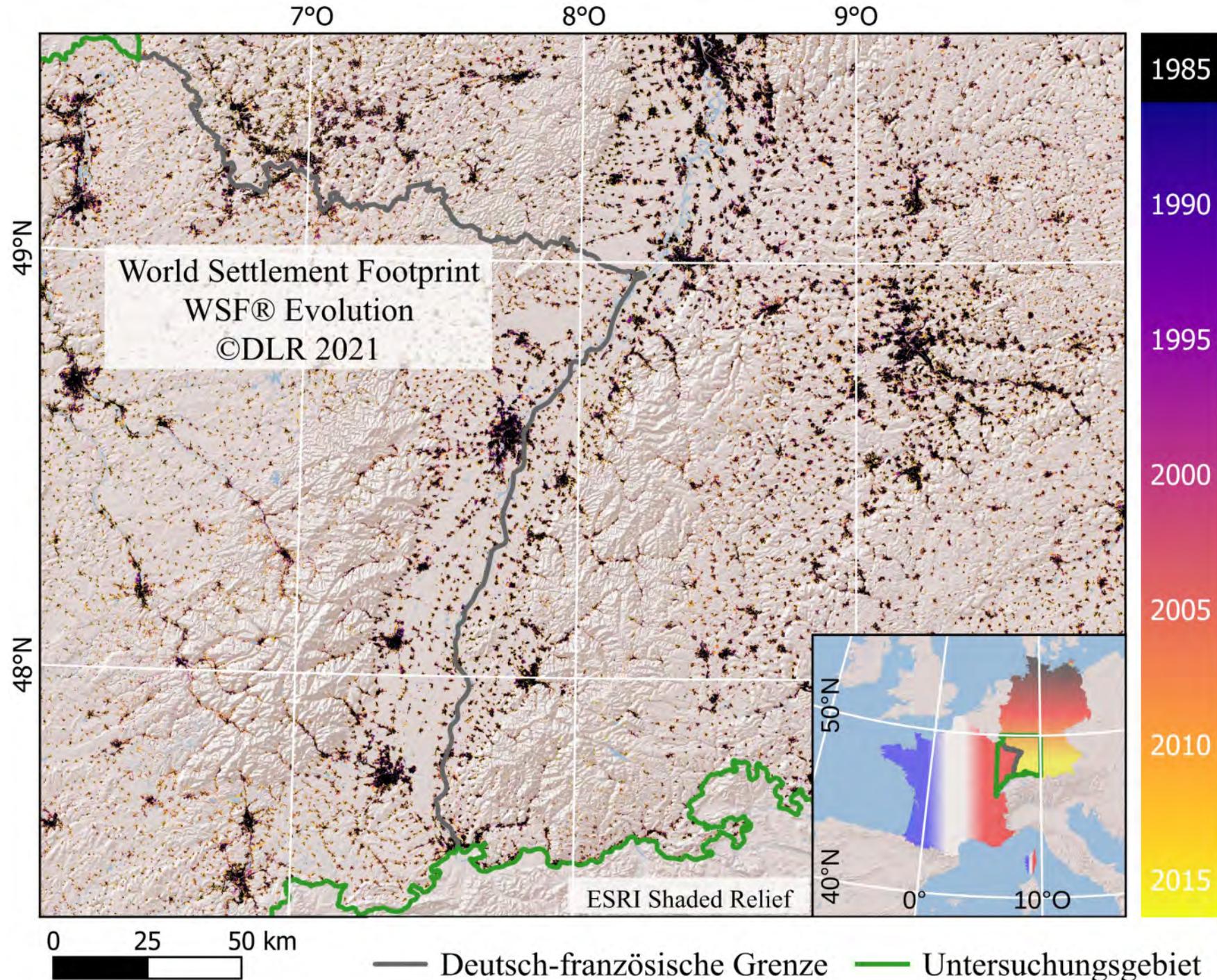
- auf 448 km Länge
- Départements
  - *Moselle*
  - *Bas-Rhin*
  - *Haut-Rhin*
- Bundesländer
  - *Saarland*
  - *Rheinland-Pfalz*
  - *Baden-Württemberg*

## • Natürliche Grenzen

- Rhein und Lauter
- Mittelgebirge

## • Schengener Abkommen

- Grenzöffnung beschlossen im Jahr 1985
- Wegfall der Grenzkontrollen im Jahr 1995



# „Deutsche“ Stadtellipsen

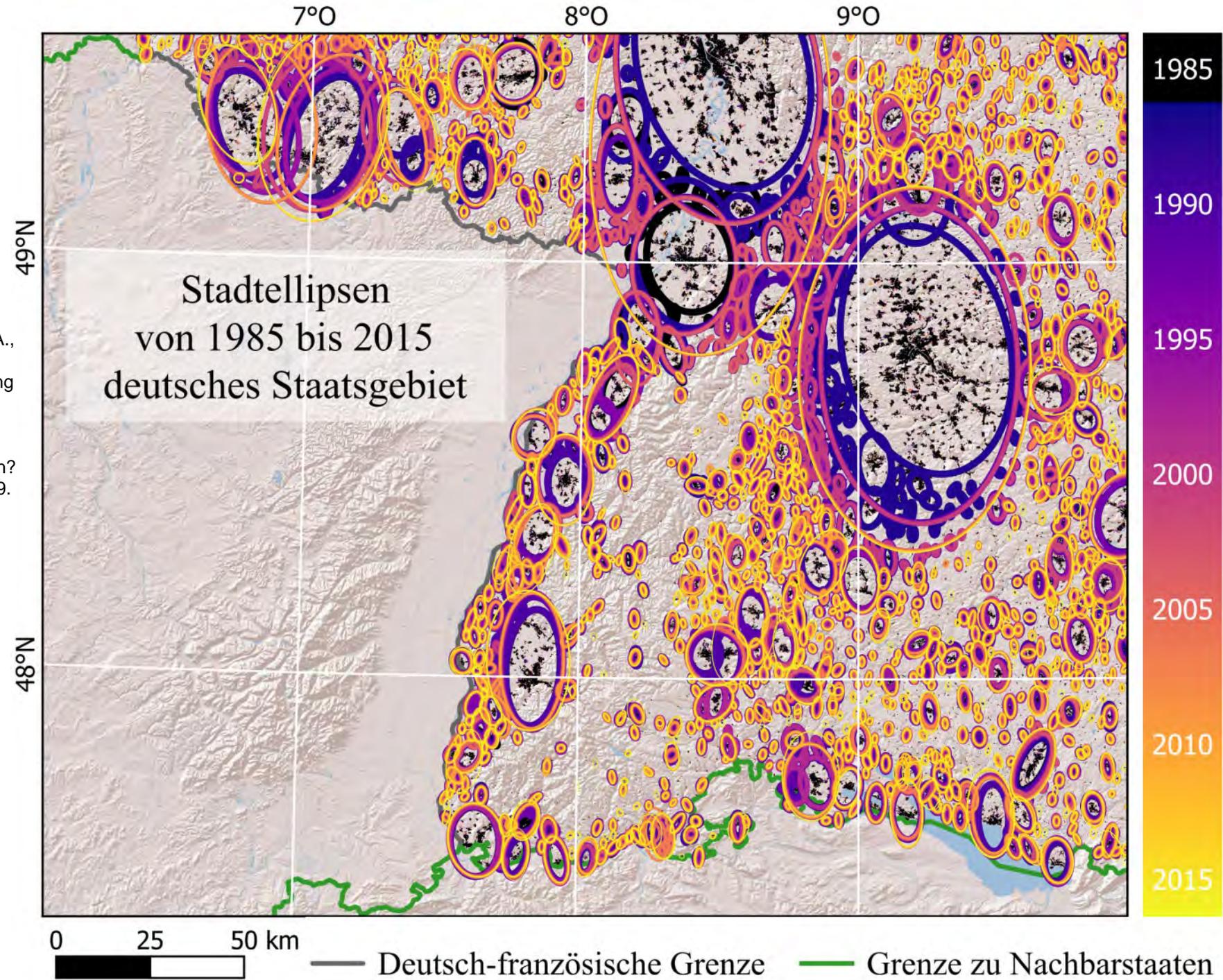


Schmitt, A., Kellhammer, A., & Hauser, S. (2025).  
Satellitenbasierte Erfassung  
der Siedlungsentwicklung  
entlang der deutsch-  
französischen Grenze:  
Wächst Europa zusammen?  
gis.Science, 1/2025, 13–29.

Entwicklung der Stadtellipsen  
von 1985 bis 2015

anhand des  
World Settlement Footprint Evolution  
© DLR 2021

erzeugt durch unabhängiges Clustern  
der einzelnen Jahre



# „Französische“ Stadtellipsen

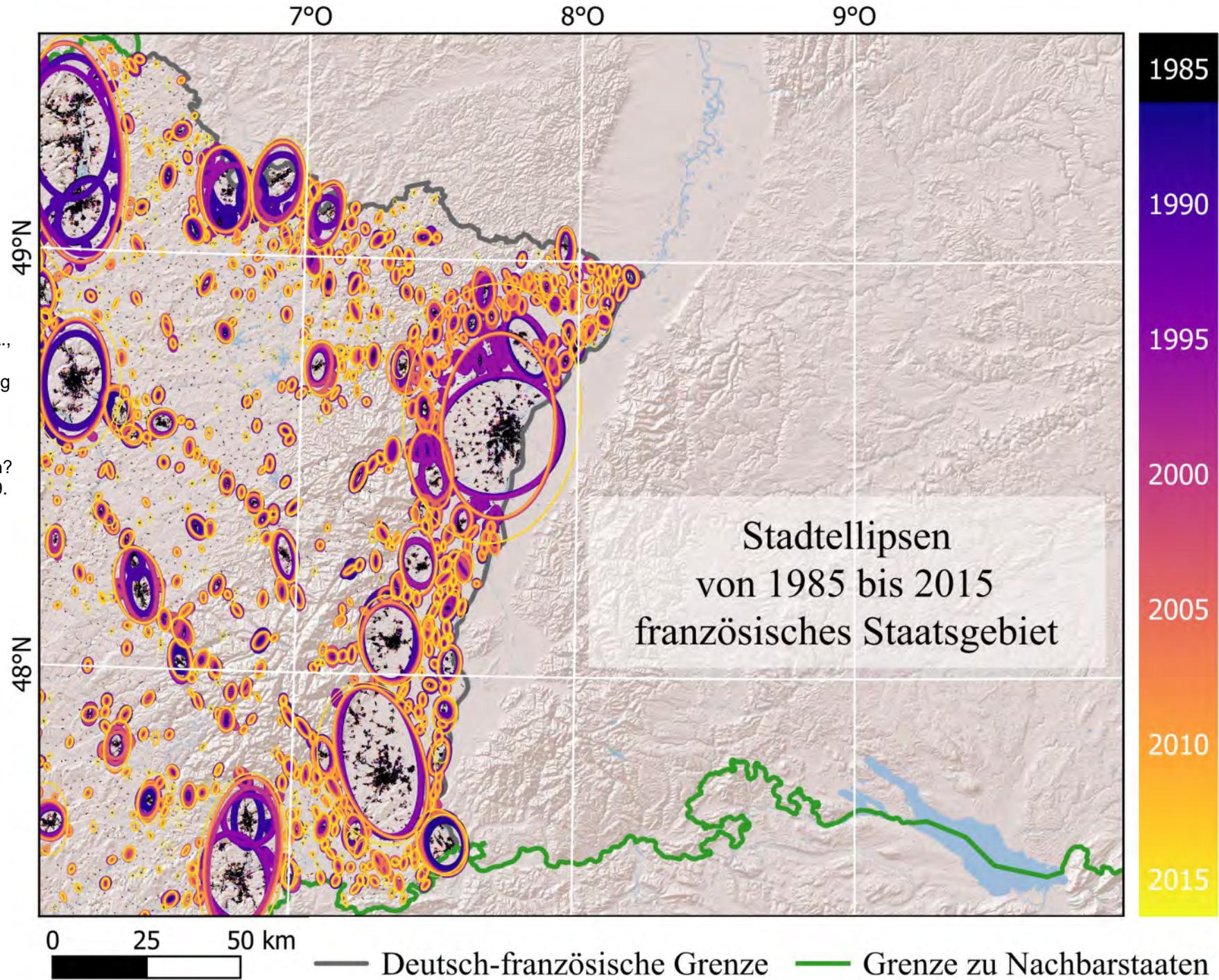


Schmitt, A., Kellhammer, A., & Hauser, S. (2025). Satellitenbasierte Erfassung der Siedlungsentwicklung entlang der deutsch-französischen Grenze: Wächst Europa zusammen? *gis.Science*, 1/2025, 13–29.

Entwicklung der Stadtellipsen von 1985 bis 2015

anhand des World Settlement Footprint Evolution © DLR 2021

erzeugt durch unabhängiges Clustern der einzelnen Jahre



# „Europäische“ Städtellipsen

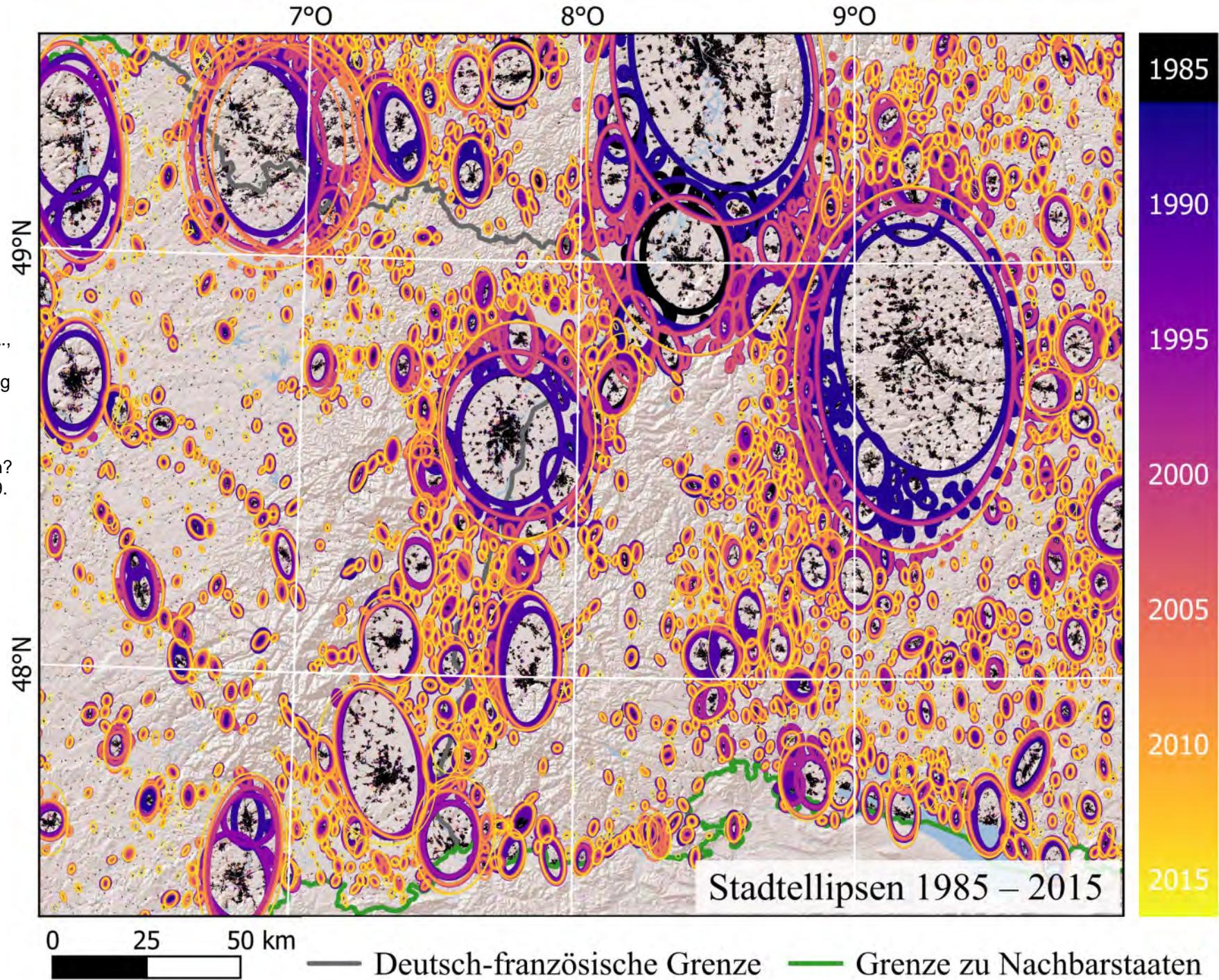


Schmitt, A., Kellhammer, A., & Hauser, S. (2025). Satellitenbasierte Erfassung der Siedlungsentwicklung entlang der deutsch-französischen Grenze: Wächst Europa zusammen? gis.Science, 1/2025, 13–29.

Entwicklung der Städtellipsen von 1985 bis 2015

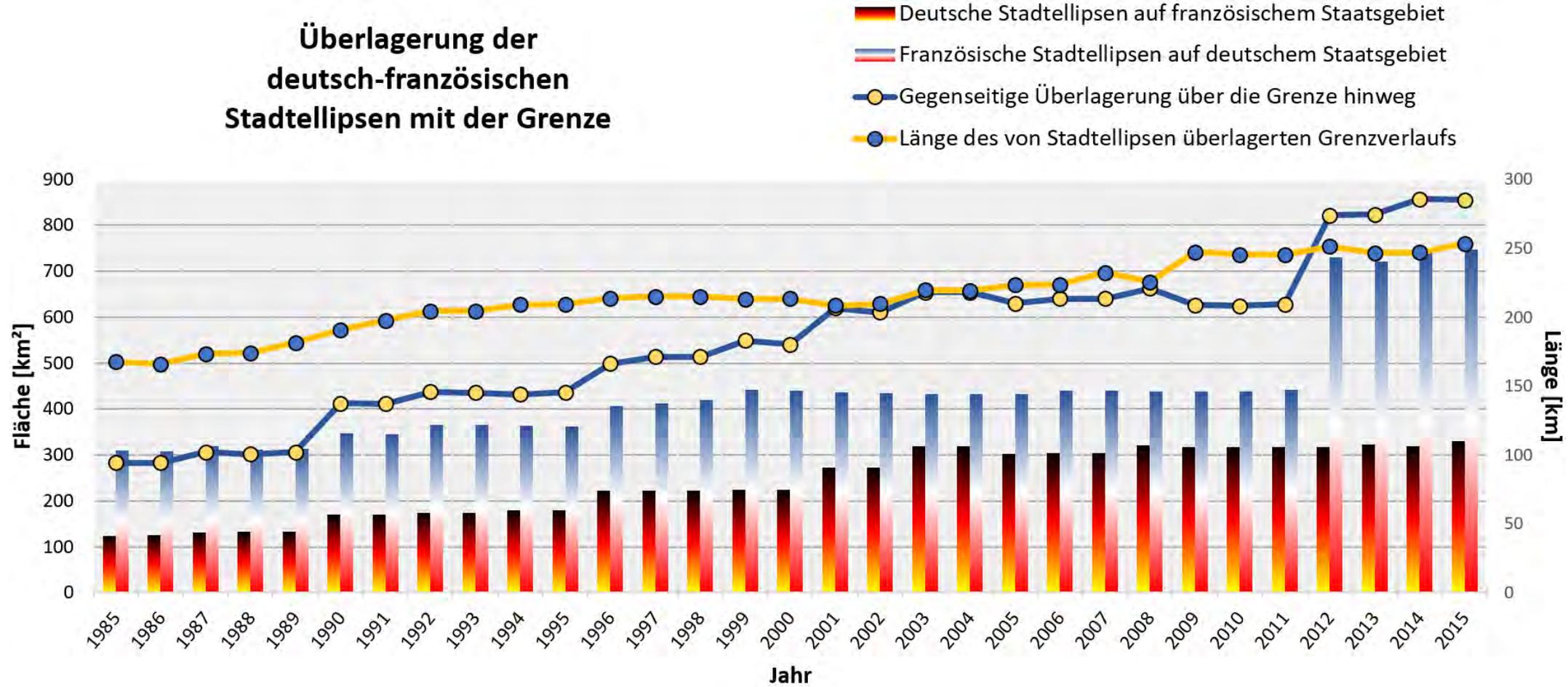
anhand des World Settlement Footprint Evolution © DLR 2021

erzeugt durch unabhängiges Clustern der einzelnen Jahre



# Stadteippen im Nachbarland

## Überlagerung der deutsch-französischen Stadteippen mit der Grenze



### Erkenntnisse

- Die Zahl der grenzüberschreitenden Stadteippen steigt auf beiden Seiten der Grenze an.
- Die Stadteippen überlagern sich zunehmend gegenseitig über die Grenze hinweg.
- Der Grenzverlauf fällt immer mehr mitten in die erkannten Siedlungsgebiete.
- *Minimale Schwankungen aufgrund der unabhängigen Zuordnung pro Jahr.*

# „Europäische“ Stadtellipsen

## Eurodistrikt Strasbourg-Ortenau

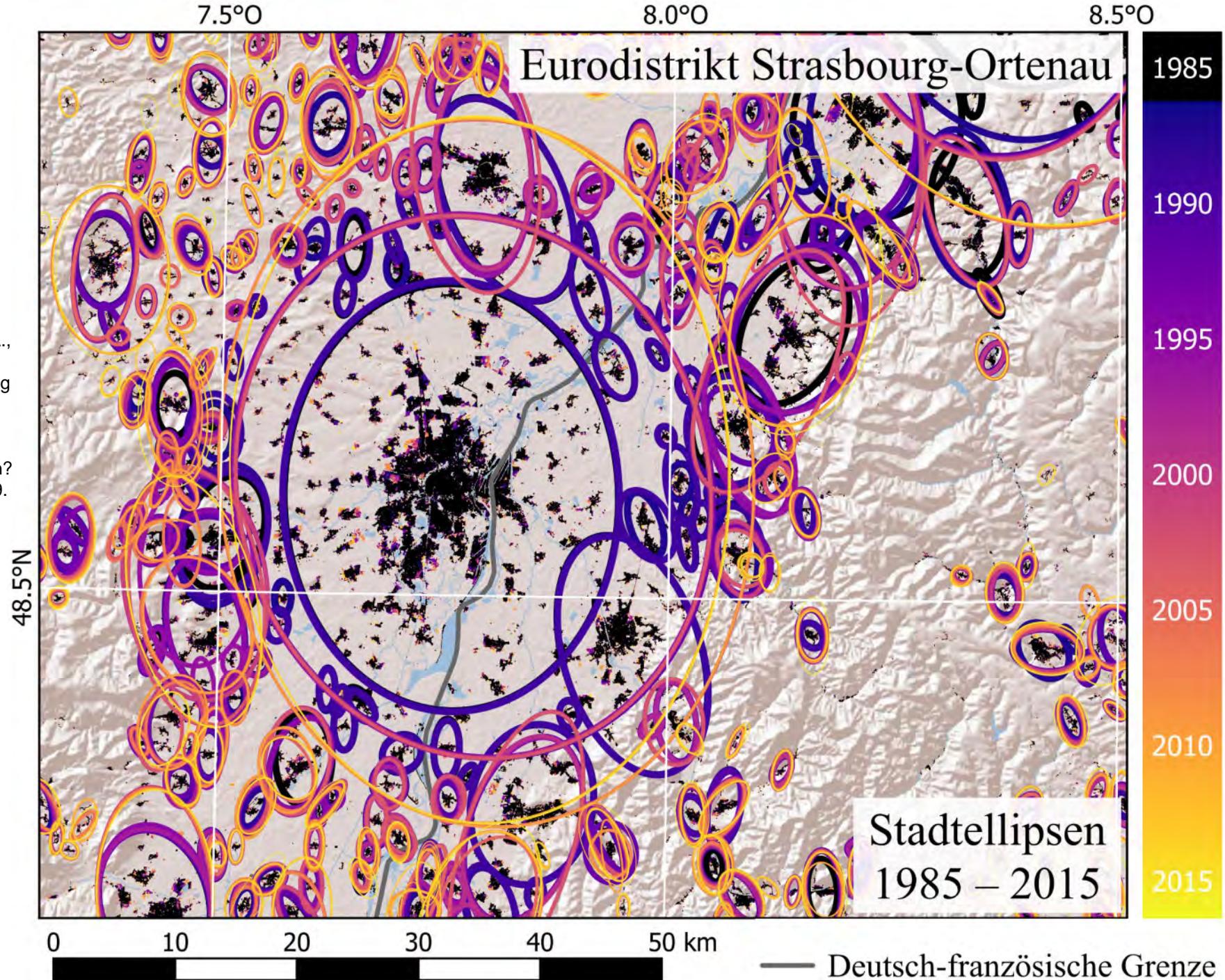


Schmitt, A., Kellhammer, A., & Hauser, S. (2025).  
Satellitenbasierte Erfassung  
der Siedlungsentwicklung  
entlang der deutsch-  
französischen Grenze:  
Wächst Europa zusammen?  
gis.Science, 1/2025, 13–29.

Entwicklung der Stadtellipsen  
von 1985 bis 2015

anhand des  
World Settlement Footprint Evolution  
© DLR 2021

erzeugt durch unabhängiges Clustern  
der einzelnen Jahre



# „Europäische“ Stadtellipsen

## Eurodistrikt Saar-Moselle

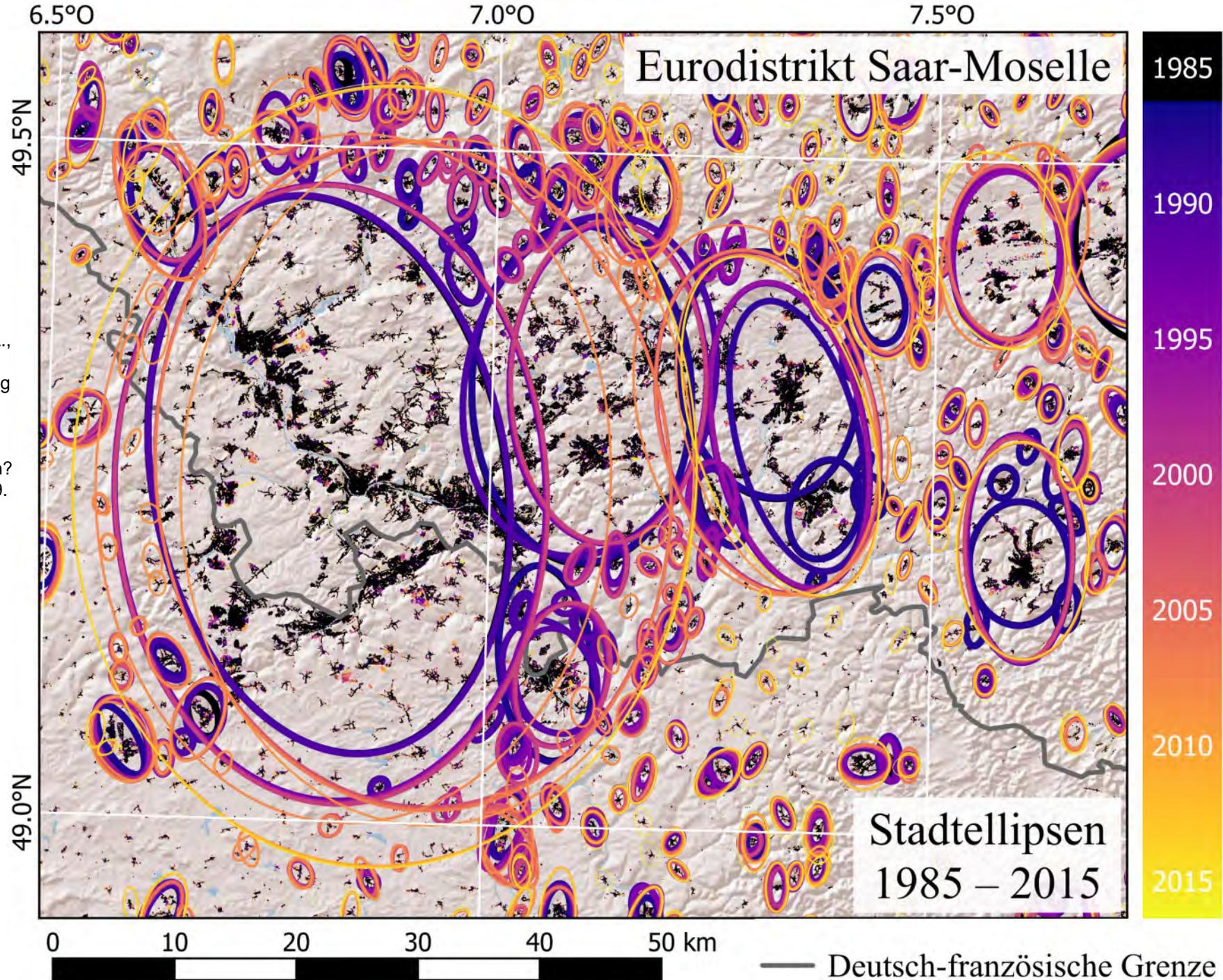


Schmitt, A., Kellhammer, A., & Hauser, S. (2025).  
Satellitenbasierte Erfassung  
der Siedlungsentwicklung  
entlang der deutsch-  
französischen Grenze:  
Wächst Europa zusammen?  
gis.Science, 1/2025, 13–29.

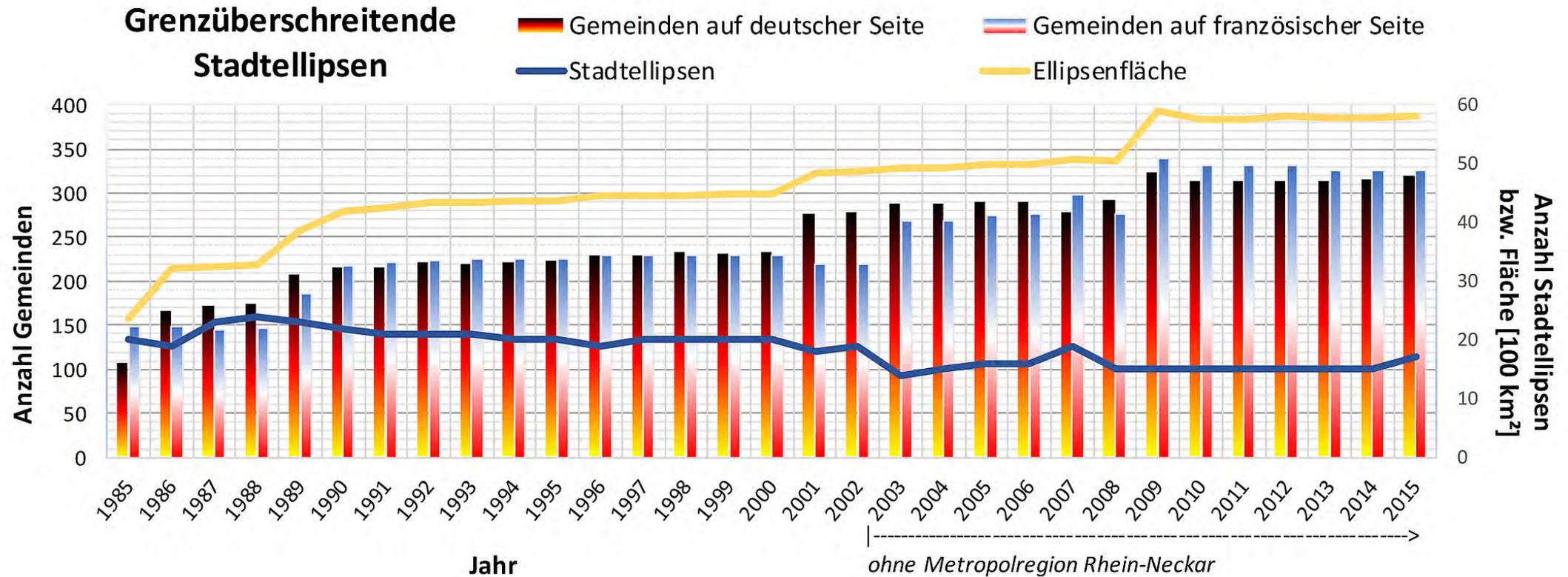
Entwicklung der Stadtellipsen  
von 1985 bis 2015

anhand des  
World Settlement Footprint Evolution  
© DLR 2021

erzeugt durch unabhängiges Clustern  
der einzelnen Jahre



# Administrative Einheiten



## Erkenntnisse

- Die Gesamtzahl grenzüberschreitender Stadtellipsen sinkt minimal von 1985 bis 2015.
- Steigende Anzahl von Gemeinden in grenzüberschreitenden Stadtellipsen.
- Die Fläche grenzüberschreitender Stadtellipsen nimmt zu.
- *Die Metropolregionen Rhein-Neckar & Karlsruhe wachsen im Jahr 2003 zusammen.*

# Verschiebung der Ellipsenmittelpunkte

## Typische Entwicklung

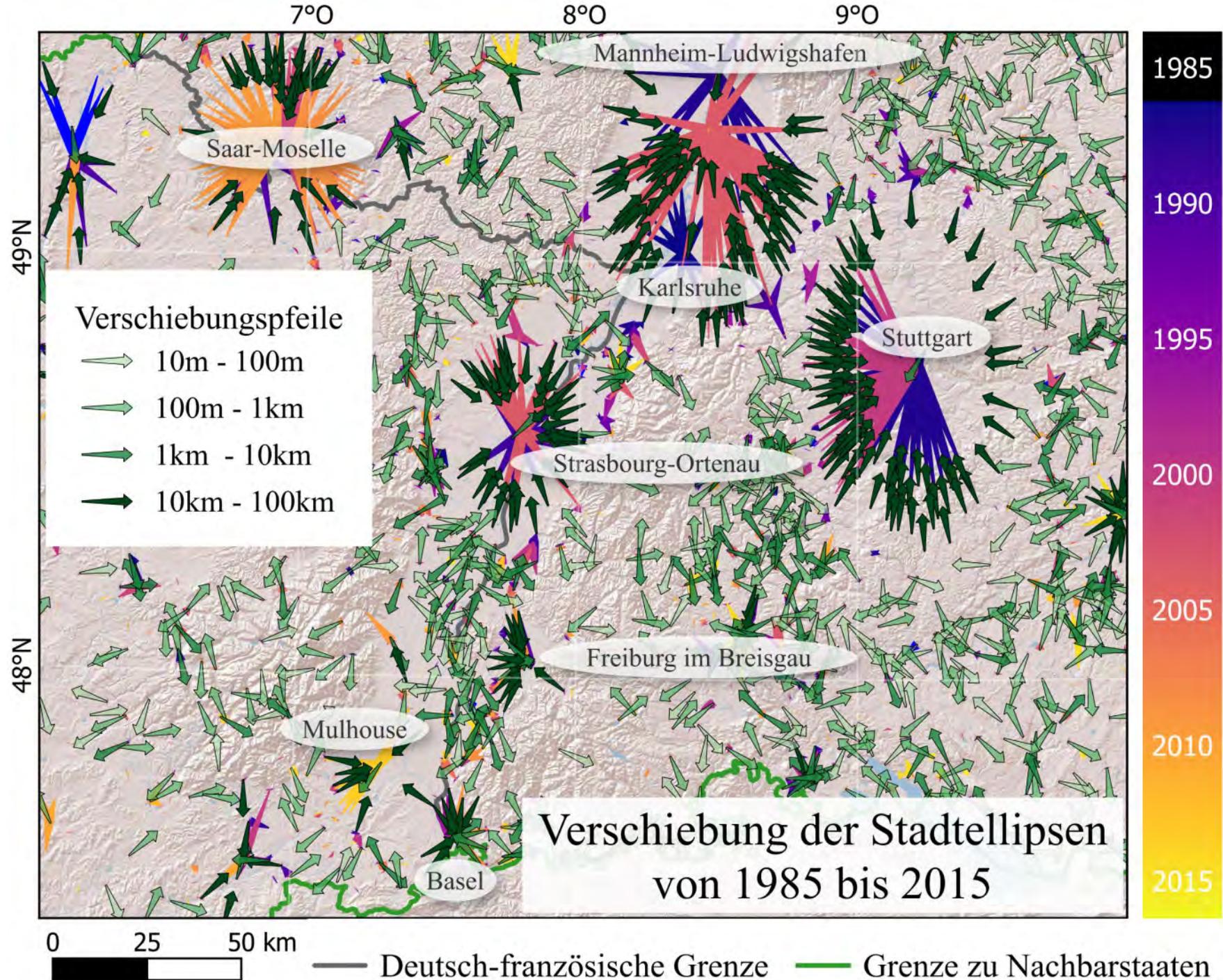
- eine „kleine“ Stadtellipse geht im kommenden Jahr in einer „größeren“ Stadtellipse auf
- Visualisierung
  - *Pfeil* → *Richtung*
  - *Linie* → *Verschiebung*
  - *Farbe* → *Jahr der Zuordnung*

## Beobachtung

- Metropolregionen wachsen und üben eine starke Anziehung aus
- Wachstumsrichtung abseits der Metropolregionen eher „zufällig“

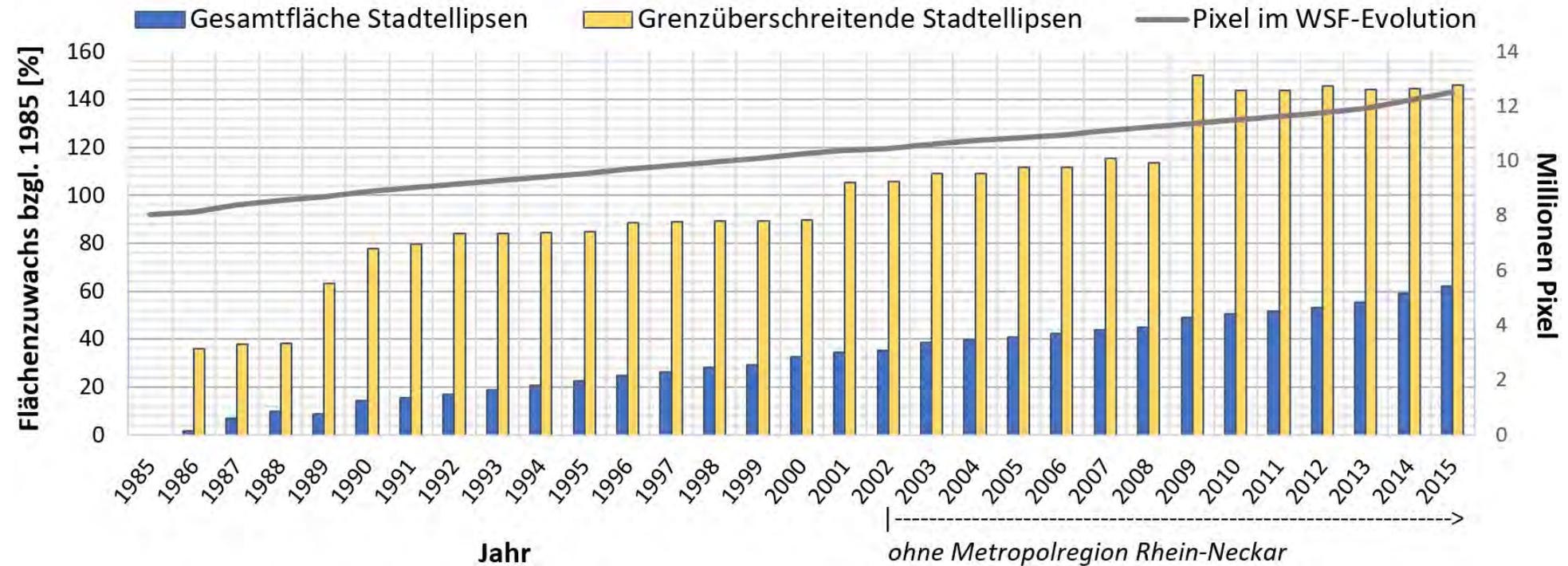
## Fazit

- Unabhängiges Clustern der einzelnen Jahre kritisch
  - *Clustering stabil*
  - *Zuordnung variabel*
- Temporale Parametrisierung



# Bebaute Fläche und Stadtellipsen

## Zunahme bebauter Flächen im Untersuchungsgebiet seit 1985



### Erkenntnisse

- Die bebaute Fläche nimmt im Untersuchungszeitraum im gesamten Untersuchungsgebiet kontinuierlich zu.
- Im Vergleich zu 1985 wachsen Grenzellipsen um über 140%, grenzferne Ellipsen nur um 60%.
- Die Parametrisierung als Stadtellipsen verstärkt den Flächenzuwachs in der Statistik.
- *Der World Settlement Footprint Evolution zeigt nur Flächenzuwachs an, keine Abnahme.*
- *Die jährlich unabhängige Zuordnung führt teils zu Sprüngen im Jahresvergleich.*

# Gründe für das verstärkte Siedlungswachstum entlang der Grenze?

- Offene Grenzen führen global zu verstärktem Wachstum (Taubenböck et al. 2023)
- Wettbewerb lokaler Akteure im Grenzgebiet um Einwohner und Gewerbe (Le Bivic & Idt 2023)
- Urbane Synergien und wirtschaftliche Verflechtungen entstehen entlang funktionaler Achsen (Harig et al. 2021)
- Räumliche und funktionale Integration führt zu Stabilisierung und Stärkung regionaler Wirtschaft (Jehling & Hecht 2022)
- Synergie der Konzepte „Metropolregionen“ (Diller & Eichhorn 2022) und „Pôles de Compétitivité“ (Theisse 2017)
- grenzüberschreitende Programme mit Wirkung auf die regionale Entwicklung (Hartz & Caesar 2022)
- Fachkräfteaustausch durch grenzüberschreitenden Arbeitsmarkt (Harster & Siebenhaar 2022)

## Quellenangaben

Taubenböck, H.; Otto, C.; Gülzau, F.; Mau, S. (2023): *Border regions across the globe: Analyzing border typologies, economic and political disparities, and development dynamics*. In: *Applied Geography* 151, 102866.

Le Bivic, C.; Idt, J. (2023): *Managing and controlling diffuse urbanization in France: Spatial planning practices in cross-border city-regions*. In: *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning* 81 (6), S. 605 – 619.

Harig, O.; Hecht, R.; Burghardt, D.; Meinel, G. (2021): *Automatic Delineation of Urban Growth Boundaries Based on Topographic Data Using Germany as a Case Study*. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10 (5), S. 353.

Jehling, M.; Hecht, R. (2022): *Do land policies make a difference? A datadriven approach to trace effects on urban form in France and Germany*. In: *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science* 49 (1), S. 114 – 130.

Diller, C.; Eichhorn, S. (2022): *25 Jahre Metropolregionen in Deutschland im Spagat zwischen Raumordnung und Raumentwicklung. Ein Klassifizierungsvorschlag*. In: *Standort* 46, S. 16 – 23.

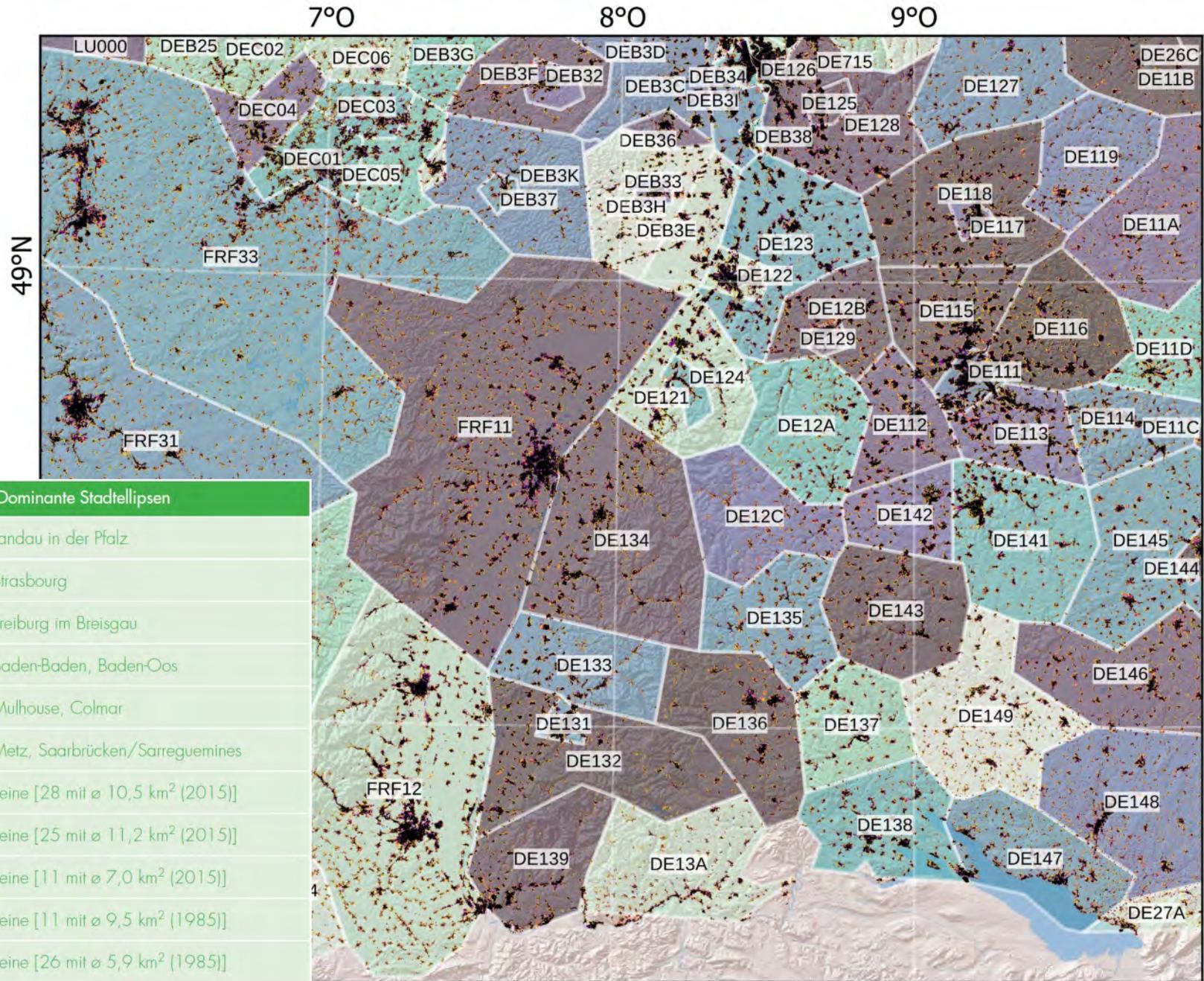
Theisse, J. (2017): *Des pôles de compétitivité performants et structurants pour les territoires*. In: *En Bref. Une publication du Commissariat général à l'égalité des territoires (CGET)*.

Hartz, A.; Caesar, B. (2022): *A short profile of the Greater Region and the Upper Rhine region*. In: *Pallagst, K.; Hartz, A.; Caesar, B. (Hrsg.): Border Futures – Zukunft Grenze – Avenir Frontière: The future viability of crossborder cooperation*. Verlag der ARL – Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft, Hannover, S. 46 – 61.

Harster, P.; Siebenhaar, F. (2022): *The cross-border labour market: A priority in the Eurodistrict PAMINA*. In: *Pallagst, K.; Hartz, A.; Caesar, B. (Hrsg.): Border Futures – Zukunft Grenze – Avenir Frontière: The future viability of cross-border cooperation*. Verlag der ARL – Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft, Hannover, S. 322 – 335.

# Vergleich zwischen Stadtellipsen und urbanen Strukturen auf NUTS-Ebene

- Übereinstimmung in der urbanen Morphologie
- Modifiable Areal Unit Problem omnipräsent
  - *NUTS orientieren sich u.a. an*
    - Verwaltungseinheiten
    - Einwohnerzahlen
  - *Satellitendaten liefern*
    - einheitliche räumliche Abtastung
    - weltweit, konsistent, unabhängig

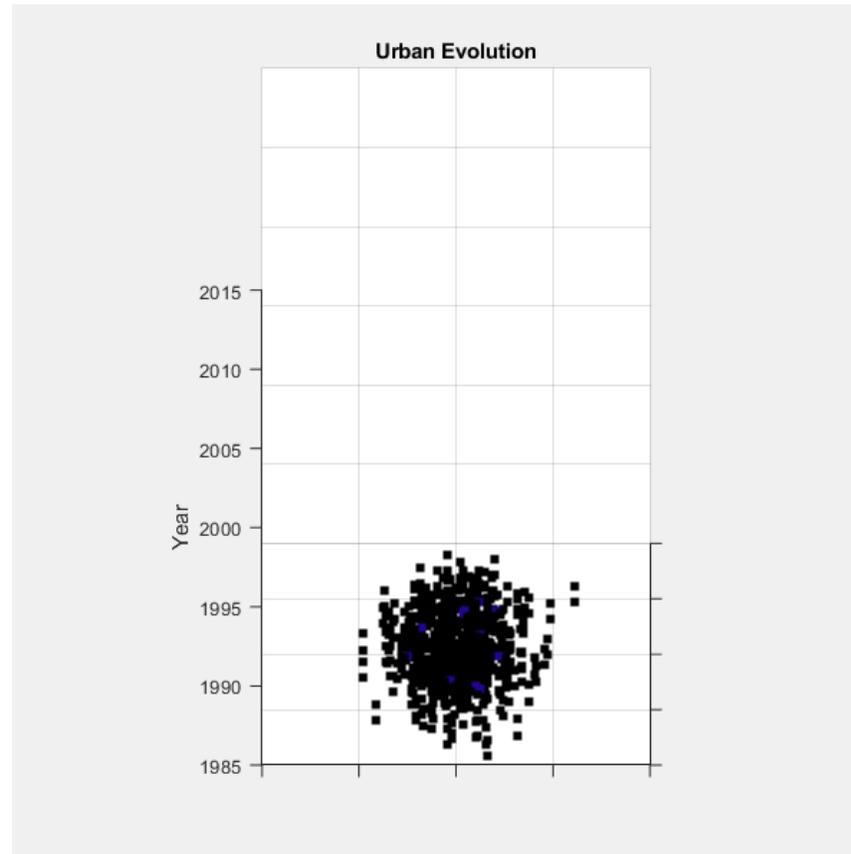


Einheit nach NUTS3	Code	Urbane Morphologie & Substruktur		Dominante Stadtellipsen
Landau in der Pfalz	DEB33	monozentrisch	wesentlich	Landau in der Pfalz
Bas-Rhin	FRF11	monozentrisch	beschränkt	Strasbourg
Freiburg im Breisgau	DE131	monozentrisch	beschränkt	Freiburg im Breisgau
Baden-Baden	DE121	bizentrisch/linear	wesentlich	Baden-Baden, Baden-Oos
Haut-Rhin	FRF12	bizentrisch/linear	beschränkt	Mulhouse, Colmar
Moselle	FRF33	bizentrisch/linear	beschränkt	Metz, Saarbrücken/Sarreguemines
Breisgau-Hochschwarzwald	DE132	polyzentrisch	wesentlich	keine [28 mit $\varnothing$ 10,5 km <sup>2</sup> (2015)]
Ortenaukreis	DE134	polyzentrisch	beschränkt	keine [25 mit $\varnothing$ 11,2 km <sup>2</sup> (2015)]
Emmendingen	DE133	polyzentrisch	wesentlich	keine [11 mit $\varnothing$ 7,0 km <sup>2</sup> (2015)]
Germersheim	DEB3E	polyzentrisch	beschränkt	keine [11 mit $\varnothing$ 9,5 km <sup>2</sup> (1985)]
Südliche Weinstraße	DEB3H	polyzentrisch	wesentlich	keine [26 mit $\varnothing$ 5,9 km <sup>2</sup> (1985)]



■ Nomenclature des unités territoriales statistiques (NUTS 3)

# Neue Konzepte aus laufenden Studien



# Neues Konzept der UrbanEllipsoids

## Ansatz

- Zeitreihe wird als Ganzes betrachtet
- Statt einzelner Ellipsen ein Ellipsoid
  - *ein Ellipsoid pro Stadt*
  - *über alle Zeitpunkte*

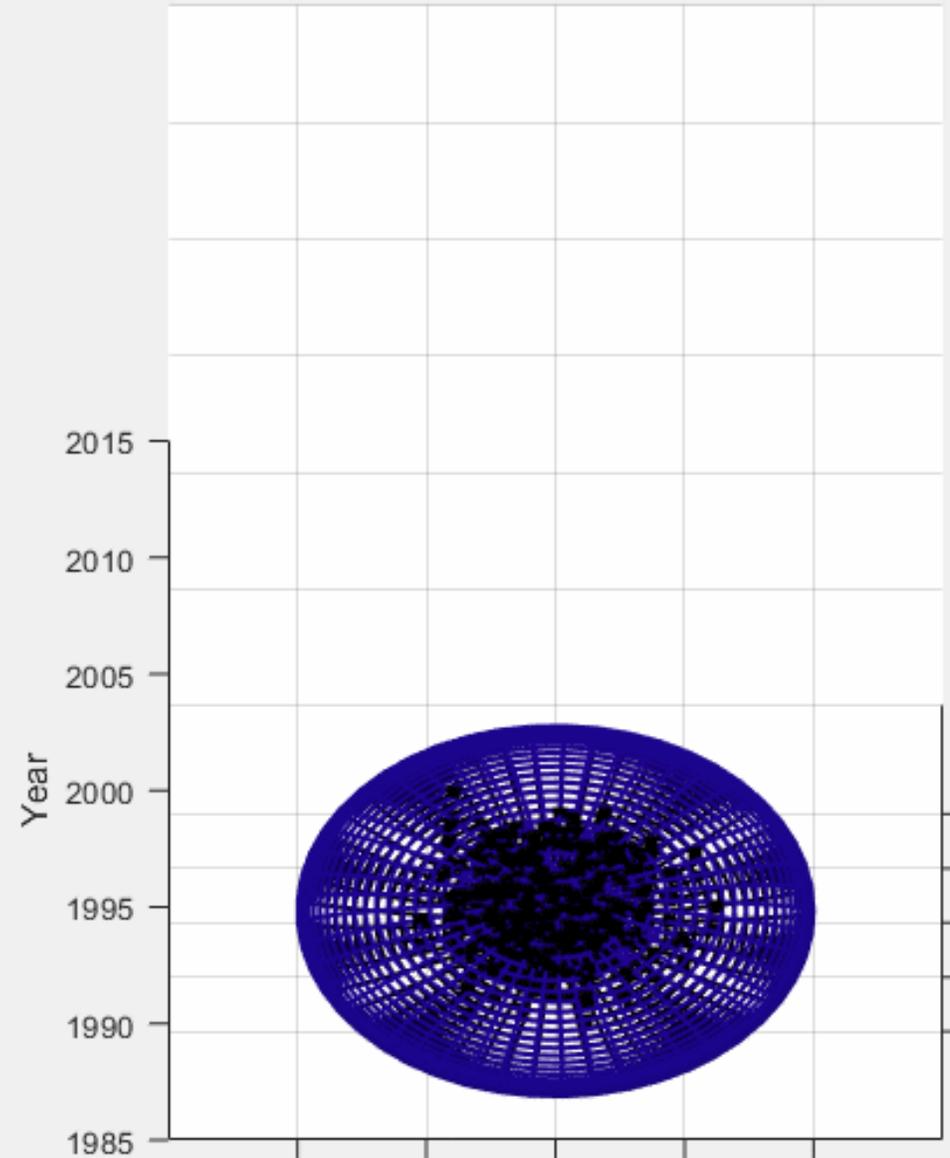
## Interpretation

- Zeitliche Lage des Ellipsenmittelpunkts
  - *Wachstumsschwerpunkt*
- Kippung der Hauptachsen des Ellipsoids
  - *Wachstumsrichtung*
- Zusätzlich: Schiefe entlang der Zeitachse
  - *Wachstumssteigerung*

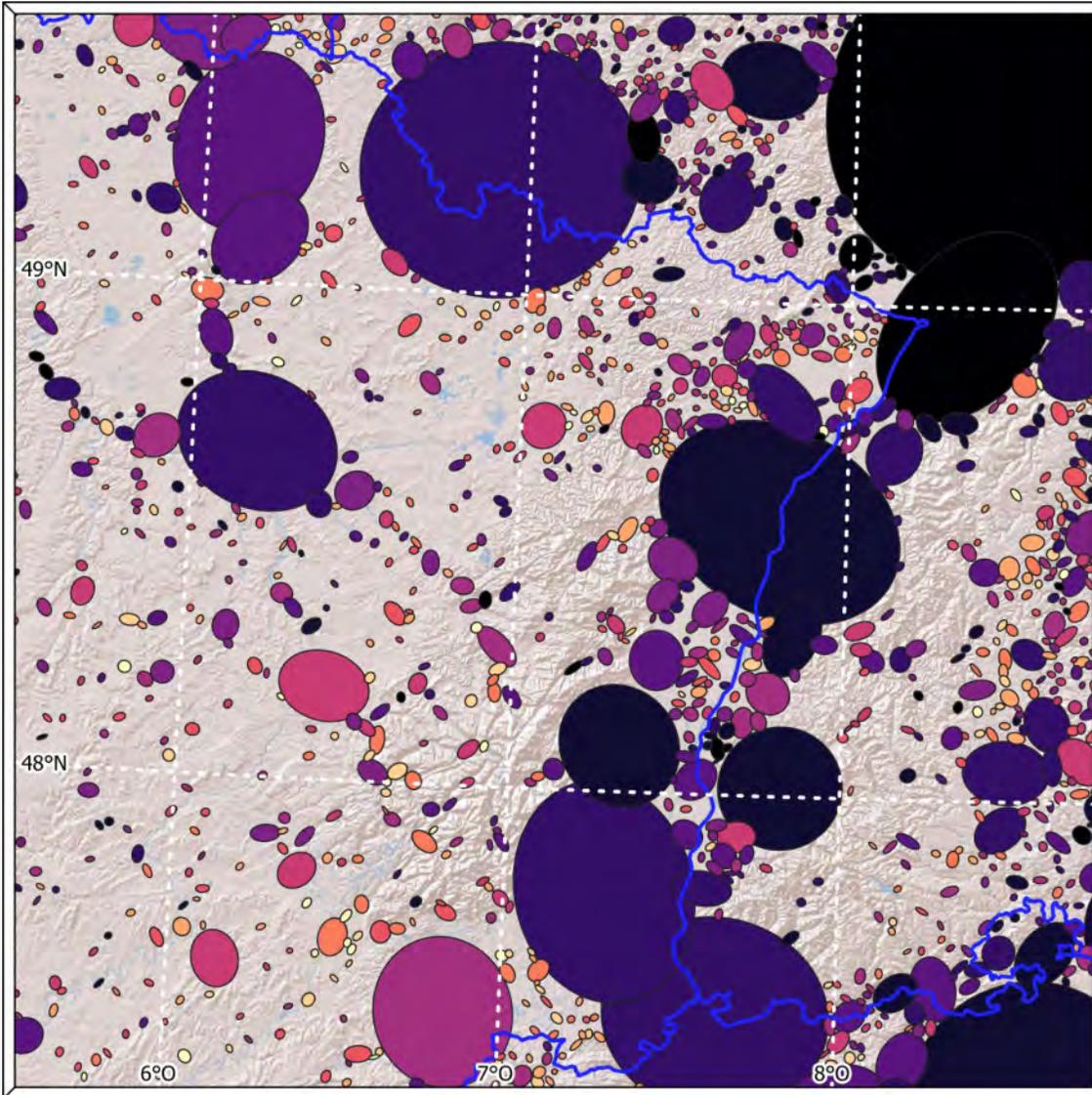
## Herausforderungen

- Rückführung auf einzelne Jahre
- Komplexe Entwicklungen

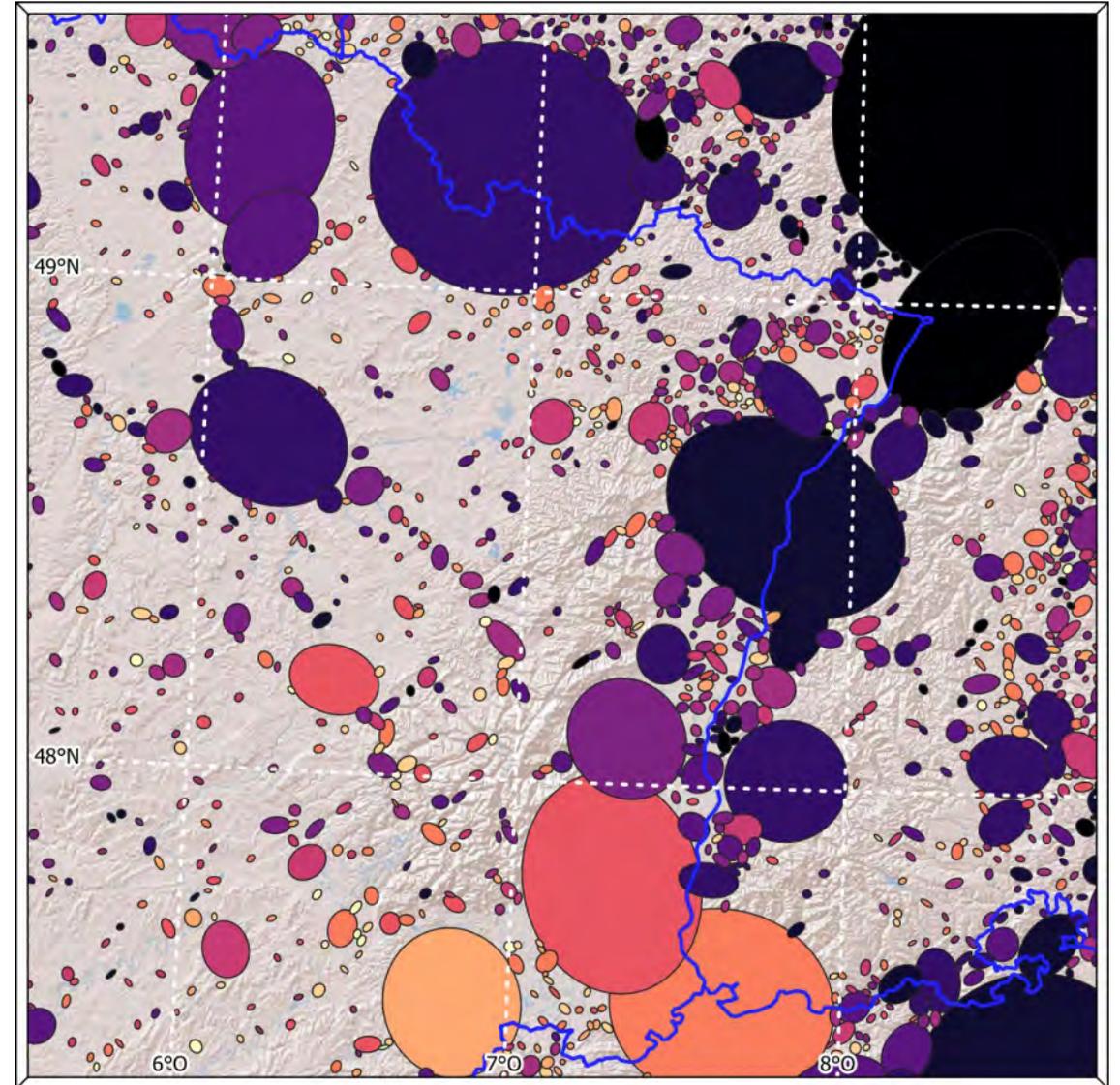
Temporal Development of an UrbanEllipsoid



# UrbanEllipsoids



Zeitlicher Schwerpunkt



Zeitliche Schiefe

# Neues Konzept der UrbanTubes

## Ansatz

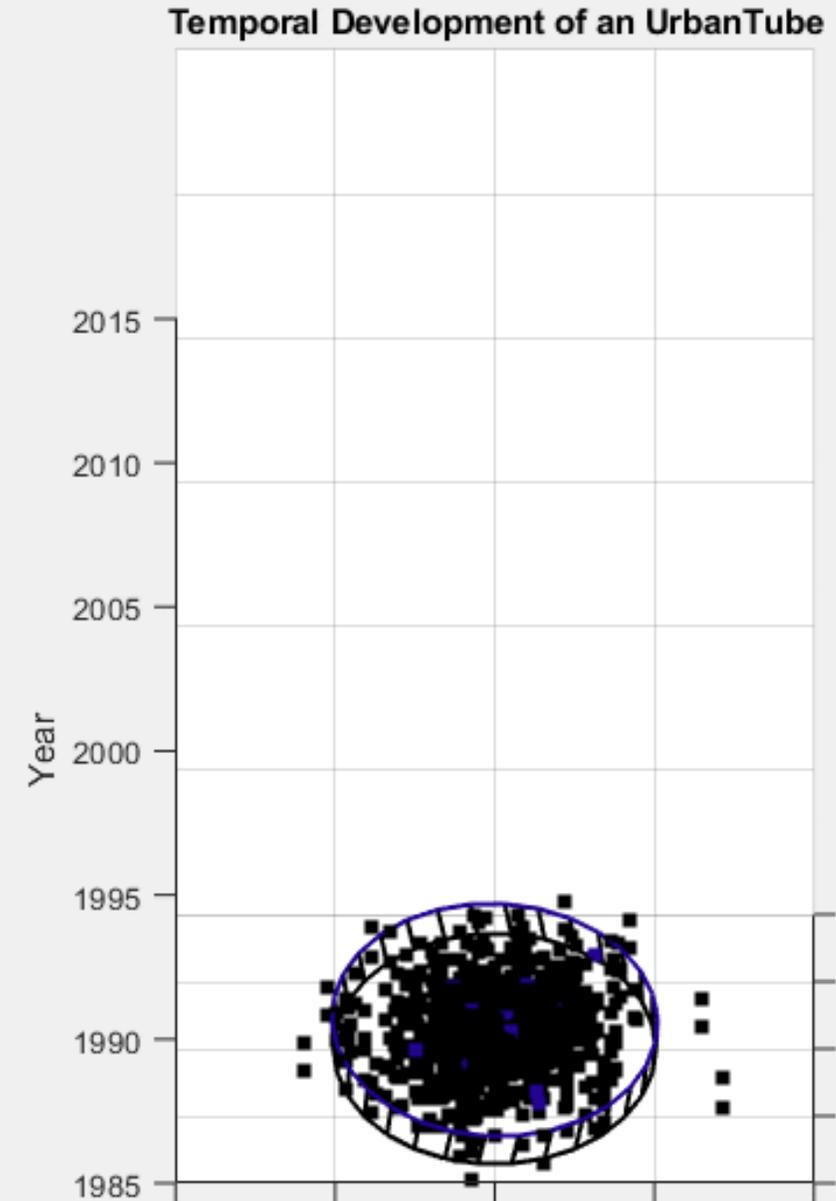
- die Zeitreihe wird als Ganzes geclustert
  - *Zuordnung bleibt stabil*
  - *aber eine Ellipse pro Jahr*
  - *Korrelation zwischen Jahren*

## Interpretation

- Verschiebung des Ellipsenmittelpunkts
  - *Wachstumsrichtung*
- Flächeninhalt der Ellipsen
  - *Flächenwachstum*
- Drehung der Hauptachsen
  - *Ausrichtung der Stadtentwicklung*
  - *Identifikation von Hotspots der Bebauung*

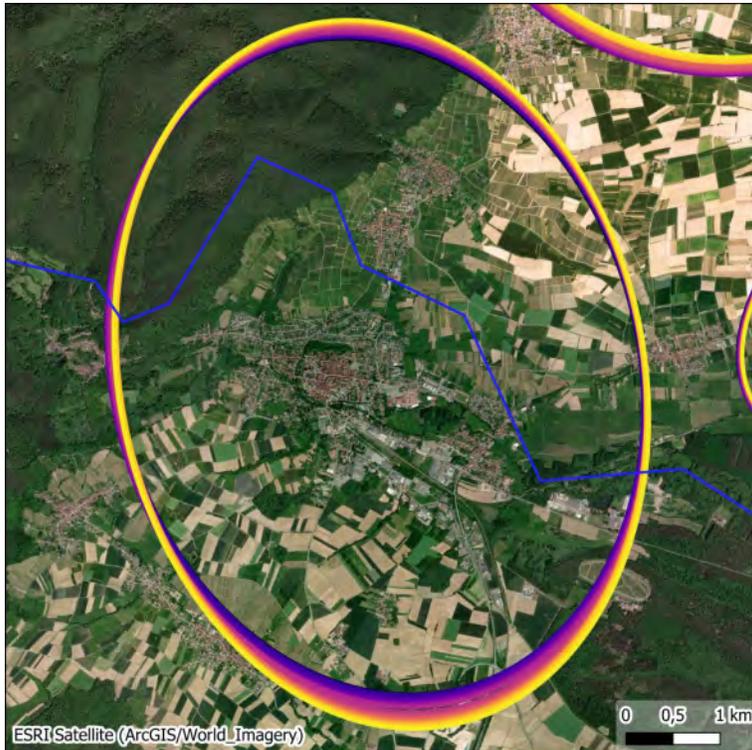
## Herausforderungen

- zahlreiche Parameter pro Stadt und Jahr
- umfangreiche statistische Auswertung



# UrbanTubes

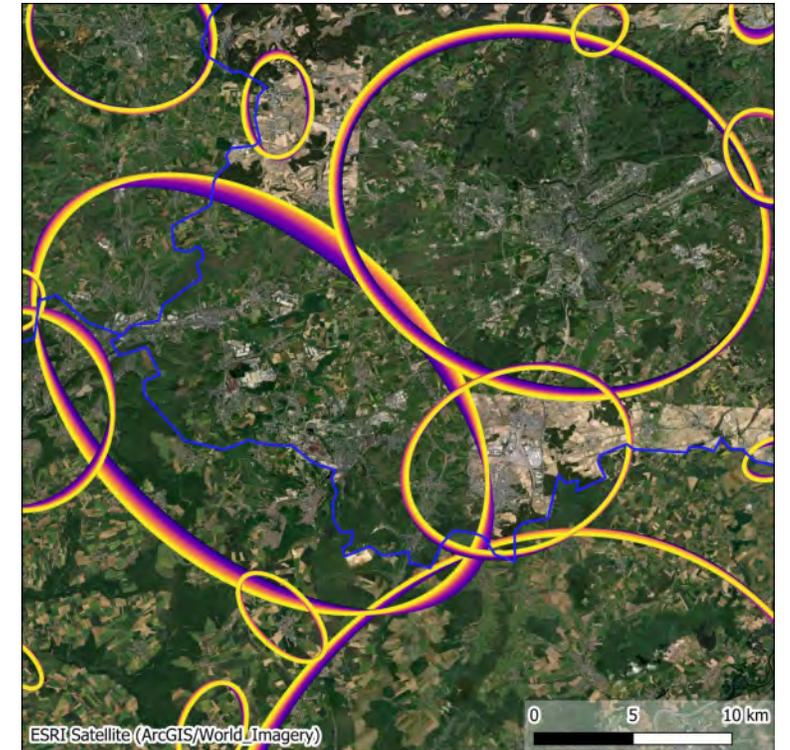
- Gerichtetes Wachstum grenzüberschreitender Stadtellipse → Wissembourg
- Verlagerung des Schwerpunkts der Bebauungsentwicklung → Rust (Baden)
- Langfristiges Zusammenwachsen benachbarter Stadtellipsen → Luxembourg



Wissembourg



Rust (Baden)



Luxembourg

1985

1990

1995

2000

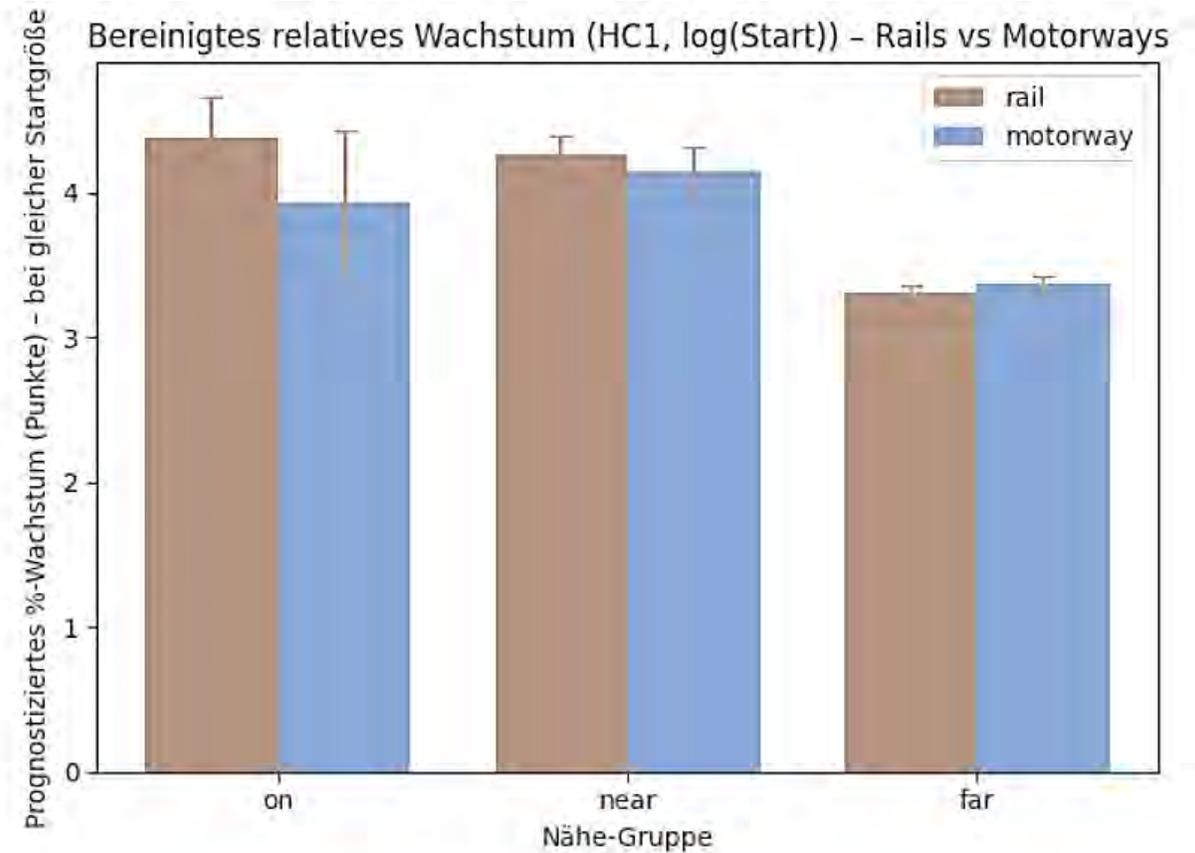
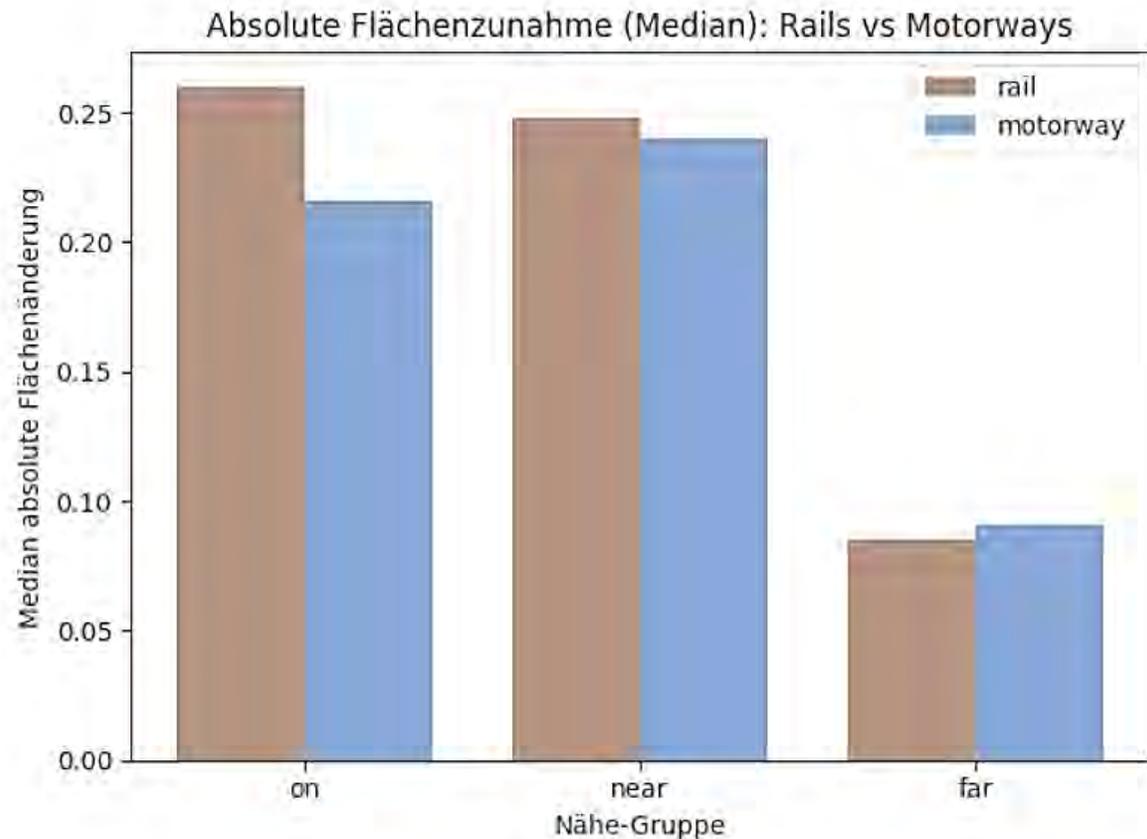
2005

2010

2015

# UrbanTubes vs. Verkehrsachsen

- Stadtebenen direkt an Bahnlinien oder Autobahnen wachsen schneller
  - *Vorläufiges Ergebnis aus einer laufenden Studie an der Fakultät für Geoinformation*
  - *Bearbeiter: Maximilian Schiedermeier (Studiengang Geoinformatik und Navigation)*



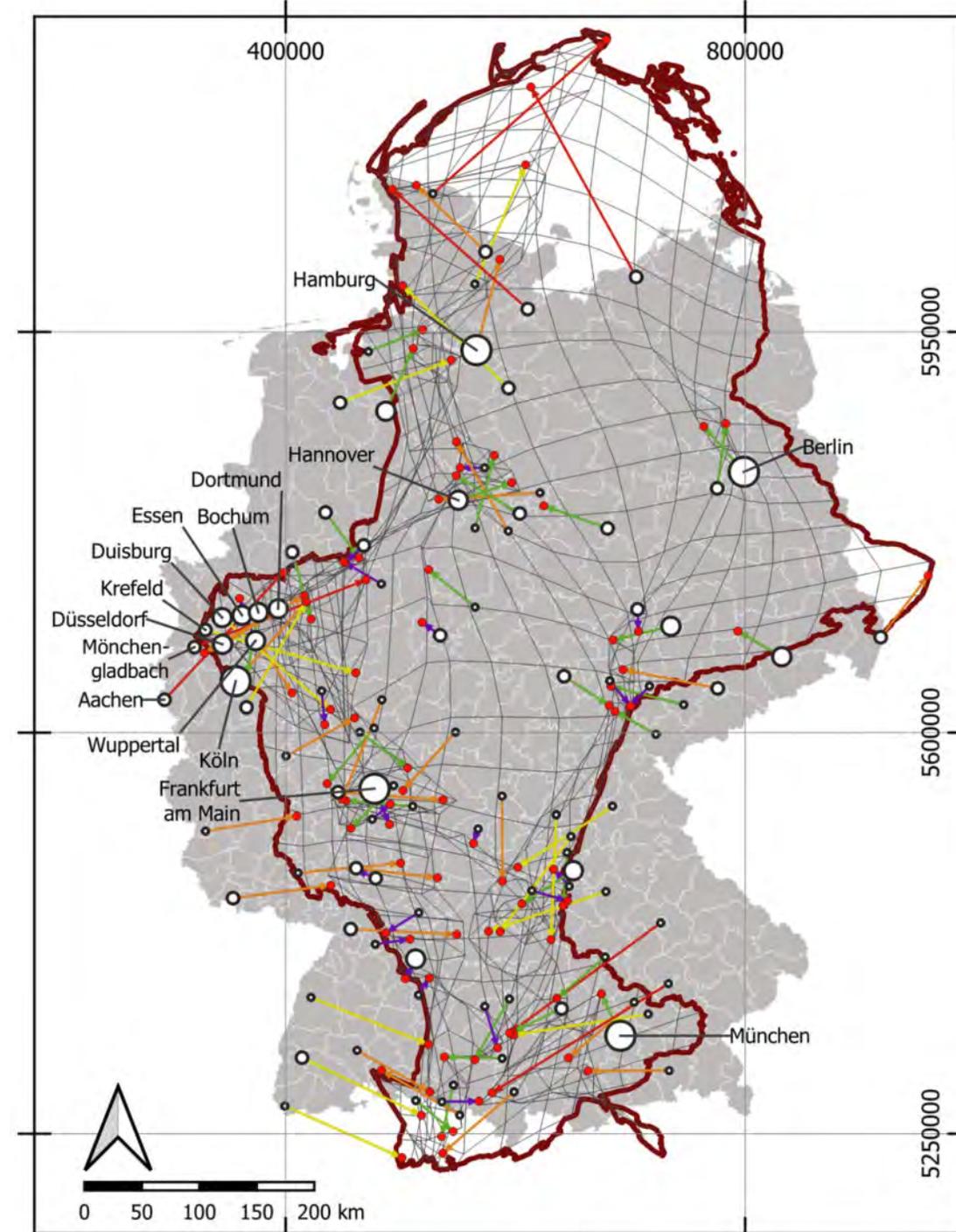
# Neues Konzept der Raum-Zeit-Anamorphose

## Kartenprojektion aufgrund der Verkehrsverbindungen

- Schnelle Verbindungen lassen Orte zusammenrücken
- Langsame Verbindungen lassen Orte auseinanderdriften
- Einbeziehung grenzüberschreitender Verkehrsachsen essentiell
- Perspektiven
  - *ganz Europa*
  - *Verschiedene Jahre*
  - *Verschiedene Tage und Tageszeiten*
  - *Simulation zukünftiger Verkehrsinfrastrukturprojekte*



Feicht, T., Schmitt, A.  
Anamorphic Visualization  
of the Space-Time-  
Paradigm by Geodetic  
Network Adjustment. *KN  
J. Cartogr. Geogr. Inf.* **73**,  
39–50 (2023).  
<https://doi.org/10.1007/s42489-022-00124-4>



## Fazit

wissenschaftlich und persönlich

### Satellitenbilder

- bieten eine unabhängige Datenquelle
- in mind. monatlicher Abtastung
- sind weltweit verfügbar

### World Settlement Footprint Evolution

- global, etwa 30 m x 30 m Pixel
- jährliche Karte von 1985 bis 2015
- optimal für geostatistische Analysen

### Wächst Europa zusammen?

- entlang der deutsch-französischen Grenze: ja!
  - verstärktes Wachstum gegenüber grenzfernem Umland
  - mehrere grenzüberschreitende Metropolregionen
  - Grenze in Bbauungsstruktur nicht erkennbar
- entlang anderer Grenzen im Schengenraum?
  - noch Gegenstand der Forschung
    - *UrbanTubes*
    - *UrbanEllipsoids*
    - *Raum-Zeit-Anamorphose*
- Ziel: untrügliches Plädoyer für offene Grenzen im vereinten Europa



### Eigene Erfahrungen

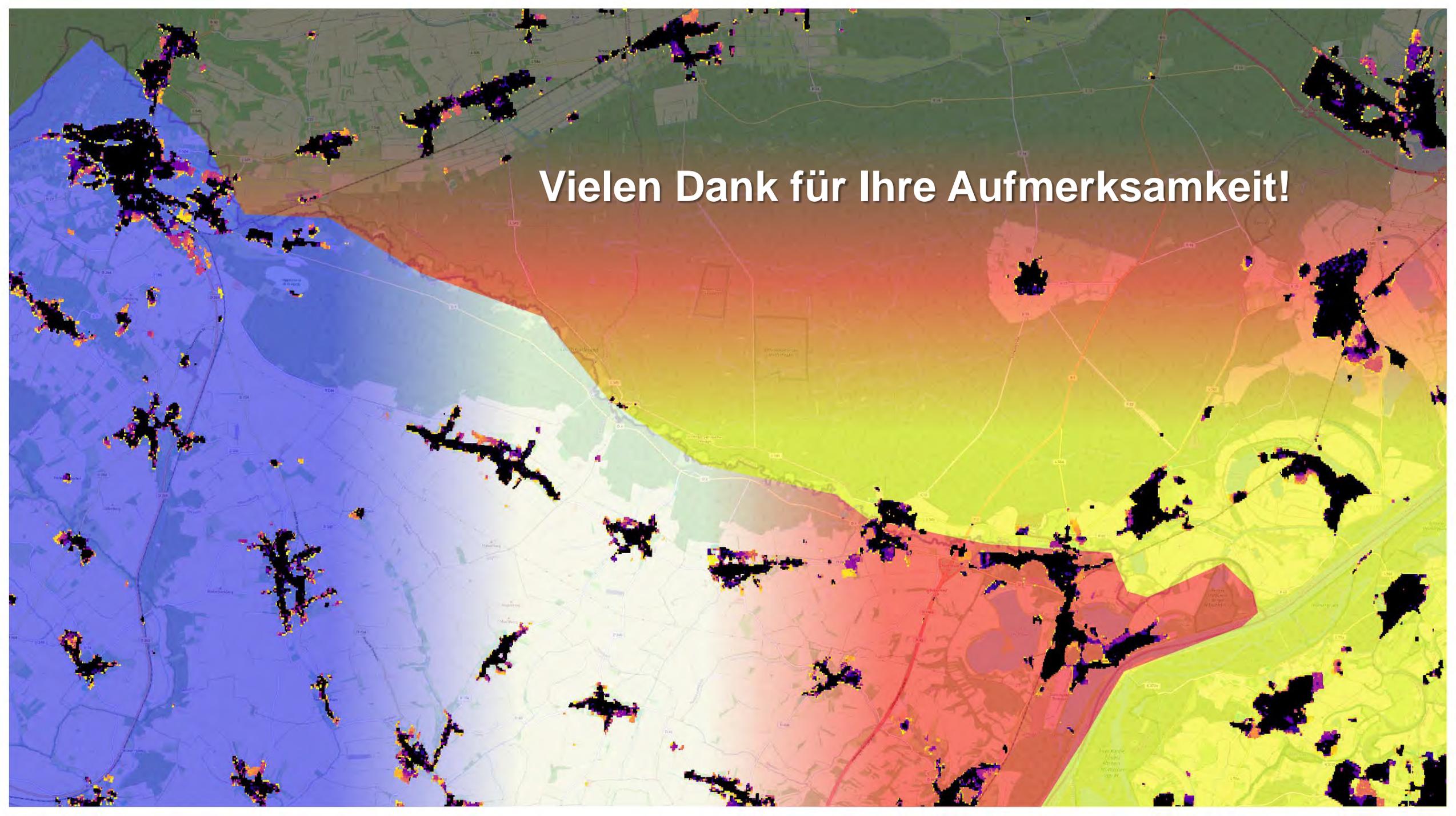
- aufgewachsen in Scheibenhard(t)
- Grenzkontrollen als Kind selber erlebt
- trotz geschlossener Grenze enge Kontakte
  - Familie
  - Feuerwehr
  - Kirchengemeinde

### Situation heute

- Grenze (meist) offen
- Zusammenarbeit nun institutionell
- aber Wert offener Grenzen vielen nicht präsent

### Meine Motivation

- Junge Menschen für das Thema „Europa“ sensibilisieren.
- Den Traum vom vereinten Europa wahr werden lassen.

An aerial photograph of a landscape, possibly a wetland or agricultural area, overlaid with a color gradient. The gradient transitions from blue on the left, through green and yellow, to red on the right. The map shows various features like roads, fields, and water bodies. The text "Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!" is centered in white.

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**