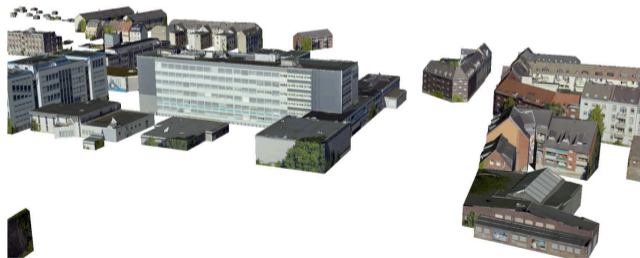


# Daten- und modellbasierte 3D-Rekonstruktion von Brücken

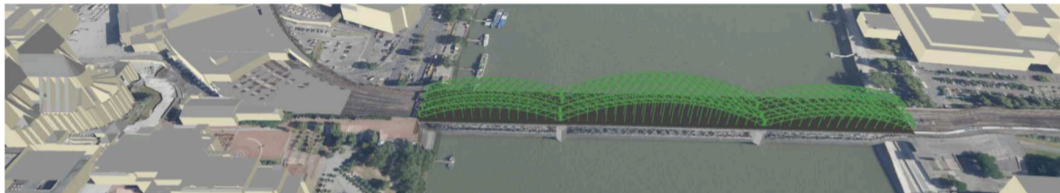
Steffen Goebels

Hochschule Niederrhein, iPattern Institut



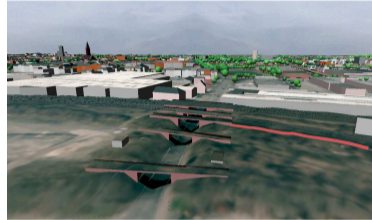
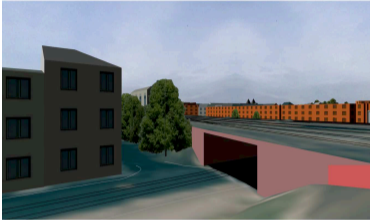
3D-Anwendertreffen im Universitätsclub Bonn, 26.09.2022

# Publikationen

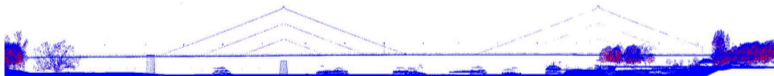
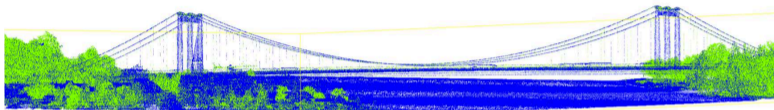
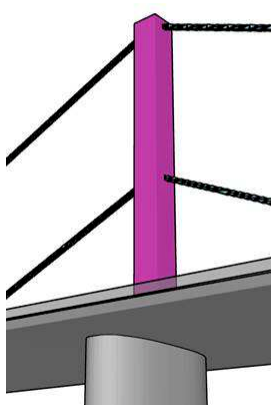


- S. Goebels: 3D reconstruction of bridges from airborne laser scanning data and cadastral footprints. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis* 5, 10 (2021). <https://doi.org/10.1007/s41651-021-00076-9>
- S. Goebels and C. Dalitz: Reconstruction of bridge superstructures from airborne laserscanning point clouds. *ISPRS Annals VIII-4/W2-2021*, pages 121–128, 2021.

# Erste mit einer Principle-Component-Analysis berechnete Modelle



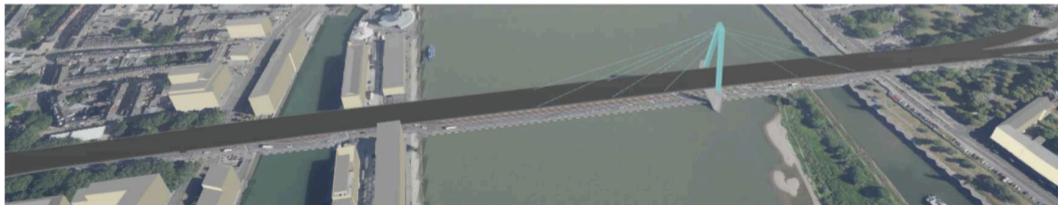
# Das Ziel: Semantische Rekonstruktion von Brückenbauteilen aus Laserscanning Punktwolken und Katasterdaten



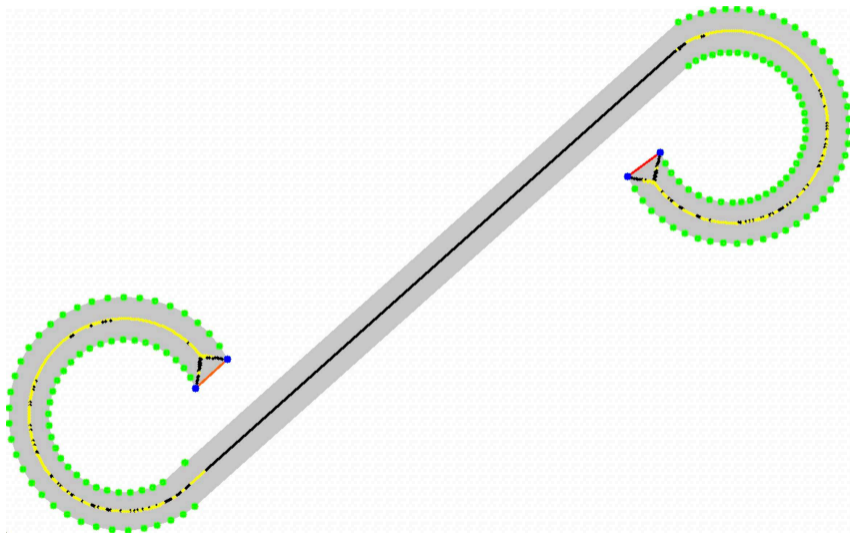
- Auflösung zwischen 5 und 10 Punkten pro Quadratmeter
- Quelle: GeoBasis NRW

# Inhalt

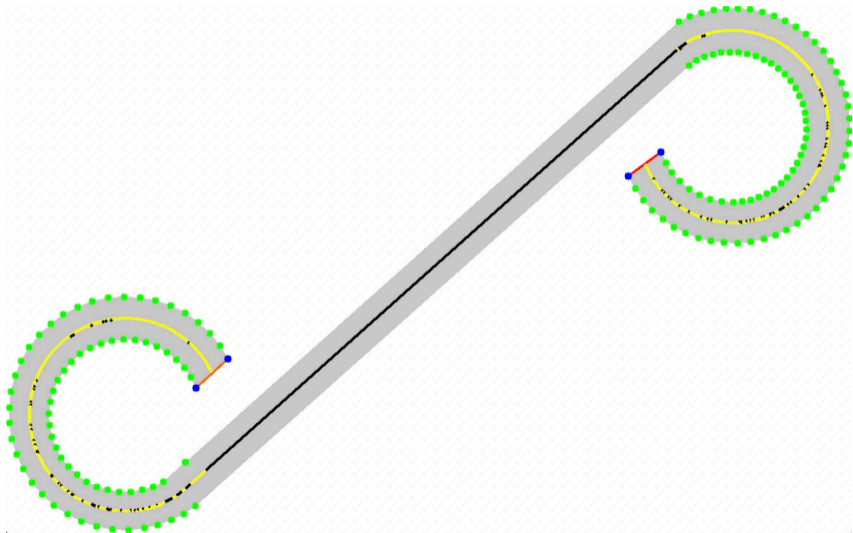
- **Rekonstruktion der Fahrbahn und Widerlager**
- Datenbasierte Modellierung der Aufbauten
- Modellbasierte Rekonstruktion der Aufbauten
- Weitere Ansätze für Stadtmodelle



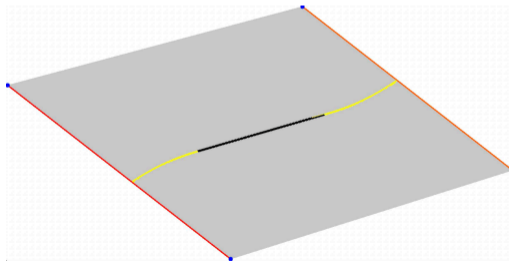
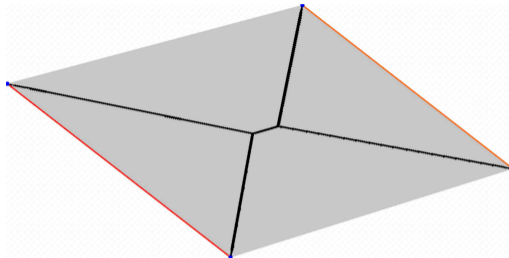
# Konstruktion über die Medial Axis (1)



## Konstruktion über die Medial Axis (2)

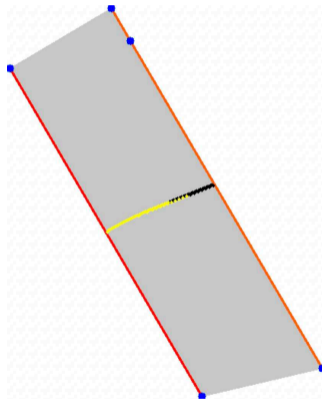
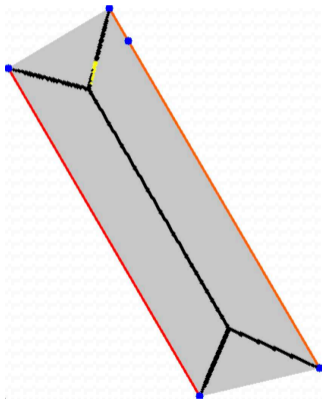


# Konstruktion über die Medial Axis (3)

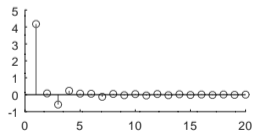
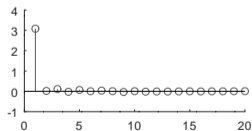
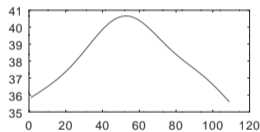
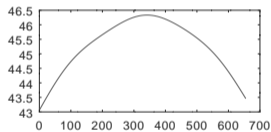
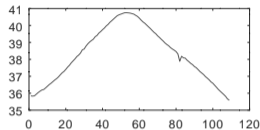
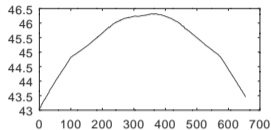




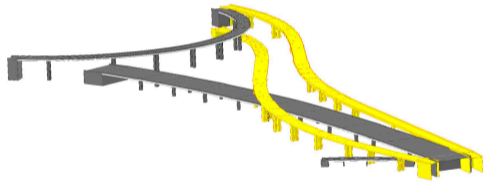
# Konstruktion über die Medial Axis (4)



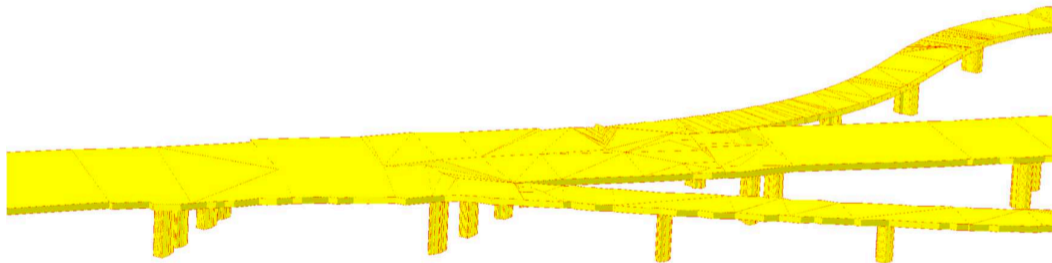
# Tiefpassfilterung der z-Koordinaten entlang der Medial Axis



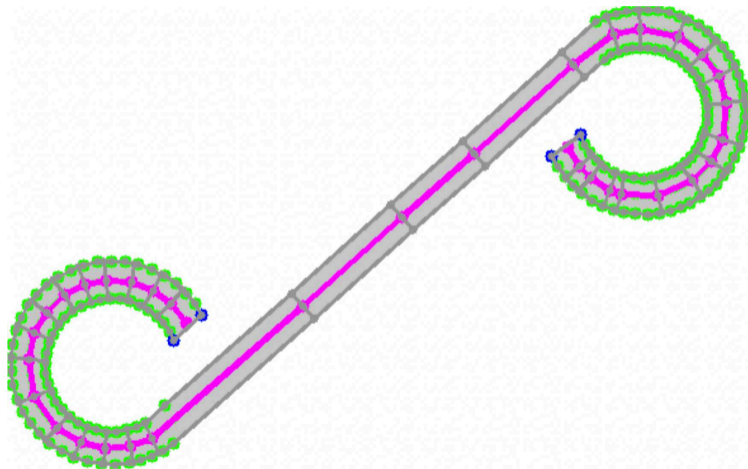
# Entfernen von Sprungstellen in den z-Koordinaten



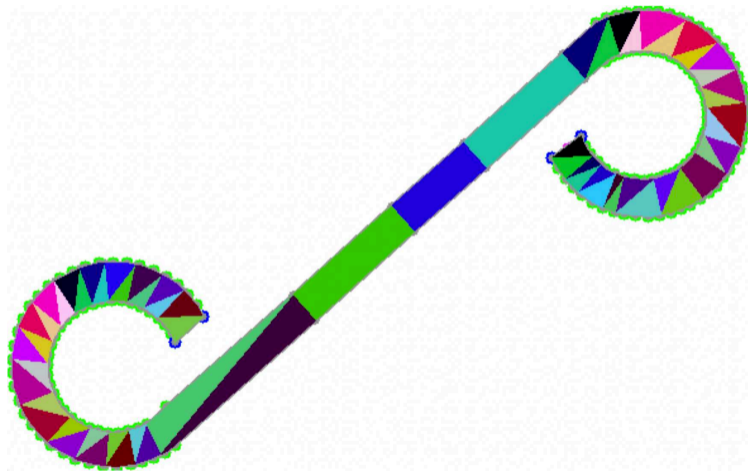
# Verzweigungen sind zu berücksichtigen



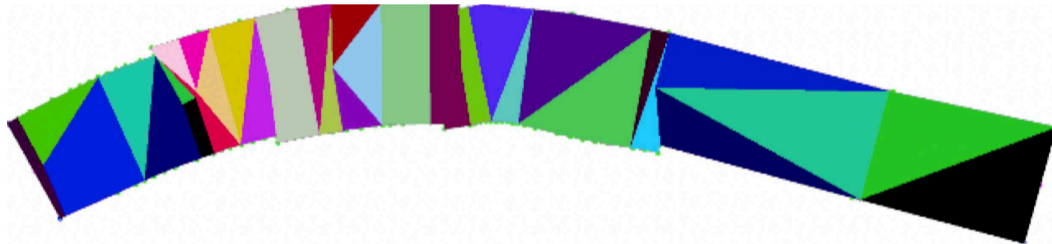
# Segmente der Fahrbahn basierend auf dem Medial-Axis-Baum



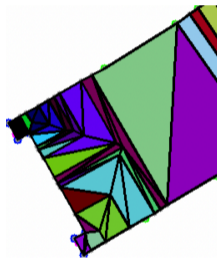
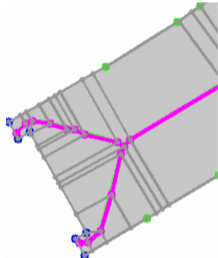
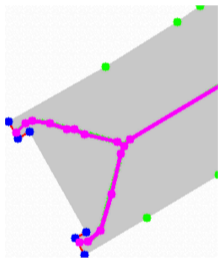
# Aus dem Baum abgeleitete Polygone



# Weitere Aufteilung an Querverbindungen

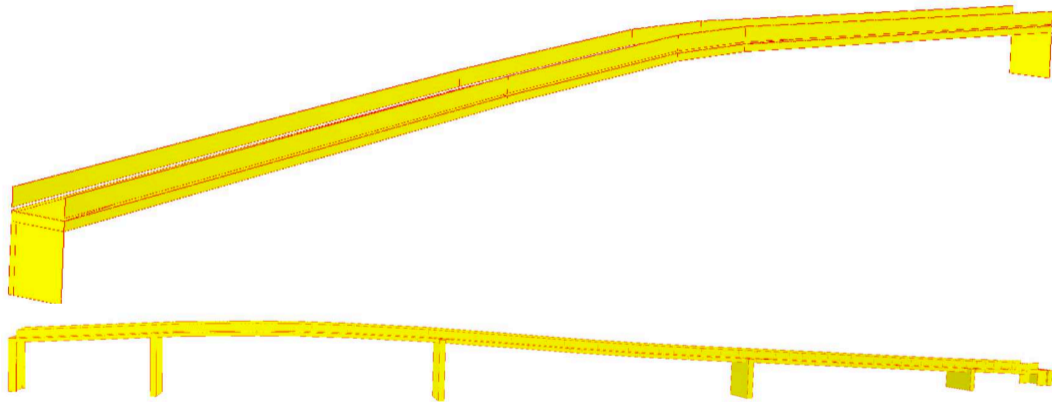


# Es kann ein Baum mit mehreren Ästen entstehen

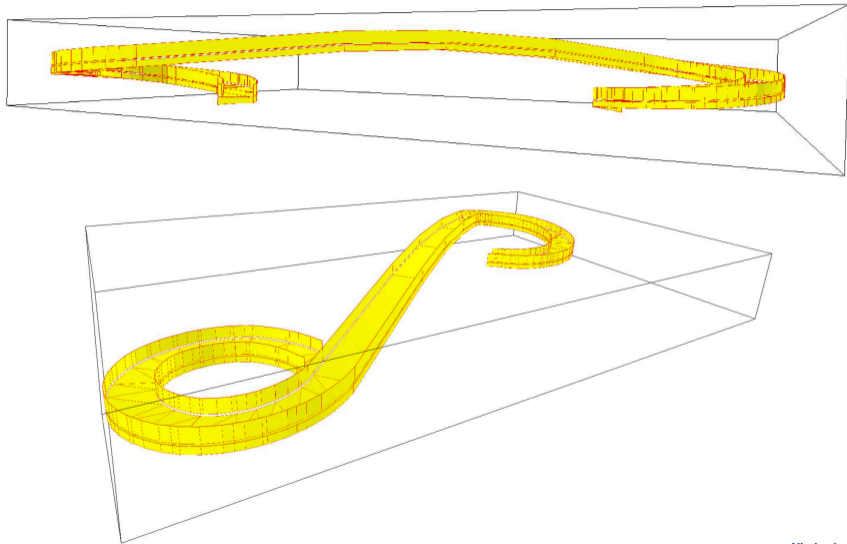




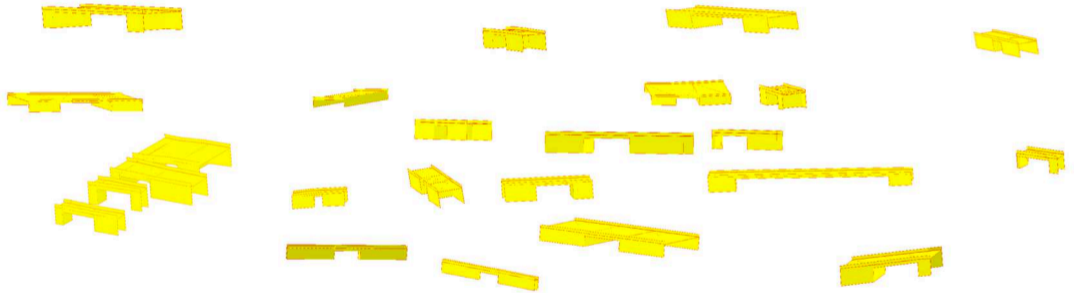
# Brücken mit gewölbter Fahrbahn (1)



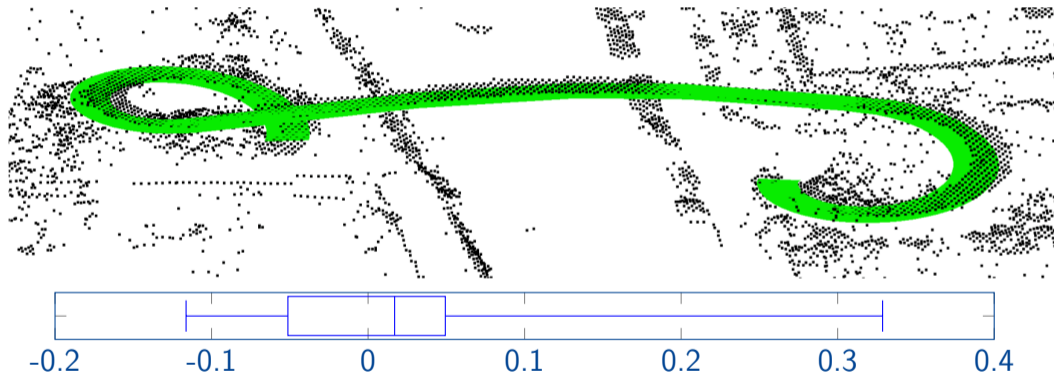
## Brücken mit gewölbter Fahrbahn (2)



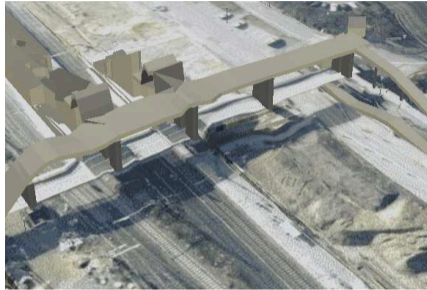
# Extrudieren der Widerlager zum Lückenschluss



# Ergebnisse: Höhenvergleich



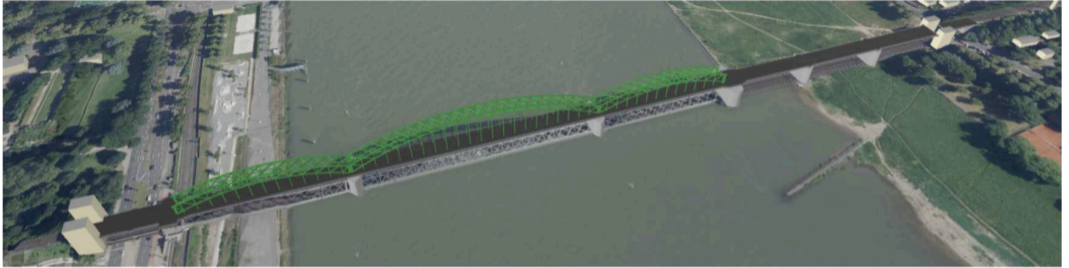
# Problemfall verdeckte Brücken



# Ergebnisse der Fahrbahnrekonstruktion

	Krefeld	Leverk kusen
korrekt	162	248
inkonsistente Widerlager	2	9
inkonsistente Fahrbahnhöhen	30	24
Störungen durch Bäume	3	4

# Inhalt



- Rekonstruktion der Fahrbahn und Widerlager
- **Datenbasierte Modellierung der Aufbauten**
- Modellbasierte Rekonstruktion der Aufbauten
- Weitere Ansätze für Stadtmodelle

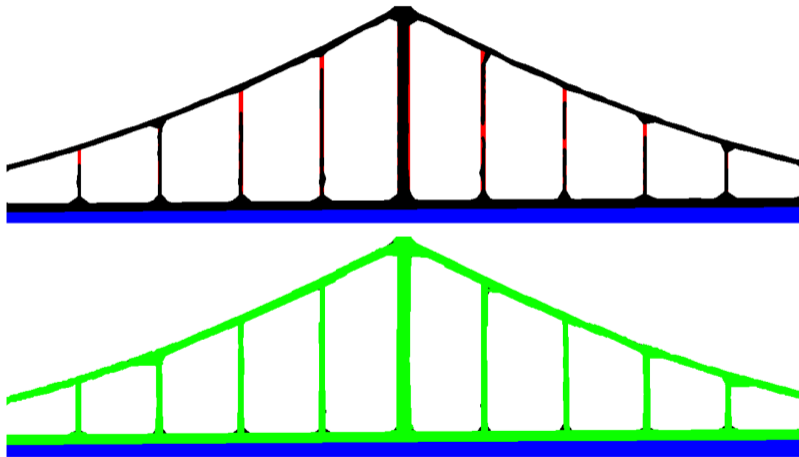
# Flughafenbrücke: Aufbauten liegen in einer Ebene



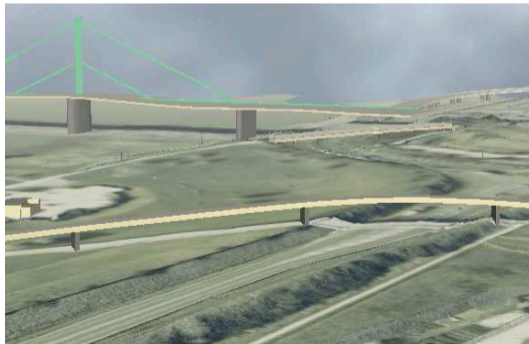
Photo: CC BY-SA 2.0 de Walter Koch



# Verbindung projizierter Punkte: spaltenbasierte Heuristik und Hough-Liniensegmente



# Beispiel für die Verbindung mittels Hough-Transformation: Leverkusener Brücke



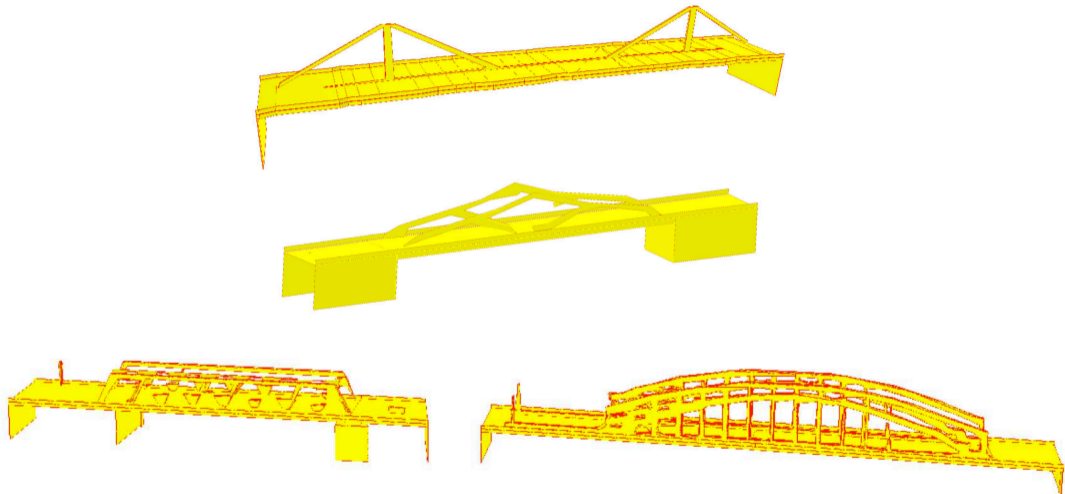
# Beispiel für die spaltenbasierte Heuristik: Uerdinger Brücke



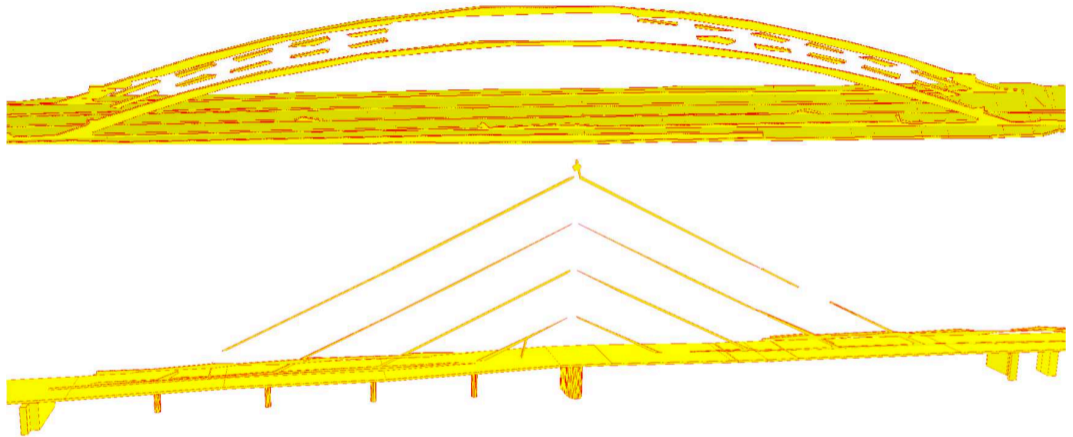
# Datenbasierte Rekonstruktion Kölner Brücken



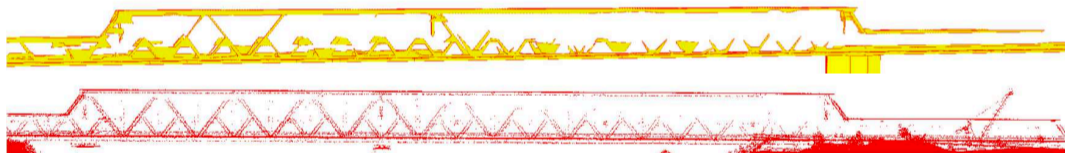
# Einige kleinere Brücken



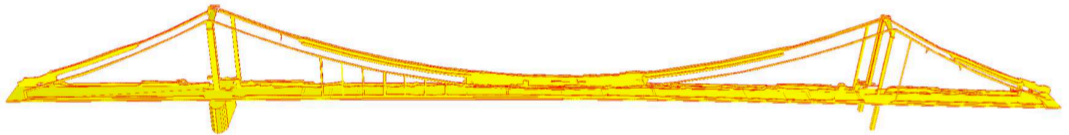
# Einschränkungen: Vertikale Kabel und Pylon unsichtbar



# Einschränkungen: Punktwolke zu dünn

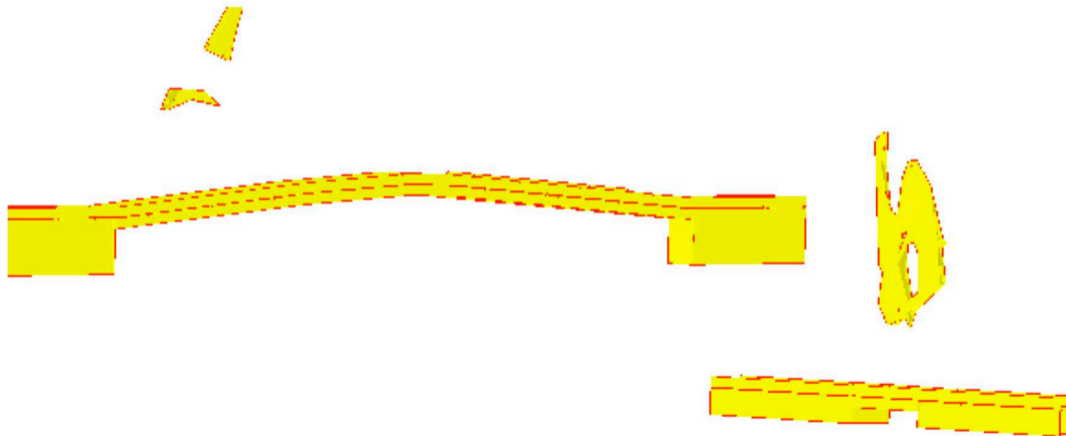


# Einschränkungen: Punktwolke zu dünn für vertikale Kabel

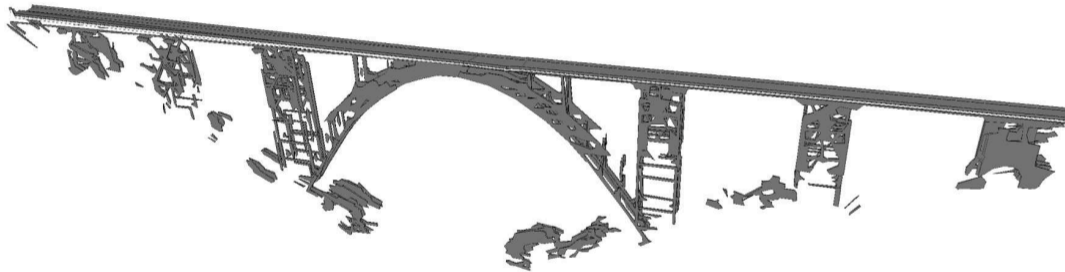




# Einschränkungen: Bäume als Aufbauten interpretiert



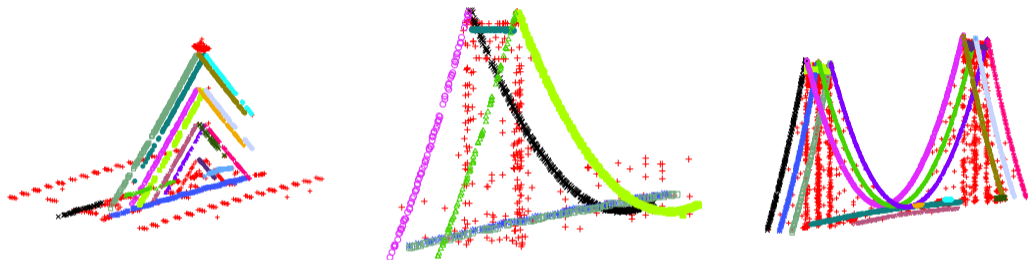
# Rekonstruktion von Unterbauten ist schwieriger





- Rekonstruktion der Fahrbahn und Widerlager
- Datenbasierte Modellierung der Aufbauten
- **Modellbasierte Rekonstruktion der Aufbauten**
- Weitere Ansätze für Stadtmodelle

# Aufbauten lassen sich unterscheiden: triplClust<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Dalitz, C., Wilberg, J., and Aymans, L. (2019). Triplclust: An algorithm for curve detection in 3D point clouds. Image Processing On Line, 8:26–46.

# Ebenen-basierte Rekonstruktion

- **Zusammenfügen der oberen Begrenzungslinie aus Kettenlinien, Kreissegmenten und geraden Linien, Klassifikation der Brücke**
- Rekonstruktion der vertikalen Kabel und Streben mittels diskreter Fourier Transformation
- Rekonstruktion der Kabel von Schrägseilbrücken
- Pylonen von Hänge- und Schrägseilbrücken
- Modellbasierte Stahlfachwerkbrücken
- Modellbasierte Bogenbrücken
- Modellqualität

# Die obere Begrenzungslinie besteht aus Graphen von Kettenlinien

$$\frac{1}{k} \cosh(kx + c) + h$$

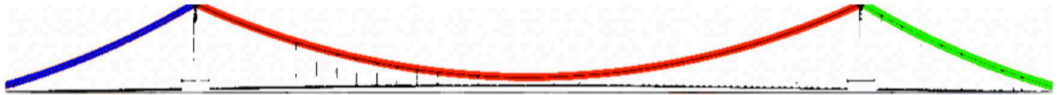


Photo: CC BY-SA 4.0 Raimond Spekking

# In Ebenen: RANSAC

- Hängebrücke:

$$y_1(x) = \frac{1}{k} \cosh(kx + c) + h$$

als Lösung der Differenzialgleichung

$$y_1''(x) = k \sqrt{1 + (y_1'(x))^2},$$

- Bogenbrücke:

$$y_2(x) = \sqrt{r^2 - (x + c)^2} + h,$$

- Schrägseilbrücke:

$$y_3(x) = mx + c$$

mit  $\frac{1}{4} < |m| < 3$ ,

- Stahlfachwerkbrücke: Horizontale Linien

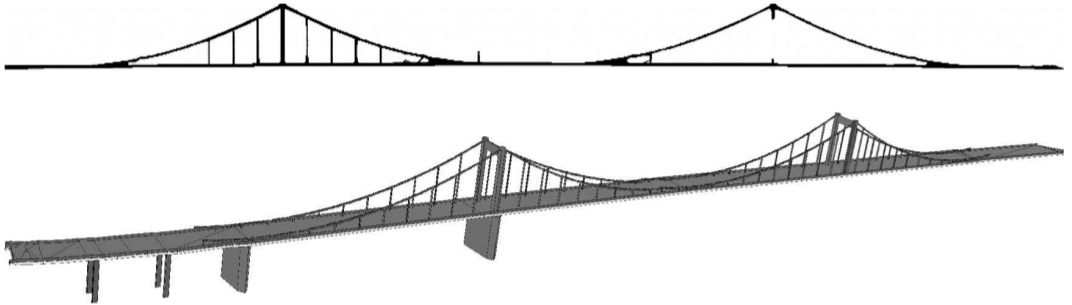
$$y_4(x) = c.$$

# Ebenen-basierte Rekonstruktion

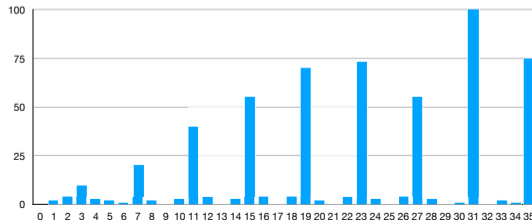
- Zusammenfügen der oberen Begrenzungslinie aus Kettenlinien, Kreissegmenten und geraden Linien, Klassifikation der Brücke
- **Rekonstruktion der vertikalen Kabel und Streben mittels diskreter Fourier Transformation**
- Rekonstruktion der Kabel von Schrägseilbrücken
- Pylonen von Hänge- und Schrägseilbrücken
- Modellbasierte Stahlfachwerkbrücken
- Modellbasierte Bogenbrücken
- Modellqualität



# Uerdinger Brücke: Vertikale Seile müssen vervollständigt werden



Lösung: Wende Diskrete Fourier Transformation auf Pixel-Histogramm an.



# Mit DFT berechnete Kabelpositionen der Rodenkirchener Brücke weichen etwas voneinander ab

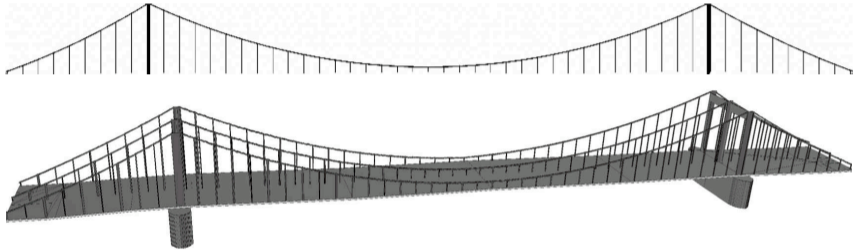
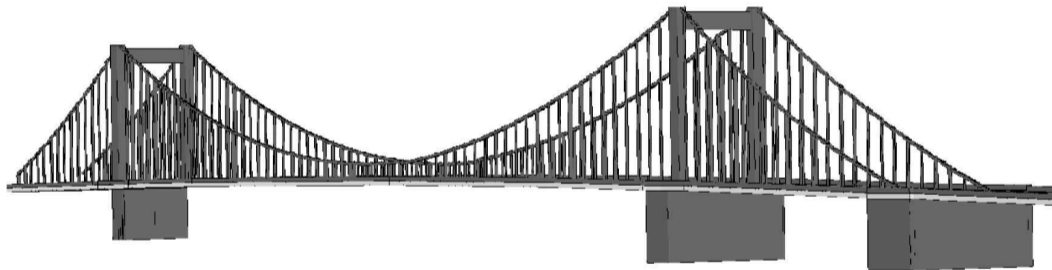


Photo: CC BY-SA 3.0 Rr807

# Rodenkirchener Brücke mit angeglichenen Frequenzen



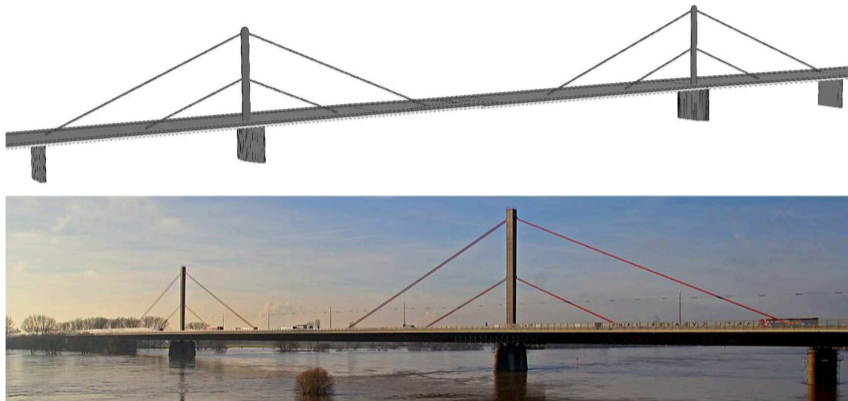
# Lampenmasten verdoppeln die Frequenz



# Ebenen-basierte Rekonstruktion

- Zusammenfügen der oberen Begrenzungslinie aus Kettenlinien, Kreissegmenten und geraden Linien, Klassifikation der Brücke
- Rekonstruktion der vertikalen Kabel und Streben mittels diskreter Fourier Transformation
- **Rekonstruktion der Kabel von Schrägseilbrücken**
- Pylonen von Hänge- und Schrägseilbrücken
- Modellbasierte Stahlfachwerkbrücken
- Modellbasierte Bogenbrücken
- Modellqualität

# Detektion diagonaler Kabel von oben nach unten



- Detektiere iterativ die obere Begrenzungslinie und entferne sie.

Photo: CC BY-SA 3.0 A. Savin

# Alternative: RANSAC in der 3D-Punktwolke (mit datenbasiertem Pylon)

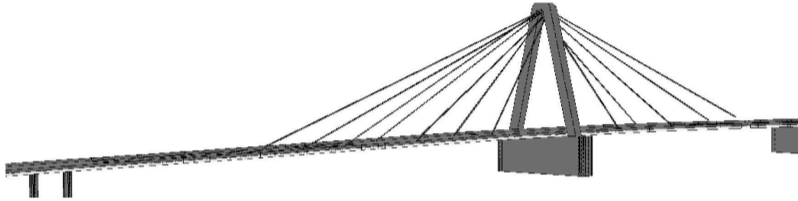
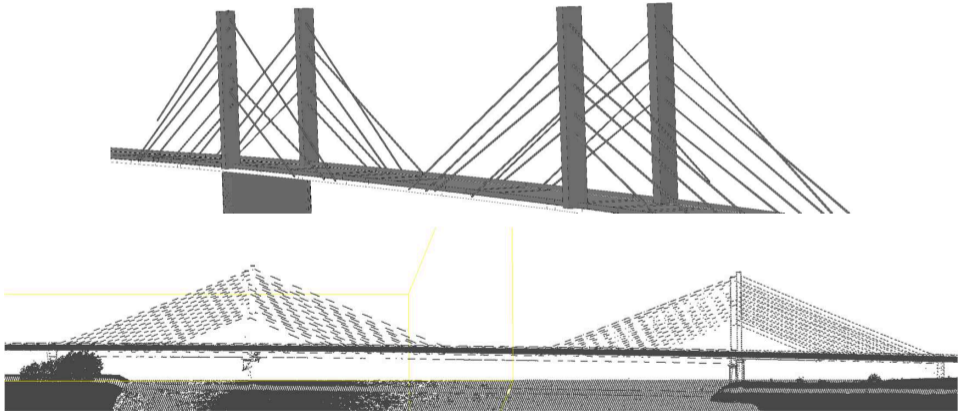


Photo: CC BY 3.0 Rolf Heinrich

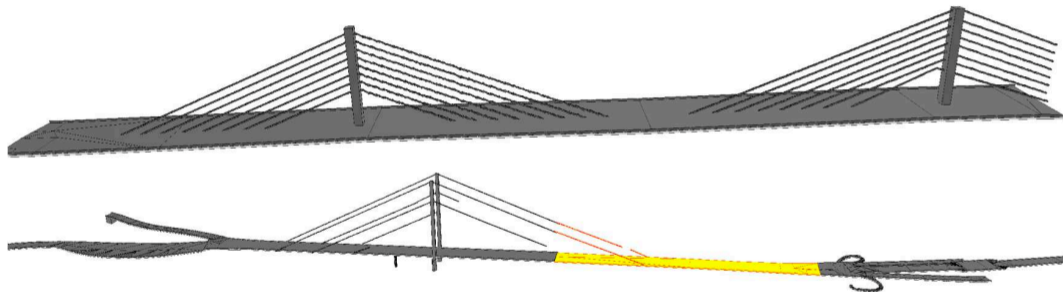
Goebbels: Brücken 3D. -46-

# Dicht gepackte Kabel lassen sich teils mit RANSAC nicht unterscheiden





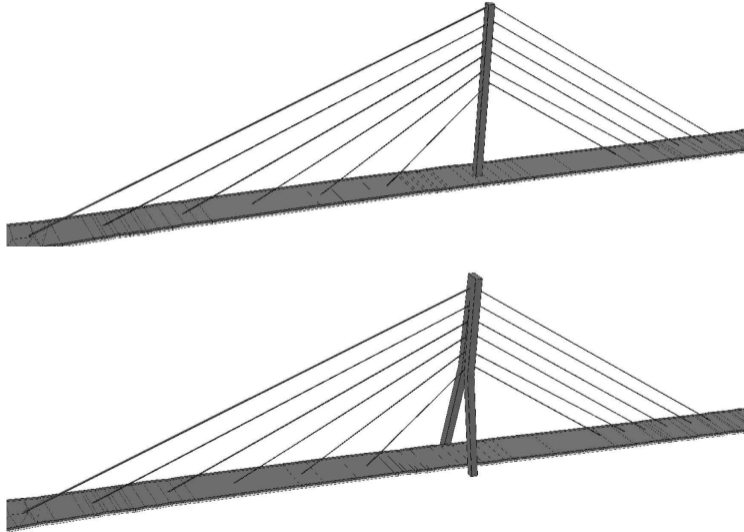
# Der Katastergrundriss ist unvollständig oder fragmentiert...



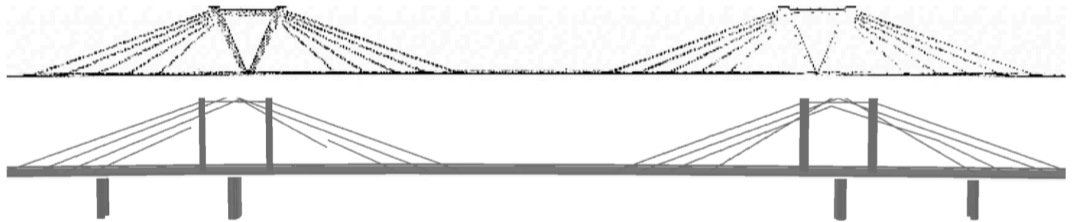
# Ebenen-basierte Rekonstruktion

- Zusammenfügen der oberen Begrenzungslinie aus Kettenlinien, Kreissegmenten und geraden Linien, Klassifikation der Brücke
- Rekonstruktion der vertikalen Kabel und Streben mittels diskreter Fourier Transformation
- Rekonstruktion der Kabel von Schrägseilbrücken
- **Pylonen von Hänge- und Schrägseilbrücken**
- Modellbasierte Stahlfachwerkbrücken
- Modellbasierte Bogenbrücken
- Modellqualität

# Modell- und datenbasierter Pylon



# Problem: Ausgefallene Pylonen passen nicht in das Modell

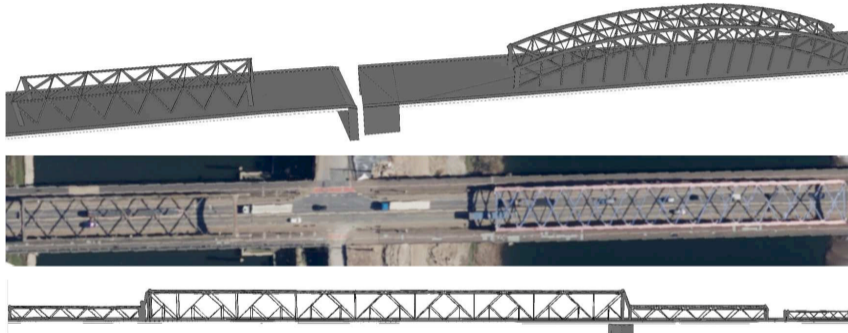


# Ebenen-basierte Rekonstruktion

- Zusammenfügen der oberen Begrenzungslinie aus Kettenlinien, Kreissegmenten und geraden Linien, Klassifikation der Brücke
- Rekonstruktion der vertikalen Kabel und Streben mittels diskreter Fourier Transformation
- Rekonstruktion der Kabel von Schrägseilbrücken
- Pylonen von Hänge- und Schrägseilbrücken
- **Modellbasierte Stahlfachwerkbrücken**
- Modellbasierte Bogenbrücken
- Modellqualität

# Modellbasiertes Stahlfachwerk

Die Frequenz der Streben wird über die Aufbauhöhe und eine diskrete Fourier-Transformation geschätzt:



Allerdings können Überlandleitungen fehlinterpretiert werden:



# Ebenen-basierte Rekonstruktion

- Zusammenfügen der oberen Begrenzungslinie aus Kettenlinien, Kreissegmenten und geraden Linien, Klassifikation der Brücke
- Rekonstruktion der vertikalen Kabel und Streben mittels diskreter Fourier Transformation
- Rekonstruktion der Kabel von Schrägseilbrücken
- Pylonen von Hänge- und Schrägseilbrücken
- Modellbasierte Stahlfachwerkbrücken
- **Modellbasierte Bogenbrücken**
- Modellqualität

# Einzelbogen

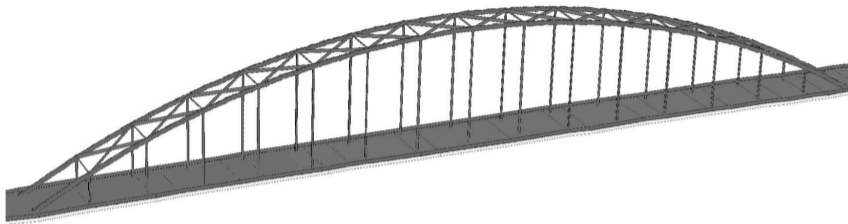


Photo: CC BY-SA 3.0 AlterVista

Goebbels: Brücken 3D. -55-



# Doppelbogen

Falls der Bogen nicht bis zur Fahrbahn runterreicht: Ein zweiter Bogen und Fachwerkelemente werden hinzugefügt.

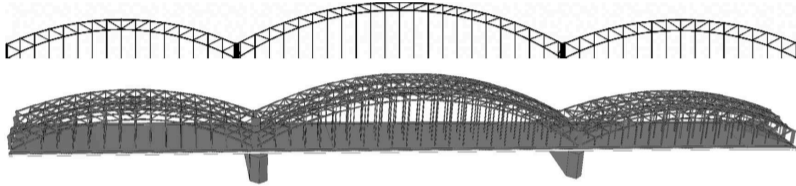
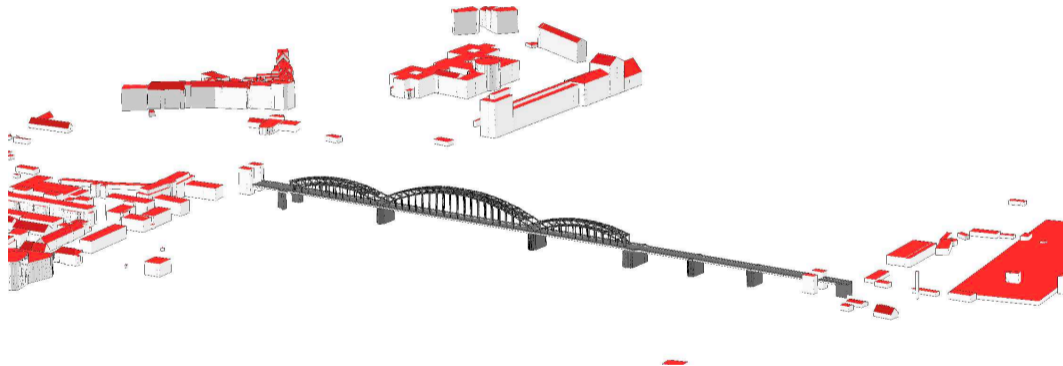


Photo: CC BY-SA 3.0 Mich.kramer

# Doppelbogen (2)



# Das Muster der Bogenbrücke entspricht nicht dem tatsächlichen

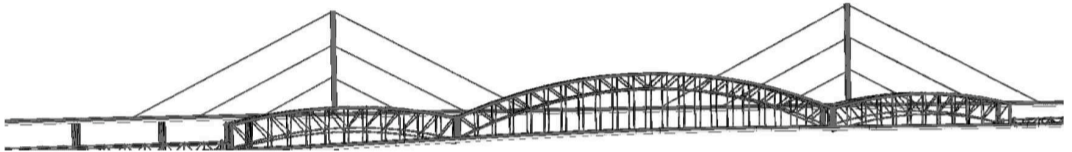


Photo: CC BY-SA 3.0 Alexostrov

Goebbels: Brücken 3D. -58-

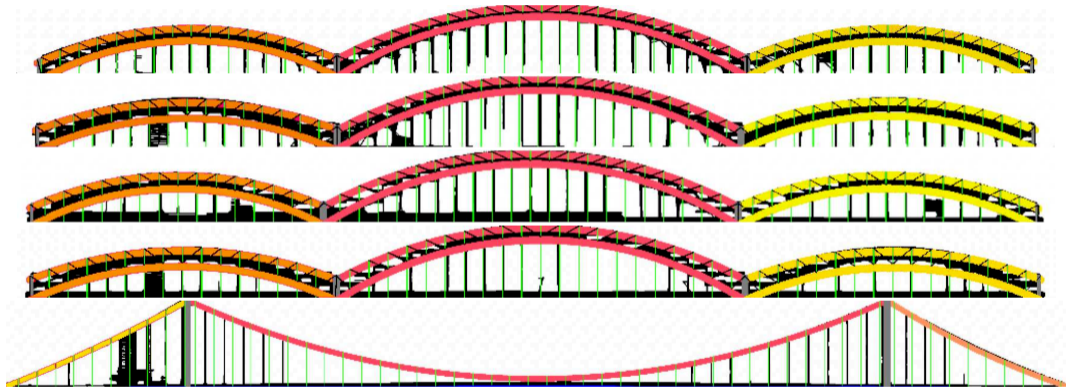
# Ebenen-basierte Rekonstruktion

- Zusammenfügen der oberen Begrenzungslinie aus Kettenlinien, Kreissegmenten und geraden Linien, Klassifikation der Brücke
- Rekonstruktion der vertikalen Kabel und Streben mittels diskreter Fourier Transformation
- Rekonstruktion der Kabel von Schrägseilbrücken
- Pylonen von Hänge- und Schrägseilbrücken
- Modellbasierte Stahlfachwerkbrücken
- Modellbasierte Bogenbrücken
- **Modellqualität**

# Ergebnisse

	suspension	cable-stayed	arch	steel truss	no superstructure
number	5	12	6	2	5
footprint divided		3	1		2
line pattern different	1	5	1		
comment		The pylons of the airport bridge are different, cables of two pylons of Heuss Bridge are missing.	Düsseldorf-Hamm combined steel truss/arch bridge is not recognized.		Two power lines are mistaken for steel truss.

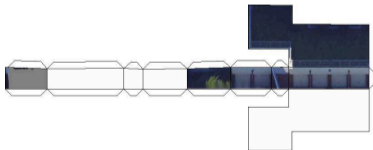
# Qualität der Erkennung





- Rekonstruktion der Fahrbahn und Widerlager
- Datenbasierte Modellierung der Aufbauten
- Modellbasierte Rekonstruktion der Aufbauten
- **Weitere Ansätze für Stadtmodelle**

# Papiermodelle

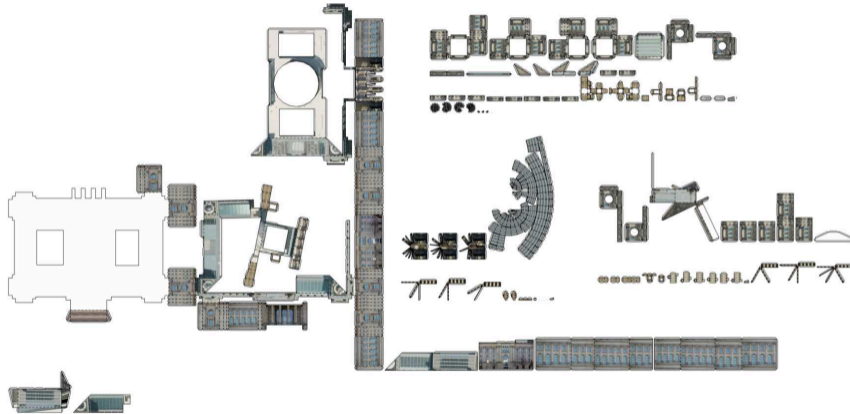


C++ code: <https://github.com/SteffenGoebbels/citygml2papermodel>



# Papiermodelle (2)

Reichstag building in Berlin<sup>2</sup>



<sup>2</sup>Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH,  
<https://www.businesslocationcenter.de/downloadportal/>

# Papiermodelle (3)



# FZKViewer Plugin

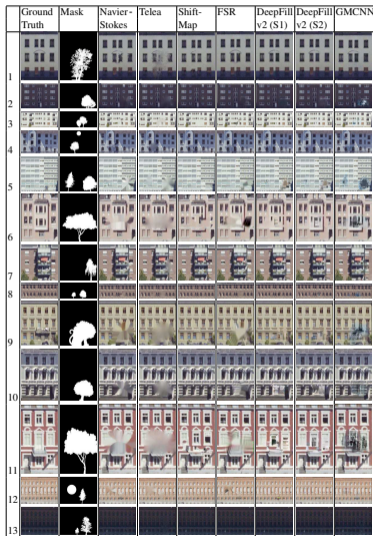
The screenshot displays the IFCE Explorer x64 V 7.0 interface. The main window shows a 3D view of a building model on a yellow ground plane. The interface includes a menu bar, a toolbar, and several panels:

- Browser Toolbar:** Shows a tree view of the model's structure, including 'LoD2\_3458\_5439\_1\_BW', '(1.Geb. 604)', 'CityGML RoofSurface [2]', 'CityGML WallSurface [4]', and multiple 'bldg:WallSurface' elements.
- Element Toolbar:** Shows a list of elements including 'bldg', 'bldg:Building', 'bldg:GroundSurface', 'bldg:RoofSurface', 'bldg:WallSurface', 'core', 'core:CityModel', and 'corexalAddress'.
- Property Toolbar:** Displays a table of properties for the selected element.

Name	Value	Description
Color	---	No Color
gmlid	UUID_82ed2b05-7ba...	
gml:descri...		
Contained in ...		
Building N...	(1.Geb. 604) [#6]	
Geometry		
lod2	bldg:lod2MultiSurface	
Papermodel	Face	
Papermod...	Glvetabs	
Calculated Va...		
Bounding...	5.56 [m]	
Bounding...	20.06 [m]	
Bounding...	14.49 [m]	
SurfaceArea	278.69 [m <sup>2</sup> ]	
Centroid	51.510000, 10.030000...	
Calculated Va...		
Bounding...	20.82 [m]	
Rounding...	14.49 [m]	

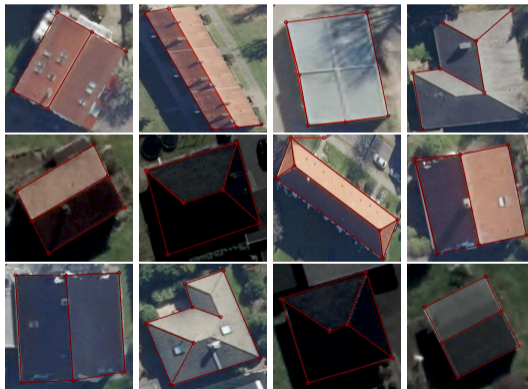
CAP NUM SCRL

# Ergänzen verdeckter Fassadenbereiche



# Rekonstruktion von Dächern mittels neuronaler Netze

- Regina Pohle-Fröhlich, Aaron Bohm, Peer Ueberholz, Maximilian Korb, Steffen Goebbels: Roof Segmentation based on Deep Neural Networks. Proc. VISIGRAPP, Volume 4: VISAPP, 2019, pp. 326-333
- Simon Hensel, Steffen Goebbels, Martin Kada: Building roof vectorization with PPGNet. ISPRS Archives XLVI-4/W4-2021, 2021, pp. 85–90 2021.



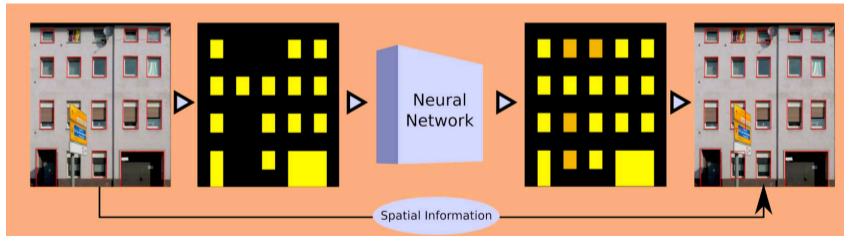
# Rekonstruktion von Fassaden

- Simon Hensel, Steffen Goebbels, Martin Kada: Facade Reconstruction for Textured LoD2 CityGML models based on Deep Learning and Mixed Integer Linear Programming, ISPRS Annals, Volume IV-2/W5, 2019, pp. 37-44

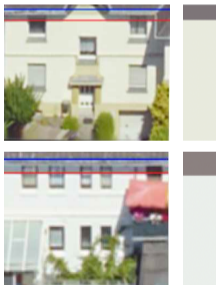
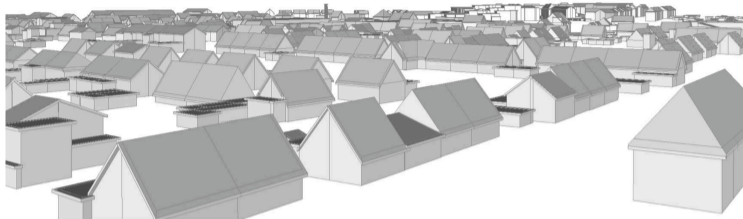


# Rekonstruktion von Fassaden (2)

- Simon Hensel, Steffen Goebbels, Martin Kada: LSTM architectures for facade structure completion. Proc. 16th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications - Volume 1 GRAPP, 2021, pp. 15-24



# Rekonstruktion von Dachüberständen





# Vielen Dank

