



AED-Abdeckung im Rhein-Neckar-Kreis und Verfügbarkeit bei außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillständen – Retrospektive geospatiale Analyse mit Monte-Carlo-Simulation

J. Furchbrich, N. Kaltschmidt, S. Petzold, S. Hmayed, M. Klein, F. Weilbacher, E. Popp, S. Katzenschlager
Universität Heidelberg, Medizinische Fakultät Heidelberg, Klinik für Anästhesiologie

Hintergrund

Die ERC-Leitlinie 2021 empfiehlt eine Dichte von zwei Automatisierten Externen Defibrillatoren (AEDs) pro km². Ziel dieser Arbeit war es, die tatsächliche Verteilung und Verfügbarkeit von AEDs im Rhein-Neckar-Kreis (RNK) zu analysieren und deren Erreichbarkeit (ungeachtet eventuell zusätzlicher Zugangsbeschränkungen) bei außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillständen (OHCA) zu bewerten. Ergänzend wurde mittels Monte-Carlo-Simulation untersucht, ob durch das gezielte Entsenden zusätzlicher Ersthelfender zur AED-Beschaffung ein relevanter Zeitvorteil gegenüber dem Eintreffen des Rettungsdienstes erzielt werden kann.

Methodik

Nach dem positiven Ethikvotum (S-351/2025) wurden die öffentlich zugänglichen AED-Standorte aus AED-Registern (openAEDmap.org und Defi Netz e.V. - Defikataster) und aus Befragungen der 54 Gemeinden im Rhein-Neckar-Kreis zusammengetragen. Die OHCA-Fälle wurden aus der Einsatzdatenbank des notärztlichen Dienstes des Universitätsklinikums Heidelberg, basierend auf dem Minimalen Notfalldatensatz (MIND), extrahiert. Beide Datensätze wurden im Geoinformationssystem QGIS 4.32 georeferenziert. Die bebaute und bewohnte Fläche des Rhein-Neckar-Kreises wurde durch den Urban Atlas Land Cover/Land Usage 2018 bestimmt.

Zur Berechnung der AED-Abdeckung 0,5 km² pro AED wurde eine Kreisfläche mit einem Radius von 399 m für jeden AED angelegt [1]. Bei den außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillständen wurde für eine Gesamtfläche von 1 km² eine Kreisfläche mit einem Radius von 564 m angelegt. Bei einer angenommenen Laufgeschwindigkeit von 9 km/h (2,5 m/s) und einer AED-Entnahmezeit von einer Minute ergibt sich daraus eine Gesamtzeit von achteinhalb Minuten für die Hin- und Rückstrecke.

Die AED-Abdeckung wird anhand einer Überlappungsanalyse zwischen den Gesamtradien der AED-Standorte (unabhängig von Zugangsbeschränkungen) und der Gesamtfläche des Rhein-Neckar-Kreises sowie der bebauten Fläche durchgeführt. Zur Berechnung der Anzahl der AEDs pro OHCA wird eine Punkt-in-Polygon-Analyse im Radius um jeden OHCA-Fall in QGIS vorgenommen. Die Ergebnisse werden in die Kategorien "kein AED", "ein AED" und "zwei oder mehr AEDs" unterteilt und zur Visualisierung als rote, gelbe und grüne Radien im Untersuchungsgebiet dargestellt.

Zur Simulation eines potenziellen Zeitvorteils bei uneingeschränkter AED-Verfügbarkeit wurde eine Monte-Carlo-Simulation mit 5.000 Iterationen pro Fall eingesetzt. Hierbei wurden Geh- bzw. Laufgeschwindigkeiten (4,7 km/h bzw. 9 km/h) [2][3], eine Entnahmezeit von 1 Minute sowie zufällige Varianzen der Geschwindigkeit berücksichtigt (Abb. 1). Die tatsächlichen Eintreffzeiten von NEF und RTW wurden aus der Einsatzdatenbank extrahiert und die Zeit bis zur Ankunft des ersten Rettungsmittels berechnet. Für jeden Fall wurde die Wahrscheinlichkeit ermittelt, dass eine vom Einsatzort entsandte Person mit einem AED vor Eintreffen des ersten Rettungsmittels an die Einsatzstelle zurückkehrt.



Abb. 1: Schematische Darstellung der Monte-Carlo-Simulation

Ergebnisse

Nach Abgleich und Entfernung von Dopplungen konnten insgesamt 686 AED-Standorte ermittelt werden (Abb. 2.), von denen 71 (10,3 %) keine zeitlichen oder örtlichen Zugangsbeschränkungen aufwiesen. Bezogen auf die Gesamtfläche des Rhein-Neckar-Kreises (1.170 km²) ergibt dies eine Dichte von 0,6 AEDs/km². Auf die bebaute Fläche (217 km²) bezogen, beträgt die Dichte 3 AEDs/km², was einer AED-Abdeckung von 103,3 km² (47,5 %) ungeachtet möglicher Zugangsbeschränkungen entspricht (Abb. 3). Eine durchgehende Verfügbarkeit besteht nur für 0,05 AEDs/km² (Gesamtfläche) bzw. 0,3 AEDs/km² (bebaute Fläche), mit einer Abdeckung von 18,2 km² (8,4 %). Von 932 OHCA im beobachteten Zeitraum konnten 879 geokodiert werden. Bei 495 Fällen (56,4 %) waren zwei oder mehr AEDs, bei 211 Fällen (24 %) ein AED und bei 173 Fällen (19,7 %) kein AED im Umkreis von 1 km² erreichbar (Abb. 4). Für die Simulation konnten 674 AED-Standorte und 830 OHCA eingeschlossen werden. Hiervon konnte in 112 Fällen (13%) bei Gehgeschwindigkeit (Tab. 1) bzw. bei 236 (28%) bei Laufgeschwindigkeit (Tab. 2) ein AED mit Sicherheit (in $\geq 99\%$ der Simulationen pro Fall) vor dem Eintreffen des Rettungsdienstes geholt werden. Der mediane Zeitvorteil betrug 4,2 (Interquartilsrange [IQR] 3,0-5,6) bzw. 6,8 (IQR 5,1-8,7) Minuten (Tab. 1, 2).

Interpretation

Obwohl die AED-Dichte bezogen auf die bebaute Fläche der Leitlinienempfehlung von 2 AED/km² entspricht, befindet sich aufgrund lokaler Ballung in einem Fünftel der OHCA kein AED in erreichbarer Nähe. Diese Zahl dürfte in der Realität aufgrund zeitlicher Zugangsbeschränkungen noch höher liegen. Eine homogene, ereignisorientierte Verteilung der AEDs und ihre durchgehende Verfügbarkeit – zum Beispiel durch Außenmontage – wären zielführender, wie es auch die aktuelle Leitlinie empfiehlt. Die Vorhalteberechnung zeigt, welche Abdeckung der realen OHCA-Fälle durch eine Außenmontage der AEDs bei relativ geringen Kosten und Aufwand erreicht werden könnte. Zudem konnte dargestellt werden, dass bei einer ausreichenden Anzahl an Ersthelfenden in über einem Viertel der simulierten Fälle eine Defibrillation vor Eintreffen des Rettungsdienstes möglich wäre. Ein besseres Verständnis der räumlichen Inzidenz von OHCA kann dazu beitragen, die Platzierung von AEDs weiter zu optimieren.

%, n	Eintreffzeit RD, min (IQR)	AED gehen, min (IQR)	Δt gehen, min (IQR)
$\geq 99\%$, 112	10,5 (8,9-12,1)	6,3 (4,8-7,5)	+4,2 (3,0-5,6)
50-98%, 82	9,8 (8,5-11,3)	7,7 (6,2-8,9)	+2,1 (0,9-3,8)
<50%, 636	9,1 (7,8-10,9)	9,9 (8,2-11,4)	-0,8 (-2,3-0,6)

Tab. 1: Mediane (IQR) Zeiten nach Wahrscheinlichkeit bei Gehgeschwindigkeit (4,7 km/h); RD = Rettungsdienst, AED = automatisierter externer Defibrillator, IQR = Interquartilsabstand.

%, n	Eintreffzeit RD, min (IQR)	AED laufen, min (IQR)	Δt laufen, min (IQR)
$\geq 99\%$, 236	10,5 (8,9-12,1)	3,7 (2,8-4,6)	+6,8 (5,1-8,7)
50-98%, 158	9,8 (8,5-11,3)	6,1 (5,0-7,1)	+3,7 (2,0-5,4)
<50%, 436	9,1 (7,8-10,9)	8,8 (7,4-10,2)	+0,5 (-1,7-2,1)

Tab. 2: Mediane (IQR) Zeiten nach Wahrscheinlichkeit bei Laufgeschwindigkeit (9 km/h); RD = Rettungsdienst, AED = automatisierter externer Defibrillator, IQR = Interquartilsabstand.

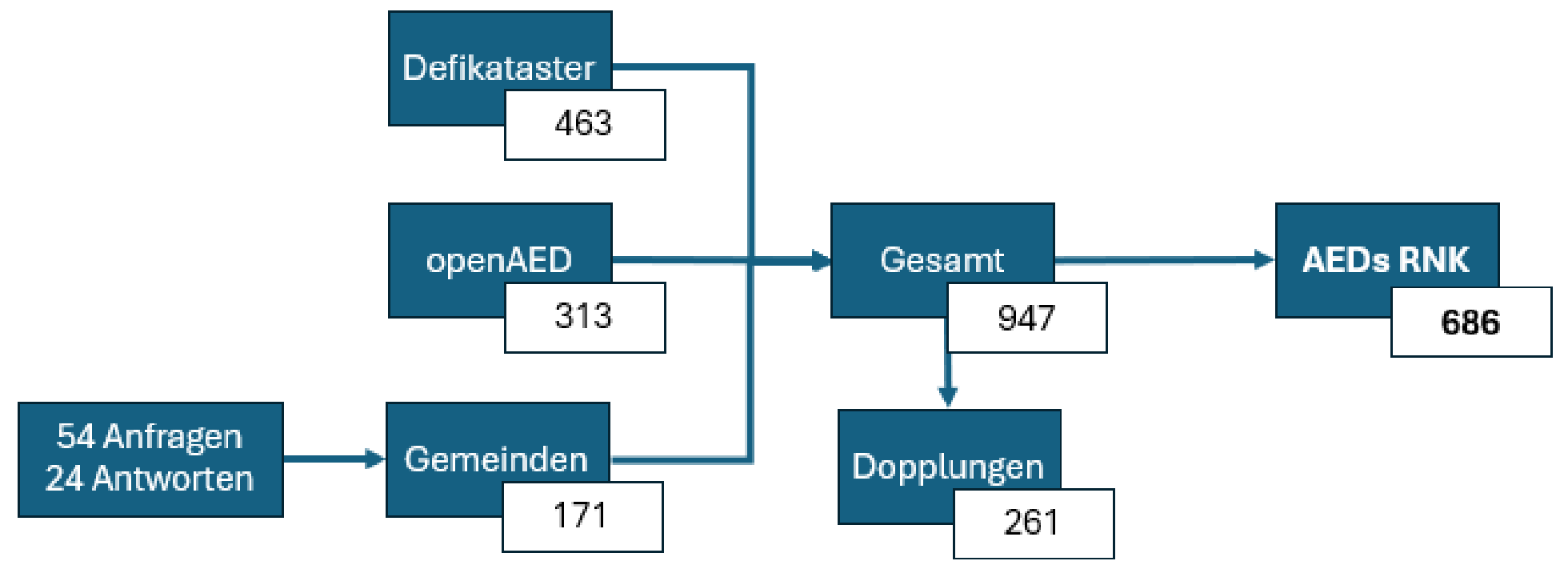


Abb. 2: Datenquellen der AED-Standorte

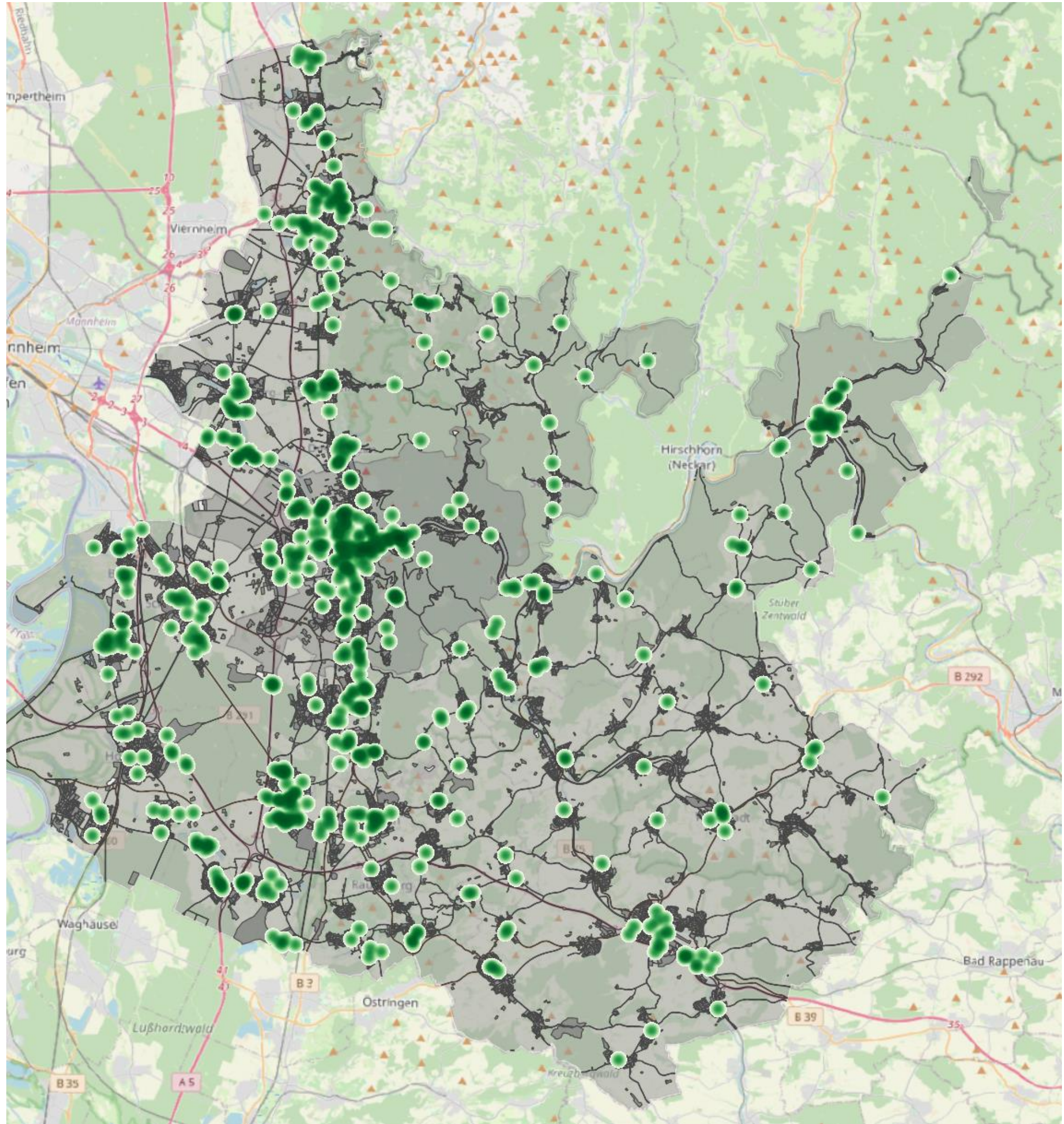


Abb. 3: Verteilung der AED-Standorte (grün) mit Umkreis von 0,5 km² mit Darstellung der bebauten Fläche (schwarz) im RNK (grau)

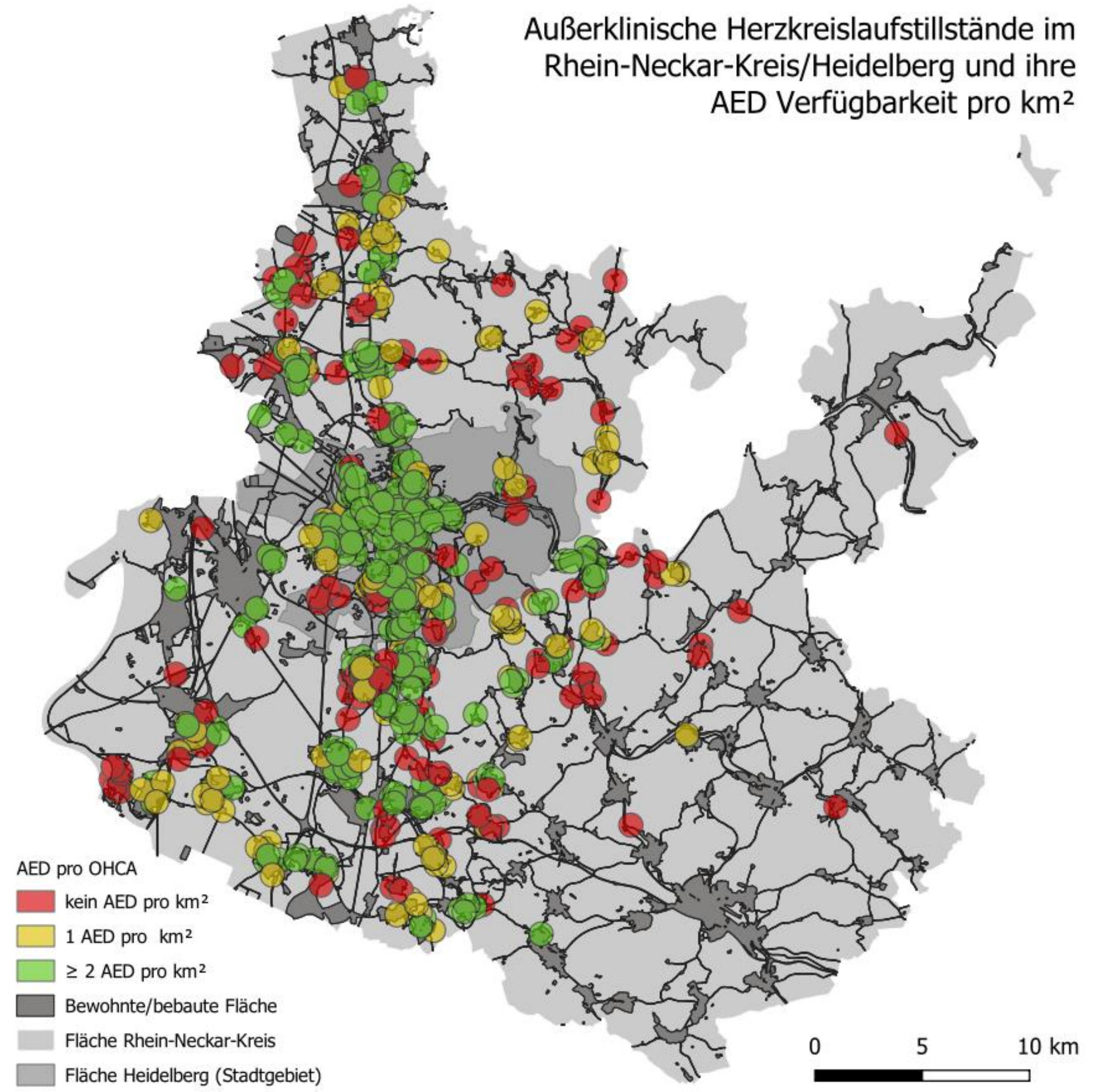


Abb. 4: Darstellung der AED-Erreichbarkeit von OHCA im Umkreis von 1 km²

Literatur

[1] Lee D, et. al. Access to automated external defibrillators and first responders: Associations with socioeconomic factors and income inequality at small spatial scales. Resusc Plus. 2024 Feb 1;17:100561. doi: 10.1016/j.resplu.2024.100561. PMID: 38328745; PMCID: PMC10847933.

[2] Jonsson M, Berglund E, Djärv T, Nordberg P, Claesson A, Forsberg S, Nord A, Tan HL, Ringh M. A brisk walk-Real-life travelling speed of lay responders in out-of-hospital cardiac arrest. Resuscitation. 2020 Jun;151:197-204. doi: 10.1016/j.resuscitation.2020.01.043. Epub 2020 Apr 4. PMID: 32259606.

[3] Gramm ER, Gumucio JA, Flickinger K, Salcido DD, Menegazzi JJ. Improving Bystander Response: How Long Does It Take to Retrieve an AED From Varying Distances. Prehosp Emerg Care. 2025 Apr 1:1-5. doi: 10.1080/10903127.2025.2475323. Epub ahead of print. PMID: 40126392.