

## „Black Box Babyboomer“ – Was kommt auf Kommunen zu? Decision Support System mit Hilfe mathematischer Erreichbarkeitsmodellierung medizinischer Versorgungsstandorte

Marvin Stiewing, Tobias Weber, Kirsten Mangels, Stefan Ruzika, Nicolas Fröhlich, Nils Hausbrandt

(MSc. Marvin Stiewing, Lehrstuhl Regionalentwicklung und Raumordnung, TU Kaiserslautern, Pfaffenbergstraße 95, 67663 Kaiserslautern, marvin.stiewing@ru.uni-kl.de)

(MSc. Tobias Weber, Lehrstuhl Regionalentwicklung und Raumordnung, TU Kaiserslautern, Pfaffenbergstraße 95, 67663 Kaiserslautern, tobias.weber@ru.uni-kl.de)

(Dr.-Ing. Kirsten Mangels, Lehrstuhl Regionalentwicklung und Raumordnung, TU Kaiserslautern, Pfaffenbergstraße 95, 67663 Kaiserslautern, kirsten.mangels@ru.uni-kl.de)

(Prof. Dr. Stefan Ruzika, AG Optimierung, TU Kaiserslautern, Paul-Ehrlich-Straße 14, 67663 Kaiserslautern, ruzika@mathematik.uni-kl.de)

(Dr. Nicolas Fröhlich, AG Optimierung, TU Kaiserslautern, Paul-Ehrlich-Straße 14, 67663 Kaiserslautern, fröhlich@mathematik.uni-kl.de)

(MSc. Nils Hausbrandt, AG Optimierung, TU Kaiserslautern, Paul-Ehrlich-Straße 14, 67663 Kaiserslautern, nils.hausbrandt@mathematik.uni-kl.de)

### 1 ABSTRACT

Lebensqualität in ländlichen Räumen ist insbesondere daran geknüpft, welche Angebote der Daseinsvorsorge vor Ort bestehen oder in angemessener Zeit erreichbar sind. Ein Aspekt gleichwertiger Lebensverhältnisse ist eine gleichwertige Gesundheitsversorgung. Gerade die ambulante medizinische Versorgung nimmt vor dem Hintergrund einer im Zuge des demografischen Wandels älter werdenden Gesellschaft eine Schlüsselrolle ein. Das bevorstehende Rentenalter der Generation der Babyboomer aus den geburtenstarken Jahrgängen 1955 bis 1969 mit jeweils mehr als einer Million Geburten pro Jahr droht in Deutschland je nach lokaler Ausprägung der Bevölkerungsstruktur die Versorgungssituation vor allem in ländlich geprägten Gemeinden zusätzlich zu verschärfen. Die durch Alterungsprozesse steigende Anzahl älterer Menschen führt zu einer entsprechenden Erhöhung der Krankheitslast und einem steigenden Bedarf an medizinischer Versorgung.

Niedergelassene Ärztinnen und Ärzte bilden hierbei das Rückgrat einer bedarfsgerechten flächenhaften Versorgung, von denen wiederum die Hausärztinnen und Hausärzte als Generalisten mit kleinräumiger Verteilungsstruktur erster Ansprechpartner für Patientinnen und Patienten sind. Gleichzeitig gehören viele Ärztinnen und Ärzte heute selber zur Generation der Babyboomer. Trotz angestrebter Gleichwertigkeit verdeutlichen Analysen der Hausarztichte und der durchschnittlichen Erreichbarkeit von Hausarztpraxen bereits heute große regionale und lokale Disparitäten.<sup>1</sup> Die flächendeckende Sicherstellung der hausärztlichen Versorgung droht damit vor allem in ländlichen Räumen mit niedriger Bevölkerungsdichte zu einer nahezu unlösbaren Herausforderung zu werden. Gleichzeitig setzt eine geringere Bevölkerungsdichte eine gewisse räumliche Größe der Einzugsbereiche von Praxen voraus, um einen wirtschaftlichen Betrieb gewährleisten zu können. Durch Verlängerung der Anfahrtswege, welche im ländlichen Raum ohnehin eine Hürde darstellen, wird der Zugang zu medizinischen Angeboten gerade für mobilitätseingeschränkte Menschen zusätzlich erschwert.

Bisher existiert wenig Datenmaterial zu dem Wohnstandortverhalten der Babyboomer nach ihrer Verrentung. Hier setzt der interdisziplinäre Forschungsansatz des von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderten Projektes „Ageing Smart - Räume intelligent gestalten“ an.<sup>2</sup> Ein Teilprojekt des Forschungsverbunds beschäftigt sich mit der Gesundheitsversorgung in insgesamt vier ausgewählten Modellkommunen im suburbanen und ruralen Raum und untersucht dort die Erreichbarkeit von Einrichtungen der Gesundheitsversorgung als wichtigen Wohnstandortwahlfaktor. Perspektivisch wird das Teilprojekt über Befragungen auch das künftige Wohnstandortverhalten der Babyboomer sowie die sich daraus ergebende Bedeutung der Erreichbarkeit der Einrichtungen untersuchen. Dieser Beitrag thematisiert die Generierung von Zukunftsszenarien zur Entscheidungsunterstützung mit Hilfe datenbasierter, auf mathematischer Optimierung beruhender Erreichbarkeitsmodelle für oben genannte medizinische Einrichtungen sowie deren konkreten Nutzen wie beispielsweise das Aufzeigen von Lücken innerhalb der derzeitigen Versorgungslandschaft oder eine Resilienzabschätzung der einzelnen Versorgungsstandorte hinsichtlich der zunehmenden Überalterung.

<sup>1</sup> BMI (2020): Deutschlandatlas - Karten zu gleichwertigen Lebensverhältnissen. S.76ff.

<sup>2</sup> siehe auch: Technische Universität Kaiserslautern, Homepage „Ageing Smart – Räume intelligent gestalten“ unter <https://www.ageing-smart.de/>

## 2 BABYBOOMER UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DIE SICHERUNG DER GESUNDHEITSVERSORGUNG

### 2.1 Forschungsansatz im Carl-Zeiss-Projekt „Ageing Smart – Räume intelligent gestalten“

#### 2.1.1 Aufbau und Zielsetzung des Gesamtprojekts

Das von der Carl-Zeiss-Stiftung und der Technischen Universität Kaiserslautern über einen Zeitraum von fünf Jahren geförderte Forschungsprojekt „Ageing Smart – Räume intelligent gestalten“ adressiert die geburtenstarken Jahrgänge 1955 bis 1969 und führt in einem integrierten Ansatz erstmals raumplanerische und versorgungsseitige Ansätze sowie spezifische Bedarfe der „Babyboomer“ und Handlungserfordernisse bzw. -möglichkeiten der Kommunen zusammen.

Das interdisziplinäre Forschungsvorhaben, welches im universitären Potentialbereich „Region und Stadt“ der Technischen Universität Kaiserslautern angesiedelt ist, gliedert sich in zehn Teilprojekte der Disziplinen Raumplanung, Stadtsoziologie, Klimatologie, Informatik und Mathematik und wird federführend am Fachgebiet Stadtsoziologie unter Prof. Dr. Annette Spellerberg koordiniert. Im Mittelpunkt stehen dabei zunächst drei prägnante Untersuchungsfelder. Diese sind

- Wohnstandorte und damit verbundene Anforderungen an Angebote im Wohnumfeld und die Mobilität,
- das Verhalten hinsichtlich Freizeit- und Erholungsaktivitäten sowie
- die Versorgung mit medizinischen und damit verbunden Gesundheitsinfrastrukturen und Dienstleistungen.

Als Modellkommunen ausgewählt wurden die Landstadt Geisa und die Verbandsgemeinde Kusel-Altenglan (rural), die Gemeinde Remshalden und die Verbandsgemeinde Nieder-Olm (suburban) sowie die Städte Jena, Kaiserslautern und Mannheim (urban) in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Thüringen.

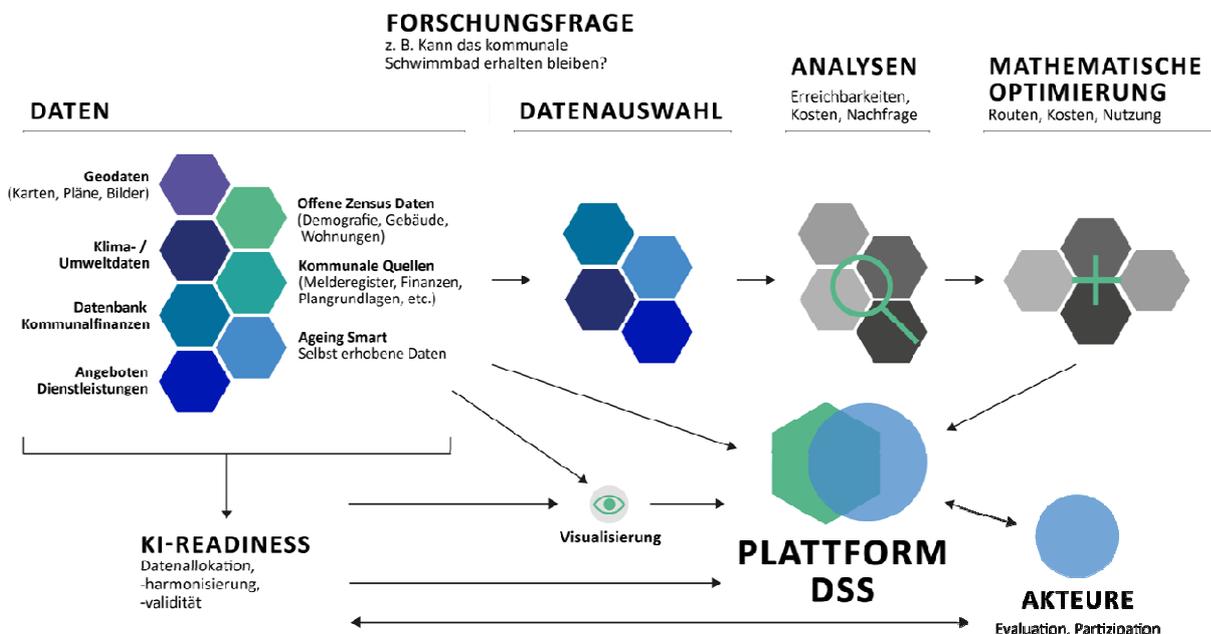


Abb. 1: Methodik und Prozessübersicht des Forschungsprojekts „Ageing Smart – Räume intelligent gestalten“.

Langfristiges Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines daten-, IT- und KI-basierten Systems zur Entscheidungsunterstützung (Decision Support System = DSS, siehe Abb. 1), welches von öffentlichen Akteuren in ihrem Planungs- und Entscheidungsprozess herangezogen werden kann. Infrastrukturen,

Angebote und Dienstleistungen sollen so nachfragegerecht, tragfähig und zukunftsorientiert entwickelt werden können, um die Lebensqualität der Babyboomer und perspektivisch der Gesamtbevölkerung zu sichern und zu fördern.

### 2.1.2 Forschungsansatz im Teilprojekt „Gesundheitsversorgung“

Als wesentlicher Aspekt der Daseinsvorsorge widmet sich das Teilprojekt „Gesundheitsversorgung“, das am Lehrstuhl Regionalentwicklung und Raumordnung unter Leitung von Univ.-Prof. Dr. habil. Gabi Troeger-Weiß und Dr.-Ing. Kirsten Mangels bearbeitet wird, der hausärztlichen, zahnärztlichen sowie allgemeinen fachärztlichen Versorgung in den insgesamt vier ruralen und suburbanen Modellkommunen.

Nach der zu Beginn des Projekts erfolgten Konkretisierung von Untersuchungsfeldern mit Abgrenzung der forschungsleitenden Fragestellungen, einer breiten Literaturrecherche zu den Themen Babyboomern und Gesundheitsversorgung sowie einer internen Strukturanalyse der Modellkommunen stehen

- die aktuelle Wohnsituation und das perspektivische Wohnstandortverhalten der Babyboomer sowie
- deren spezifisches Gesundheitsverhalten und deren Anforderungen an Erreichbarkeit und Ausgestaltung der medizinischen Versorgung

im Fokus. Ein Baustein zur Generierung neuer Daten ist dabei neben der Befragung relevanter Stakeholder aus dem Gesundheitsbereich die teilstandardisierte Befragung der Babyboomer in den ruralen und suburbanen Modellkommunen Kusel-Altenglan, Geisa, Nieder-Olm und Remshalden. Die Analyse der Wünsche und Bedarfe dient der Beantwortung relevanter Fragestellungen für deren Einspeisung in das projektierte DSS, insbesondere mit Blick auf eine steigende Nachfrage bei gleichzeitig geringerem verfügbarem Angebot. Eine besondere Relevanz gewinnt dabei die Erreichbarkeit der einzelnen medizinischen Standorte, weshalb die Erarbeitung eines dynamischen Erreichbarkeitsmodells als interdisziplinärer Querschnittsansatz aus Raumplanung und Mathematik ein vielversprechender Forschungsansatz darstellt.

## 2.2 Babyboomer – Kohorte mit Sprengkraft für Infrastrukturen

Planungen und (politische) Entscheidungen mit Auswirkungen auf räumliche Strukturen sind stets abhängig von raumrelevanten Trends und Entwicklungen. Einer der bedeutendsten globalen Transformationsprozesse ist nach wie vor der demografische Wandel. Dieser umfasst im Wesentlichen die Veränderung der Bevölkerung in der Größe, Zusammensetzung und der räumlichen Verteilung mit maßgeblichem Einfluss auf die gesellschaftliche Entwicklung in ökonomischer, sozialer und kultureller Hinsicht. Die Herausforderungen dieser Veränderungen in Deutschland werden in Zukunft erhebliche Abweichungen zwischen Regionen vergleichbarer und unterschiedlicher Größe und Siedlungsstruktur aufweisen und regional angepasste Lösungsansätze fordern.<sup>3</sup> Die Raumplanung ist daher auf allen Ebenen gefordert, auf die Veränderungen der demografischen Situation in Deutschland lokal angepasst zu reagieren.

Eine Besonderheit mit aktueller Relevanz stellt die in diesem Beitrag thematisierte Kohorte der sogenannten „Babyboomer“ dar. Diese Alterskohorte umfasst die geburtenstarken Jahrgänge 1955 bis 1969 und wurde zu Zeiten hoher Geburtenraten (dem „Babyboom“) während des wirtschaftlichen Aufschwungs nach dem Zweiten Weltkrieg geboren. Diese Generation der heute etwa 52- bis 67-Jährigen ist damit deutlich in der Bevölkerungspyramide Deutschlands zu erkennen und stellt rund ein Viertel der Gesamtbevölkerung. Mit Blick auf die VG Kusel-Altenglan liegt der Anteil der Babyboomer zudem mit insgesamt 26,4% und teils über 30 % deutlich höher (siehe Abb. 2)<sup>4</sup> Durch deren hohe Zahl waren Kommunen bereits in früheren Jahrzehnten gefordert, eine ausreichende Anzahl an Plätzen in Betreuungs- und Bildungseinrichtungen sicherzustellen und anschließend Folgeleistungen für die darauffolgenden, zahlenmäßig weit unterlegenen, Alterskohorten zu finden. Aktuell ist die Generation der Babyboomer noch vielfach in gesellschaftlichen Strukturen verankert, etwa bezogen auf Arbeitskraft, Ehrenamt, Politik oder im Gesundheitssystem – sukzessive ist aber deren Ausscheiden durch die Verrentung absehbar, was Kommunen nun erneut vor strukturelle Herausforderungen stellt. Zu nennen ist hier etwa die Schaffung altersgerechter Wohnstandorte

<sup>3</sup> GANS, Paul (2018): Demografischer Wandel, In Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.) Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. S. 376.

<sup>4</sup> STEFAN, Benjamin/LOEPPKE, Yannick/SPELLERBERG, Annette (2022): Babyboomer in Deutschland – demografische, soziale und räumliche Differenzierungen. Analysen auf Basis des sozioökonomischen Panels 2019. S.1f.

und Versorgungsstrukturen sowie die Schließung entstehender Lücken im Arbeitsmarkt mit entsprechenden Fachkräften. Bezogen auf den Gesundheitsbereich sind die Babyboomer auf der Nachfrage- und der Angebotsseite bisher gleichermaßen stark vertreten, wobei künftig jedoch eine Entwicklung zu Ungunsten der Angebotsseite absehbar ist.

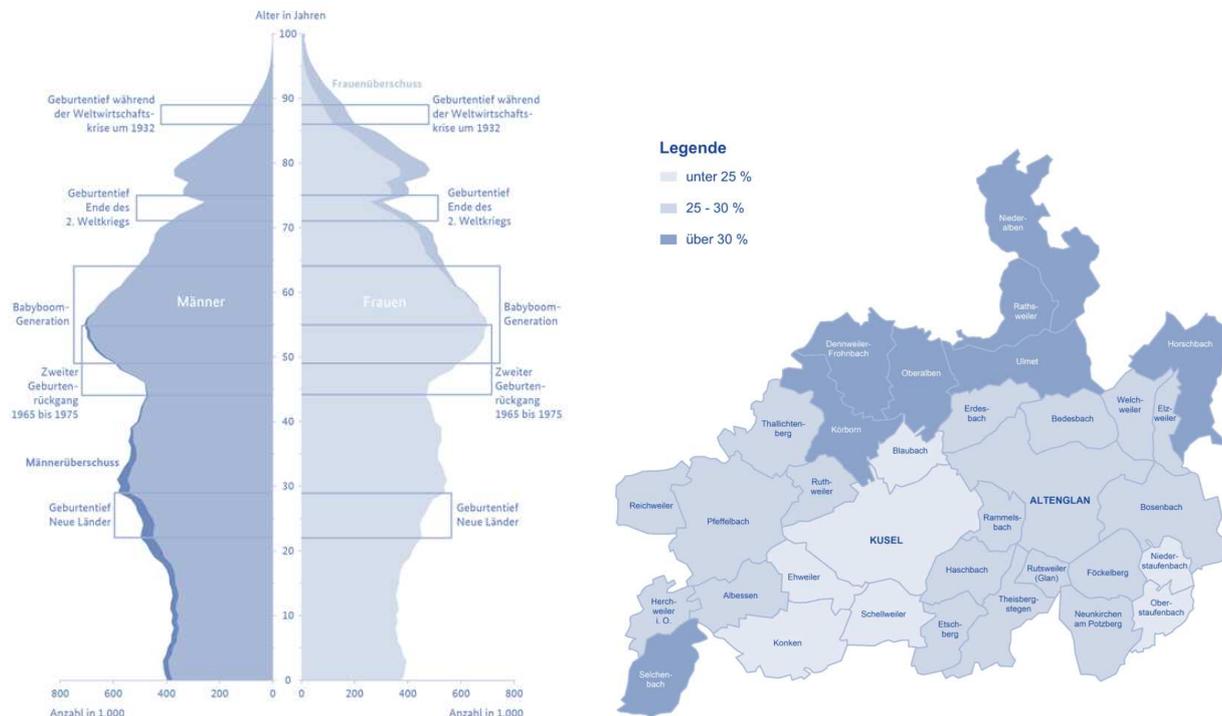


Abb. 2: Altersaufbau der Bevölkerung in Deutschland nach demografischen Ereignissen (links)<sup>5</sup> und Anteil der Babyboomer an der Gesamtbevölkerung in der VG Kusel-Altenglan, Rheinland-Pfalz (rechts).<sup>6</sup>

Sowohl mit Blick auf den Alterungsprozess als auch auf unterschiedliche Lebenslagen, -formen und -stile handelt es sich bei den Babyboomern um eine überaus heterogene Gruppe. Über deren Wohnwünsche und Ansprüche an (Wohn-)Standorte, Mobilität, Einstellungen und Verhaltensweisen ist jedoch bislang vergleichsweise wenig bekannt. Lediglich einige demografische, soziale und räumliche Differenzierungen zur Kohorte der Babyboomer lassen sich durch Analyse des sozio-ökonomischen Panels 2019 vornehmen. Wahrscheinlich ist beispielsweise durch die steigende Lebenserwartung und bessere Gesundheit sowie ein höheres Engagement der Babyboomer, dass große Teile der Kohorte ihren Ruhestand aktiv und kreativ nutzen werden, wodurch auch von einer Veränderung der Wohnbedürfnisse auszugehen ist. Darüber hinaus können die Babyboomer durch deren bessere Bildung und mit Blick auf die zeitlichen Rahmenbedingungen als erste Generation bezeichnet werden, die mit dem raumwirksamen Megatrend Digitalisierung konfrontiert wurde und sich mehr als andere Jahrgänge bei Renteneintritt vergleichsweise digital affin darstellt.<sup>7</sup>

Wenn Kommunen die künftigen Rentnerinnen und Rentner bei der Anpassung ihrer Lebenssituation optimal begleiten wollen, spielen somit vielfältige Aspekte eine Rolle. Mit Blick auf das Teilprojekt ergibt sich ein Fokus auf der klassisch standortgebundenen sowie digitalen und mobilen Gesundheitsversorgung (Angebot und Nachfrage) einerseits und den verkehrlichen Infrastrukturen zur Gewährleistung von individueller Mobilität und Erreichbarkeit der Einrichtungen andererseits. Konkret gilt es, die Bedürfnisse der alternden Menschen, die Raumentwicklung und die Versorgungsmöglichkeiten vor Ort in Einklang zu bringen.

Die Fragen, die die Raumentwicklung in ihrer politikberatenden Rolle, die Politik selbst oder Fachplanungen in Zukunft beschäftigen, beziehen sich dementsprechend auf Standortwahlfaktoren für Wohnstandorte, das Mobilitätsverhalten, Ansprüche und Anforderungen an die Gesundheitsversorgung und Angebote im Wohnumfeld der Babyboomer sowie die jeweiligen Handlungsmöglichkeiten der Politik sowie ihrer Einschätzung und Bewertung: Wie können die Standorte medizinischer Versorgung sinnvoller festgelegt

<sup>5</sup> Eigene Darstellung nach Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB) (o.J.).

<sup>6</sup> Eigene Darstellung nach Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz (o.J.).

<sup>7</sup> STEFAN, Benjamin/LOEPPKE, Yannick/SPELLERBERG, Annette (2022): Babyboomer in Deutschland – demografische, soziale und räumliche Differenzierungen. Analysen auf Basis des sozioökonomischen Panels 2019. S. 3.

werden? Wie können kommunale Finanzen heute für morgen optimal eingesetzt werden? Bleiben die „jungen Alten“ im Ort wohnen? Welche Standortfaktoren sind für welche Akteure relevant? Wie können Erreichbarkeiten gewährleistet und verbessert werden?

## 2.3 Gesundheitsversorgung und deren künftige Herausforderungen

„Jeder Mensch hat das Recht auf das höchste erreichbare Maß an körperlicher und geistiger Gesundheit.“<sup>8</sup> – So beschreibt Artikel 12 Absatz 1 des UN-Sozialpaktes neben des individuellen gesundheitlichen Anspruchs eines Einzelnen der Auftrag zur Schaffung entsprechender Rahmenbedingungen. Adressat dieses Auftrags sind in erster Linie verantwortliche Akteure aus dem Gesundheitssektor. Mit Blick auf die Raumentwicklung und die damit verbundene Aufgabe zur Sicherung der Daseinsvorsorge<sup>9</sup> adressiert dieser hingegen auch die Raumplanung. Gesundheitsversorgung stellt dabei nicht nur einen Baustein der Daseinsvorsorge dar, welche die Voraussetzung zur Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse in allen Teilräumen Deutschlands ist. Gleichzeitig ist Gesundheit als ein Teilaspekt der objektiven Lebensverhältnisse unmittelbar an die eigene Lebensqualität geküpft.<sup>10</sup>

Das weitgehend unabhängig von der Raumplanung bestehende Gesundheitssystem in Deutschland teilt sich in einen stationären (insbesondere Kliniken) und ambulanten Versorgungsbereich. Eine besondere Rolle nehmen in diesem System die kassen(zahn)ärztlichen Vereinigungen als übergeordnete Institutionen ein. Neben der Versorgungsforschung stellt dabei die koordinierende Bedarfsplanung, welche die am räumlichen Bedarf orientierte Verteilung der Ärzte regelt, ein wichtiges Instrument dar. Sie orientiert sich am System der zentralen Orte und weist damit einen weiteren Bezug zur Raumordnung auf, die dadurch indirekt auf die Gesundheitsversorgung einwirkt.

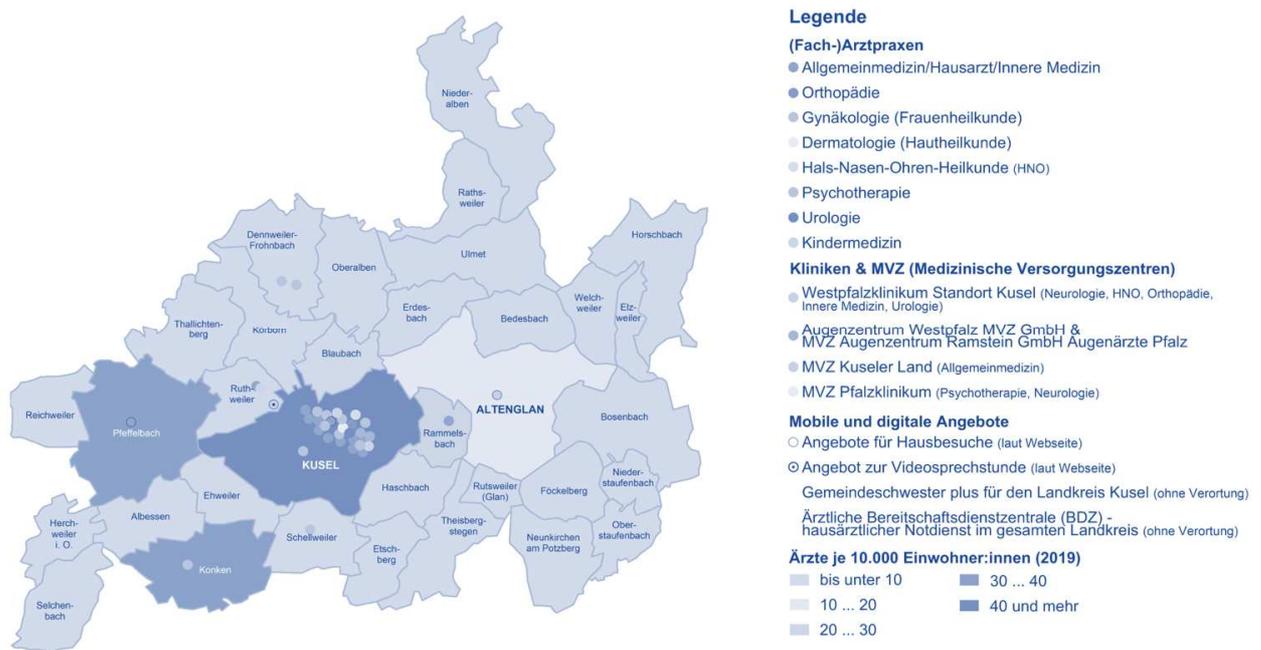


Abb. 3: Ärzte je 10.000 Einwohnerinnen und Einwohner und Ballung medizinischer Einrichtungen innerhalb der VG Kusel-Altenglan.<sup>11</sup>

Im Bereich der ambulanten Versorgung ist insbesondere der Zugang zu Hausärztinnen und Hausärzten von besonderer Relevanz. Mit ihrem engen Vertrauensverhältnis sowie der Funktion als erste Anlaufstelle eines breiten Patientenstamms und allgemeinmedizinischer Allrounder gelten sie daher als Kern des deutschen Gesundheitswesens.<sup>12</sup> Eine ausreichende Zahl der Praxen mit einer räumlichen Verteilung und wohnortnahen

<sup>8</sup> vgl. Art. 12 Abs. 1, Internationaler Pakt über wirtschaftliche, soziale und kulturelle Rechte (ICESCR).

<sup>9</sup> vgl. § 2 Abs. 2 Nr. 3 Raumordnungsgesetz (ROG).

<sup>10</sup> vgl. SPELLERBERG, Annette (1996): Soziale Differenzierung durch Lebensstile: Eine empirische Untersuchung zur Lebensqualität in West- und Ostdeutschland. S. 51.

<sup>11</sup> Eigene Darstellung nach Das Örtliche Service- und Marketing GmbH (o.J.) / Google (2022) / BBSR (o.J.) / Kassenärztliche Bundesvereinigung (2022).

<sup>12</sup> BMG (o.J.): Hausarztssystem.

hausärztlichen Versorgung ist dabei unerlässlich für die Gewährleistung der medizinischen Daseinsvorsorge. Hausärztliche Praxen sollen dementsprechend mit einer 15-minütigen Pkw-Erreichbarkeit flächendeckend im Raum erreichbar sein.<sup>13</sup>

Die Analyse der Erreichbarkeit hausärztlicher Praxen zeigt jedoch bereits heute das Bild einer teilräumlichen Unterversorgung – vor allem in ländlichen, suburbanen sowie schrumpfenden Regionen ergeben sich dabei Herausforderungen. In der VG Kusel-Altenglan besteht so heute eine Ballung medizinischer Einrichtungen im Mittelzentrum Kusel während die meisten Ortsgemeinden keine Praxis und damit einen Versorgungsgrad von unter zehn Ärztinnen und Ärzten auf 10.000 Einwohnerinnen und Einwohner aufweisen (siehe Abb. 3).

Allgemein verlaufen Alterungsprozesse in hohem Maße unterschiedlich – während die einen etwa bis ins hohe Alter körperlich wie geistig agil bleiben, benötigen andere zunehmend Unterstützung, um ihren Alltag bewältigen zu können. Von Bedeutung sind hierbei auch gesundheitserhaltende Rahmensetzungen wie die Einbindung in stabile soziale Netzwerke oder die Teilhabe am öffentlichen Leben. Mit zunehmenden Alter steigt aber die Wahrscheinlichkeit für eine Vielzahl von Erkrankungen mit teils chronischem Verlauf sowie das Auftreten neuer Symptome bei länger bestehenden Erkrankungen.<sup>14</sup>

Herausforderungen ergeben sich damit auch durch die Masse der Babyboomer, die mit zunehmendem Alter und entsprechender Verrentung stärker als Patient und weniger als praktizierende Hausärztinnen und Hausärzte auftreten. Folge des erhöhten Behandlungsbedarfs und der gleichzeitigen Verringerung des medizinischen Versorgungs-Angebots ist ein zunehmender Behandlungsdruck auf die verbleibenden Praxen. Ebenso wirken sich eine sukzessive Einschränkung des Aktivitätsradius im Alter und Einschränkungen in der individuellen Mobilität auf die Erreichbarkeit medizinischer Einrichtungen aus. Mit Blick auf die Babyboomer zeigt sich insgesamt, dass sich 22 % große, 57 % einige und 21 % keine Sorgen um die eigene Gesundheit(sversorgung) machen, erstere insbesondere in Ostdeutschland sowie im ländlichen Raum.<sup>15</sup>

Während der demografische Wandel die konventionelle medizinische Versorgungslandschaft in Deutschland damit vor große Herausforderungen stellt, ergeben sich ebenso Chancen durch den digitalen Wandel und die zunehmende Digitalisierung in Wirtschaft und Gesellschaft. Im Bereich der Gesundheitsversorgung sind vor allem digital gestützte Versorgungsstrukturen („E-Health“, Telemedizin) sowie mobile Angebotsformen der Beratung und Behandlung zu nennen. In der VG Kusel-Altenglan scheinen gerade digitale Angebote bisher jedoch nur eine untergeordnete Rolle einzunehmen (siehe Abb. 3). Mit Blick auf die Babyboomer ist sowohl über deren Gesundheitszustand als auch über deren Anforderungen an die medizinische Versorgung wenig bekannt. Gleiches gilt für die Aufgeschlossenheit gegenüber digitalen oder mobilen Angebotsformen.

### 3 MATHEMATISCHE ERREICHBARKEITSMODELLIERUNG ALS FORSCHUNGSANSATZ

#### 3.1 Warum mathematische Erreichbarkeitsmodellierung?

Während Stadt- und Regionalplanerinnen sowie Stadt- und Regionalplaner oft als Generalisten betrachtet werden, denen eine tiefergehende Nähe zur Mathematik meist abgesprochen wird, erscheint die interdisziplinäre Kooperation zwischen Planung und Mathematik schon für sich und gerade mit Blick auf die sich im Projekt ergebenden Fragestellungen vielversprechend. So bietet das mathematische Erreichbarkeitsmodell zum einen ein intuitiv bedienbares Analysetool, mit dem die Erreichbarkeit hausärztlicher, zahnärztlicher und allgemein fachärztlicher Praxen sowie von Krankenhäusern und Apotheken in und aus den einzelnen Ortsgemeinden dargestellt werden können. Dies gilt sowohl für den Status Quo und den zeitlichen Verlauf der letzten (zehn) Jahre als auch für die Vorausberechnung künftiger Erreichbarkeiten auf Basis der zugrundeliegenden Daten. Auf dieser analytischen Grundlage lassen sich dann zum anderen eine Vielzahl planerischer Fragestellungen bearbeiten. Denkbar ist etwa das Aufzeigen bestehender und künftiger Lücken in der Versorgungslandschaft sowie die Abschätzung der Resilienz der Vertragsärztelandschaft gegenüber altersbedingten Problemen bei der Nachbesetzung anhand des Praxistyps.

<sup>13</sup> SUNDMACHER, Leonie/BRECHTEL, Thomas et al. (2018): Gutachten zur Weiterentwicklung der Bedarfsplanung i.S.d. §§ 99 ff. SGB V zur Sicherung der vertragsärztlichen Versorgung

<sup>14</sup> BZGA (2020): 20 Empfehlungen für Gesundheit und Lebensqualität im Alter. S. 1-7 und S. 28-34.

<sup>15</sup> STEFAN, Benjamin/LOEPPKE, Yannick/SPELLERBERG, Annette (2022): Babyboomer in Deutschland – demografische, soziale und räumliche Differenzierungen. Analysen auf Basis des sozioökonomischen Panels 2019. S. 45.

### 3.2 Methodik und Kooperationsprozess zwischen Raumplanung und Mathematik

Das Erreichbarkeitsmodell geht aus einer Kooperation des Lehrstuhls Regionalentwicklung Raumordnung im Fachbereich Raum- und Umweltplanung sowie der AG Optimierung unter Prof. Dr. Stefan Ruzika am Fachbereich Mathematik der Technischen Universität hervor. Zu Beginn der Arbeit an dem gemeinsamen Modell wurde zunächst die Verbandsgemeinde Kusel-Altenglan als eine der Modellkommunen im Projekt ausgewählt. Die planerische Aufgabe besteht hierbei zum einen in der Beschaffung relevanter Daten (z.B. zur medizinischen Versorgung, Ergebnisse aus der Befragung) sowie der Recherche und Auswahl relevanter Parameter und Rahmenbedingungen. Zum anderen erfolgt aus planerischer Sicht die Definition konkreter Fragestellungen und Darstellungsarten, auch im Hinblick auf die Einspeisung der Ergebnisse in das spätere DSS. Einschlägige Parameter für das mathematische Erreichbarkeitsmodell bestehen in den Bereichen Fußverkehr, (elektrifizierter) Radverkehr, öffentlicher Personennahverkehr mit den Verkehrsträgern Bus und Bahn sowie dem motorisierten Individualverkehr mit dem Pkw. Die Auswahl dieser Parameter stützt sich dabei auf die Abstimmung mit dem Institut für Mobilität und Verkehr (imove) im Fachbereich Bauingenieurwesen der TUK sowie der Auswertung entsprechender Fachliteratur und verkehrsplanerischer Erhebungen (z.B. Richtlinien für integrierte Netzwerkgestaltung RIN, Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs EAÖ).<sup>16</sup> Insbesondere herangezogen werden Daten und Richtwerte zu

- differenzierten Geh-, Fahr- und Reisegeschwindigkeiten der einzelnen Verkehrsträger,
- Toleranzen hinsichtlich der jeweils zurückzulegenden Distanzen sowie
- Umsteigezeiten, -widerständen und Takthäufigkeiten im ÖPNV.

Die Mathematik hingegen beschäftigt sich mit der Erarbeitung des dem Erreichbarkeitsmodell zu Grunde liegenden Algorithmus sowie der Aufbereitung der Daten und Verknüpfung dieser mit dem Algorithmus. Weiterhin übersetzt die Mathematik die „Wünsche“ und Anforderungen der Planung und speist diese in das Modell ein. Grundlage für die Berechnungen bildet das Straßennetz einschließlich dessen Knotenpunkte.

### 3.3 Mathematische Modellierung

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie aus der realen Fragestellung und den vorhandenen Daten ein mathematisches Modell entsteht. Dazu erfolgt lediglich die Beschreibung der einschlägigen Konzepte, auf tiefere mathematische Details wird an dieser Stelle verzichtet.

Ein *intermodales zeitabhängiges Netzwerk* ist ein gerichteter Multi-Graph  $G = (V, E)$  mit nichtleerer Knotenmenge  $V$  und Kantenmenge  $E$ , wobei jeder Kante  $e \in E$  ein Verkehrsmittellabel  $l(e) \in \{f, b, c, a\}$  (stellvertretend für „foot“, „bike“, „car“, „bus“) zugeordnet ist. Für einen diskreten Zeithorizont  $\{0, 1, \dots, T\}$  habe  $e \in E$  zum Zeitpunkt  $t \in \{0, 1, \dots, T\}$  zudem eine nicht-negative Reisezeit von  $c(e, t)$ .

Die reale Situation wird nun wie folgt in solch ein mathematisches Netzwerk überführt: Existierende Straßenkreuzungen sowie mögliche Wechselstellen von Verkehrsmitteln (z.B. Bushaltestellen) werden zu Knoten im mathematischen Netzwerk. Diese werden nun durch gelabelte gerichtete Kanten sinnhaft verbunden: Kann etwa von einer Kreuzung zur nächsten Kreuzung gelaufen werden, werden die beiden entsprechenden Knoten im Netzwerk durch jeweils eine Kante mit Verkehrsmittellabel  $f$  in beide Richtungen verbunden. Handelt es sich darüberhinaus um eine Einbahnstraße, so werden zusätzliche Kanten in Fahrtrichtung für Fahrrad und Auto hinzugefügt. Bei Buslinien werden jeweils zwei aufeinanderfolgende Bushaltestellen durch eine Kante verbunden. Ein Weg im mathematischen Netzwerk (also eine geordnete Abfolge von Kanten) kann also als intermodaler Weg in der realen Welt interpretiert werden. Die Reisezeit  $C(e_r)$  eines Weges  $(e_1, e_2, \dots, e_r)$  ergibt sich rekursiv durch

$$C(e_1) = c(e_1, 0) \quad C(e_i) = c(e_i, C(e_{i-1})) + C(e_{i-1}), \text{ falls } i > 1.$$

Sicherlich ist nicht jeder solche Weg im mathematischen Netzwerk in der realen Problemstellung sinnvoll: Bei einem Weg, der die Verkehrsmittel Auto – Fuß – Auto – Fahrrad nutzt, steht in der realen Welt nach der Fußstrecke an einer beliebigen Kreuzung das benötigte Auto oder das Fahrrad gar nicht zur Verfügung. Daher erfolgt wie auch von Kirchner<sup>17</sup> und Barret et al.<sup>18</sup> vorgeschlagen die Nutzung des Konzepts zellulärer

<sup>16</sup> siehe auch: FGSV (2008): RIN. S. 11-53. / FGSV (2013): EAÖ. S. 13-22.

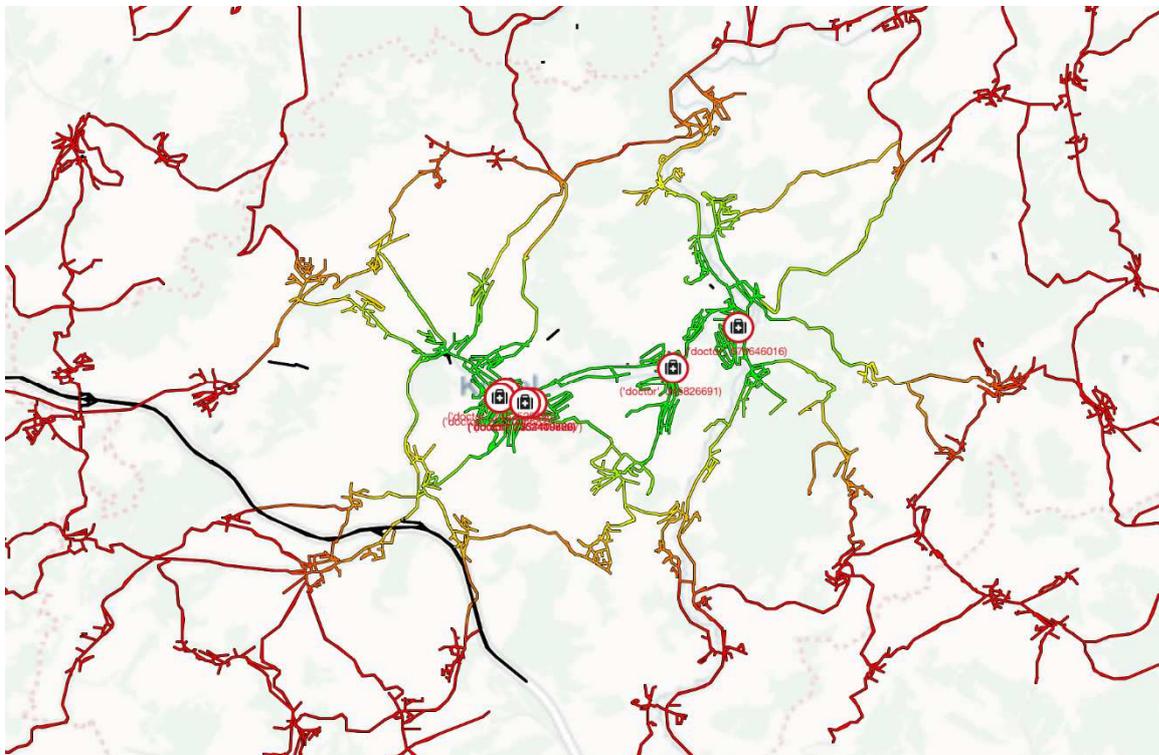
<sup>17</sup> KIRCHLER, Dominik (2013): Efficient routing on multi-modal transportation networks. Data Structures and Algorithms.

Automaten, um nur sinnvolle und vom Anwender gewünschte Konstellationen von Verkehrsmittelwechsell zu erlauben. Gesucht ist nun also der kürzeste Weg bezüglich Reisezeit zwischen zwei zuvor festgelegten Knoten, dessen Abfolge von Verkehrsmitteln vom zellulären Automat akzeptiert wird. Zur Lösung des Problems wird auf die in Kirchler<sup>19</sup> entwickelten Algorithmen zurückgegriffen.

Für die Modellierung der Verkehrsinfrastruktur wird zunächst auf OpenStreetMap-Daten zurückgegriffen. Dort sind Straßenzüge in gut dokumentierten Gebieten bereits mit zahlreichen Attributen versehen, die über die Nutzungsmöglichkeiten einer Straße oder eines Weges Aufschluss geben. Reisezeiten entlang der Kanten berechnen sich in den Fällen zu Fuß, Fahrrad und Auto durch Weglänge multipliziert mit Geschwindigkeit. Während Fußgänger und Fahrradfahrer im aktuellen Modell mit konstanter Geschwindigkeit unterwegs sind, wird die Geschwindigkeit beim Auto wiederum abhängig vom Straßentyp gemacht. Für die Reisezeiten des ÖPNV werden die exakten Fahrpläne, gewonnen aus einem GTFS-Datensatz, hinterlegt, sodass sich die Kantenkosten hier als stückweise linear herausstellen (reine Fahrtzeit + Wartezeit bis zur Abfahrt des nächsten Busses). Transferkanten zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln mit fixen Kosten beim Zu-, Aus- oder Umstieg ermöglichen die Modellierung von sinnvollen Umstiegszeiten, genauso können fixe Zeitspannen zum Einsteigen und Aussteigen aus dem Auto addiert werden.

Eventuelle Beschränkungen auf die am Stück zu Fuß zurückgelegte Strecke können modelliert werden, indem alle zu-Fuß-Kanten, die nicht im gewünschten Umkreis um Start- und Zielknoten und um Bushaltestellen liegen aus dem Netzwerk entfernt werden. Zuletzt werden die Knoten markiert, deren intermodale Erreichbarkeit analysiert werden soll. Dies können zum Beispiel die hausärztlichen Praxen oder Apotheken sein. Verbunden durch eine Hilfskante zu einem zusätzlich eingefügten Knoten ermittelt nun eine einzige als Backwards-Search durchgeführte Anfrage die Erreichbarkeit von jedem Knoten aus dem Netzwerk zur nächstgelegenen Einrichtung. Aufgrund der Fahrplanabhängigkeit sind die Erreichbarkeiten zeitabhängig. Daher wird eine Mittelung verschiedener solcher Anfragen zu unterschiedlichen Zeitpunkten vorgeschlagen, Zeitspanne und Zeitschritte können vom Anwender eigenständig festgelegt werden.

Die in Abbildung 4 dargestellte Karte zeigt die modellierte Erreichbarkeit der markierten Praxen in der VG Kusel-Altenglan über den ÖPNV – konkrete, einheitliche Schwellenwerte befinden sich jedoch ebenso wie die genauen Parameter und grafische Aufbereitung noch in Entwicklung und Abstimmung im Projekt.



<sup>18</sup> BARRETT, Chris / JACOB, Riko / MARATHE, Madhav (2000): Formal-Language-Constrained Path Problems. In: SIAM Journal on Computing 30.3 (Jan. 2000). S. 809–837.

<sup>19</sup> KIRCHLER, Dominik (2013): Efficient routing on multi-modal transportation networks. Data Structures and Algorithms. Ecole Polytechnique X.

Abb. 4: Modellierter ÖPNV-Erreichbarkeit eines jeden Knoten im Netzwerk der VG Kusel-Altenglan zu den markierten Arztpraxen (Grün = weniger als 13 Minuten, Rot = 23 Minuten und mehr zur nächstgelegenen Arztpraxis).

### 3.4 Output und mögliche Erkenntnisse

Grundsätzlich kommen für die Darstellung der im Modell hinterlegten Daten mehrere Optionen in Frage. Einerseits lassen sich klassische Karten mit Flächen-, Linien- und Punktsignaturen sowie Piktogrammen generieren (z.B. Einfärbung des Streckennetzes nach definierten Schwellenwerten und piktogramatische Verortung der jeweiligen Einrichtungen), andererseits können beispielsweise Netzdiagramme für einzelne Ortsgemeinden erzeugt werden, die dann der Standortanalyse hinsichtlich verschiedener Einrichtungen dienen können. Ausgehend von dem Erreichbarkeitsmodell lassen sich die realen Daten dabei mit den in der Befragung erhobenen Präferenzen, Toleranzen und Bewertungen der Babyboomer, etwa durch ein Scoring bzw. Benchmarking, abgleichen und für eine zusätzliche normative Betrachtung der einzelnen Standorte und jeweiligen Versorgungslage heranziehen. Mit Blick auf die Planungspraxis erscheint zudem die mögliche Berechnung optimaler Standorte für neue Wohngebiete, die Verdichtung bestehender Siedlungsstrukturen sowie altersgerechte Wohnangebote (z.B. Seniorenheim, Mehrgenerationenhaus) und soziale Einrichtungen für Senioren (z.B. Seniorenbüros, Nachbarschafts-Treffs) vielversprechend. Gleiches gilt für die Berechnung optimaler Trassen und Haltepunkte für Angebote des ÖPNV (Stichwort Netzoptimierung) sowie optimaler Standorte für (neue) medizinische Einrichtungen oder die Anpassung bestehender Organisationsformen.

## 4 MEHRWERT DES DECISION SUPPORT SYSTEMS UND AUSBLICK

Das angestrebte Erreichbarkeitsmodell bietet als ein Baustein des DSS ein mathematisches Analysetool für Akteure der räumlich planenden Verwaltung (z.B. die kommunale Stadt-, Verkehrs- und Sozialplanung), um verschiedene Entwicklungsvarianten bei unterschiedlichen Entscheidungsoptionen nachvollziehbar und verständlich für politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger, Träger des öffentlichen Personennahverkehrs sowie Akteure der medizinischen Versorgungsforschung und Bedarfsplanung (z.B. Kassenärztliche Vereinigungen) aufzubereiten. Dadurch wird eine sachgerechte und datengestützte Entscheidungsfindung unterstützt.

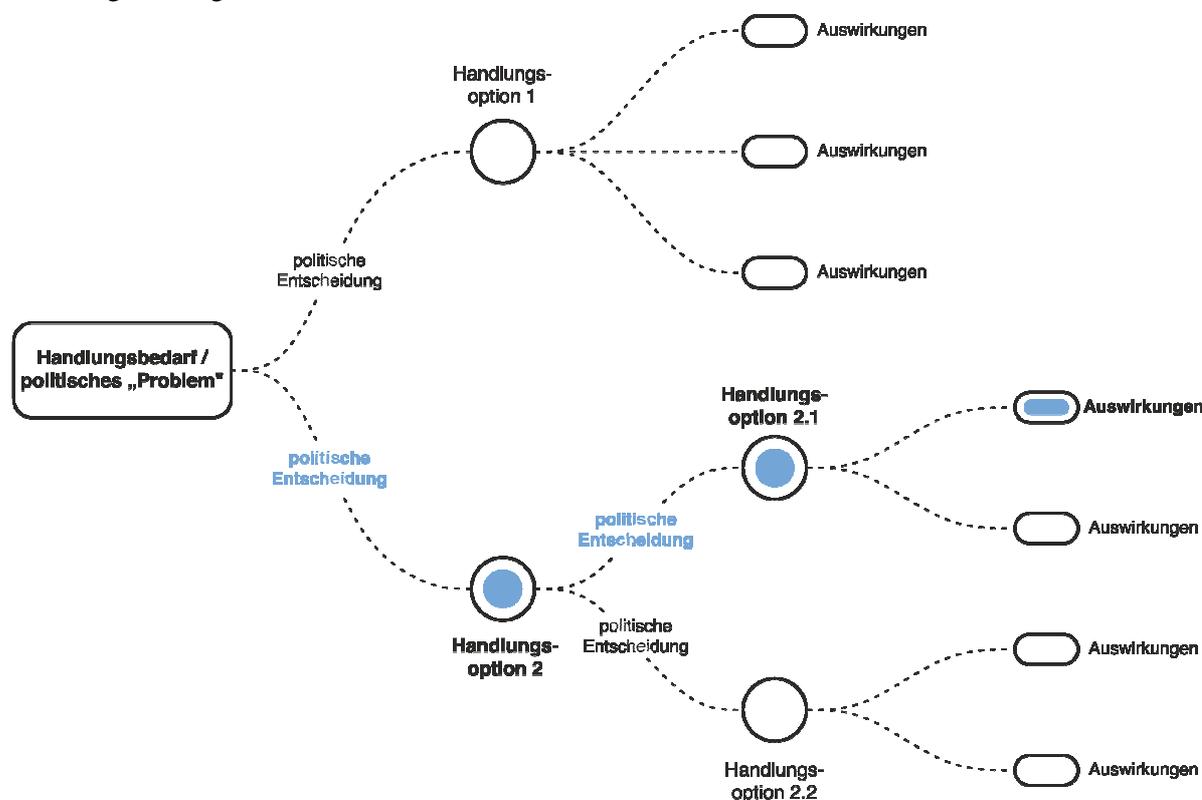


Abb. 5: Vereinfachter Entscheidungsbaum als grundlegende Funktionsweise des projektierten DSS.

Zukünftige Entwicklungen mit sich ergebenden Handlungsbedarfen bzw. -optionen und deren Auswirkungen sollen dabei mittels verschiedener Szenarien und Entwicklungsalternativen aufgezeigt und für den einzelnen Entscheidungsprozess der unterschiedlichen Akteure (blauer Pfad) herangezogen werden können (Stichwort

Entscheidungsbaum, siehe Abb. 5). Neben der Identifikation von Versorgungslücken sowie der Optimierung von Siedlungsstruktur (v.a. Wohnstandorten), Verkehrs- und medizinischer Infrastruktur ist zudem eine Ausweitung auf weitere Aspekte der Daseinsvorsorge, etwa Nahversorgung und Einzelhandel sowie Bildung denkbar und kann bei der weiteren Entwicklung des Decision Support Systems dazu beitragen, dass Einrichtungen und Leistungen der Daseinsvorsorge stärker integriert gedacht und entwickelt werden können. Dies wurde gerade für ländliche Räume als ein Erfolgsfaktor von dem Alpine Think Tank genannt: „In order to improve the delivery and ensure high quality of SGI (Anmerkung: SGI sind Services of general interest) in the Alpine area, the members of the Think Tank have identified the following points: 1. The sectoral approach to SGI needs to be overcome through an integrated territorial approach. The approach should consider people's needs in a given territory, the territorial dimension, and the benefits of the synergies that can arise by combining different SGI sectors. (...) 8. New organisational approaches including social innovative practices and initiatives for the delivery of SGI must be tested and developed“<sup>20</sup> Das Erreichbarkeitsmodell liefert hier einen ersten Ansatz, indem die Gesundheitsinfrastruktur mit der weiteren Mobilitätsplanung verzahnt wird und wie oben angesprochen zudem das Decision Support System im weiteren Forschungsverlauf auf andere Bereiche der Daseinsvorsorge (z.B. Nahversorgung) ausgeweitet werden soll.

Der konkrete Mehrwert für die Babyboomer selbst und perspektivisch die Gesamtbevölkerung liegt in der Verbesserung des eigenen Lebensumfeldes und insbesondere der Versorgungslage, etwa durch die Sicherung einer hausärztlichen Praxis im ländlichen Raum oder die Verbesserung der Erreichbarkeit derselben und Unterstützung der eigenen Mobilität durch einen optimierten öffentlichen Personennahverkehr. Auf Seite der Verwaltung sind hingegen ein effizienterer Einsatz von Ressourcen (z.B. finanzielle Mittel, Personal) und die Verbesserung der Planung zu nennen. Lokale politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger profitieren zudem von der Unterstützung bei der Entscheidungsfindung und einer verbesserten Argumentationsgrundlage. Ähnlich der Verwaltung liegt der Mehrwert für die Akteure aus der medizinischen Versorgungsforschung in einer zielgerichteten, nachfragegerechten Bedarfsplanung und leichteren Koordinierung der Nachbesetzung unter Erreichbarkeitsgesichtspunkten sowie damit in der Einsparung von Ressourcen. Die Implementierung des Erreichbarkeitsmodells in das DSS bietet damit eine Grundlage für die Optimierung planerischer und politischer Entscheidungen.

## 5 LITERATURVERZEICHNIS

- BARRETT, Chris / JACOB, Riko / MARATHE, Madhav: Formal-Language-Constrained Path Problems. In: SIAM Journal on Computing 30.3 (Jan. 2000), S. 809–837. 2000.
- BBSR - BUNDESAMT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG (BBSR): INKAR – Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung, abgerufen am 22.02.2022 unter: <https://www.inkar.de/>
- BUNDESINSTITUT FÜR BEVÖLKERUNGSFORSCHUNG: Altersaufbau der Bevölkerung in Deutschland nach demografischen Ereignissen (2019), abgerufen am 01.08.2022 unter: [https://www.bib.bund.de/DE/Fakten/Fakt/Bilder/B07-Altersaufbau-Bevoelkerung-Ereignisse.png?\\_\\_blob=poster&v=2](https://www.bib.bund.de/DE/Fakten/Fakt/Bilder/B07-Altersaufbau-Bevoelkerung-Ereignisse.png?__blob=poster&v=2)
- BMI - BUNDESMINISTERIUM DES INNERN, FÜR BAU UND HEIMAT: Deutschlandatlas - Karten zu gleichwertigen Lebensverhältnissen. Berlin, 2020.
- BMG - BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT: Hausarztssystem, abgerufen am 03.08.2022 unter: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/hausarztssystem.html>
- BZGA - BUNDESZENTRALE FÜR GESUNDHEITLICHE AUFKLÄRUNG: 20 Empfehlungen für Gesundheit und Lebensqualität im Alter. Köln, 2020.
- DAS ÖRTLICHE SERVICE- UND MARKETING GMBH: Standardsuche für die Ortsgemeinden der VG Kusel-Altenglan, abgerufen am 23.02.2022 unter [https://www.dasoertliche.de/?form\\_name=search\\_nat&cmd=cmd\\_nav\\_startpage](https://www.dasoertliche.de/?form_name=search_nat&cmd=cmd_nav_startpage)
- EGGER, Thomas: Alpine Think Tank on Services of general interest – Thesis paper. Bern, 2019. Abgerufen am 03.08.2022 unter: [Swiss Center for Mountain Regions \(SAB\): https://servicepublic.ch/en/interesting-documents/](https://servicepublic.ch/en/interesting-documents/)
- FLEBA, Steffen / VAN DEN BERG, Neeltje / HOFFMANN, Wolfgang: Gesundheitsversorgung im ländlichen Raum, abgerufen am 28.07.2022 unter: <https://www.bpb.de/themen/stadt-land/laendliche-raeume/334219/gesundheitsversorgung-im-laendlichen-raum/#node-content-title-0>
- GANS, Paul: Demografischer Wandel, In Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.) Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. S. 376. Hannover, 2018.
- GOOGLE: Google Maps, Standardsuche für die Ortsgemeinden der VG Kusel-Altenglan, abgerufen am 23.02.2022 unter: <https://www.google.de/maps/preview>
- KASSENÄRZTLICHE BUNDESVEREINIGUNG: Arzt- und Psychotherapeutensuche für die Ortsgemeinden der VG Kusel-Altenglan, abgerufen am 23.02.2022 unter <https://arztsuche.116117.de/>
- KIRCHLER, Dominik: Efficient routing on multi-modal transportation networks. Data Structures and Algorithms. Ecole Polytechnique X. 2013.

<sup>20</sup> EGGER, Thomas (2019): Alpine Think Tank on Services of general interest – Thesis paper. S. 4f.

- SPELLERBERG, Annette: Soziale Differenzierung durch Lebensstile: Eine empirische Untersuchung zur Lebensqualität in West- und Ostdeutschland. Berlin, 1996.
- STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ: Mein Dorf, meine Stadt, abgerufen am 22.02.2022 unter:  
<https://infothek.statistik.rlp.de/MeineHeimat/index.aspx?id=103&l=3&g=0733610&tp=46975>
- STEFAN, Benjamin / LOEPPKE, Yannick / SPELLERBERG, Annette: Babyboomer in Deutschland – demografische, soziale und räumliche Differenzierungen. Analysen auf Basis des sozio-ökonomischen Panels 2019. Kaiserslautern, 2022.
- SUNDMACHER, Leonie / BRECHTEL, Thomas et al.: Gutachten zur Weiterentwicklung der Bedarfsplanung i.S.d. §§ 99 ff. SGB V zur Sicherung der vertragsärztlichen Versorgung. München, Leipzig, Bonn, Greifswald und Köln, 2018.