KANTON AARGAU

DEPARTEMENT

FINANZEN UND RESSOURCEN

Statistik Aargau

28. Oktober 2020

BEGLEITBERICHT

Technischer Begleitbericht zu den Aargauer Bevölkerungsprojektionen 2020–2050

Zweck des Dokuments

Dieses Dokument begleitet den Bericht "Aargauer Bevölkerungsprojektionen 2020–2050". Es enthält eine detaillierte Beschreibung zum Aufbau des neuen, ungelenkten Aargauer Bevölkerungsprojektionsmodells 2020.

Inhaltsverzeichnis

1 Modellaufbau ... 3

1.1 Überblick ... 3

1.2 Räumliche Ebenen ... 3

1.3 Demografische Parameter ... 4

1.3.1 Sterblichkeit ... 5

1.3.2 Fruchtbarkeit ... 5

1.3.3 Wanderung ... 5

1.3.4 Einbürgerung ... 7

1.4 Unsicherheiten ... 8

1.4.1 Szenarien ... 8

1.4.2 Genauigkeit der Projektionen ... 10

1.5 Mathematische Beschreibung ... 12

1.5.1 Ein zeitvariantes Matrix-Bevölkerungsmodell ... 12

1.5.2 Matrizen-Inhalt ... 13

2 Abkürzungen und Begriffe ... 16

3 Literaturverzeichnis ... 17

1 Modellaufbau

1.1 Überblick

Das neue Aargauer Bevölkerungsprojektionsmodell 2020 (AG2020) ist eine Regionalisierung des aktuellsten Bevölkerungsprojektionsmodells des Bundesamtes für Statistik (BFS) für den Kanton Aargau (Bundesamt für Statistik, 2020) und ersetzt das Vorgängermodell AG2013 (Statistik Aargau, 2013). Das BFS-Modell enthält die folgenden demografischen Parameter für den Kanton Aargau: Fruchtbarkeit, Sterblichkeit, internationale Zuwanderung, internationale Wegwanderung, interkantonale Wanderungsbilanz und Einbürgerungen. Das AG2020-Modell verwendet diese Parameter auf regionaler Ebene.

1.2 Räumliche Ebenen

Es gibt vier räumliche Ebenen, die für die Planung von Interesse sind: die Bezirke (n = 11), die Regionalplanungsverbände (n = 12), die Raumtypen (n = 5) und die Gemeinden (n = 210; Stand 1. Januar 2020). Die kleinste Ebene ist die Gemeinde. Jede Gemeinde gehört zu einem Bezirk, mindestens einem Regionalplanungsverband[1] und einem Raumtyp. Die Summierung der Bevölkerung der verschiedenen Gemeinden, die zu einem Bezirk, einem Regionalplanungsverband oder einem Raumtyp gehören, ergibt die Bevölkerung dieses Bezirks, dieses Regionalplanungsverbands beziehungsweise dieses Raumtyps. Daher wird das Modell idealerweise auf Gemeindeebene durchgeführt und die Projektionen werden auf der gewünschten höheren räumlichen Ebene (entweder Bezirk, Regionalplanungsverband oder Raumtyp) aufsummiert. Aufgrund der geringen Bevölkerungszahl der meisten Gemeinden würde dies jedoch zu einer hohen Unsicherheit führen (siehe **Kasten 2**). Daher wurden zwei Modellieransätze für die unterschiedlichen räumlichen Einheiten gewählt:

Grosse räumliche Einheiten

Aus den Bezirken, Regionalplanungsverbänden und Raumtypen wurde eine künstliche räumliche Ebene mit 60 Zonen erstellt, die jeweils eine einzigartige Kombination von Bezirken, Regionalplanungsverbänden und Raumtypen aufweisen (**Abbildung 1**). Diese räumlichen Einheiten bilden die zentralen "Grundbausteine" des Modells AG2020. Ausgehend von den 60 "Grundbausteinen" können die Projektionen auf jene räumlichen Ebenen aggregiert werden, die für die Endnutzer von Interesse sind, wie z.B. Bezirk oder Bezirk x Raumtyp (**Abbildung 1**). Da es sich bei den "Grundbausteinen" um eine ungewöhnliche Aufteilung des Gebiets handelt, wurden alle aggregierten Werte auf Bezirks-, Regionalplanungsverband- oder Raumtyp-Ebene ausgewiesen, sowohl in den Ergebnissen als auch in der Beschreibung des Modellaufbaus (Statistik Aargau, 2020).

[1] Einige Gemeinde gehören zu mehr als nur ein Regionalplanungsverband. In diesem Fall wird nur die Primärmitgliedschaft berücksichtigt.

Gemeinden

Mit diesen 60 "Grundbausteinen" ist es jedoch nicht möglich, Bevölkerungsprojektionen auf der Gemeindeebene zu erhalten. Daher wurde ein zusätzlicher Modellieransatz auf Gemeindeebene gewählt, um die Bevölkerungsprojektion für jede Gemeinde zu erhalten (in **Abbildung 1** durch den gestrichelten Pfeil gekennzeichnet). Die Projektionen auf dieser Ebene sind mit einer höheren Unsicherheit verbunden und müssen mit Vorsicht verwendet werden (siehe Kapitel **1.4.2**).

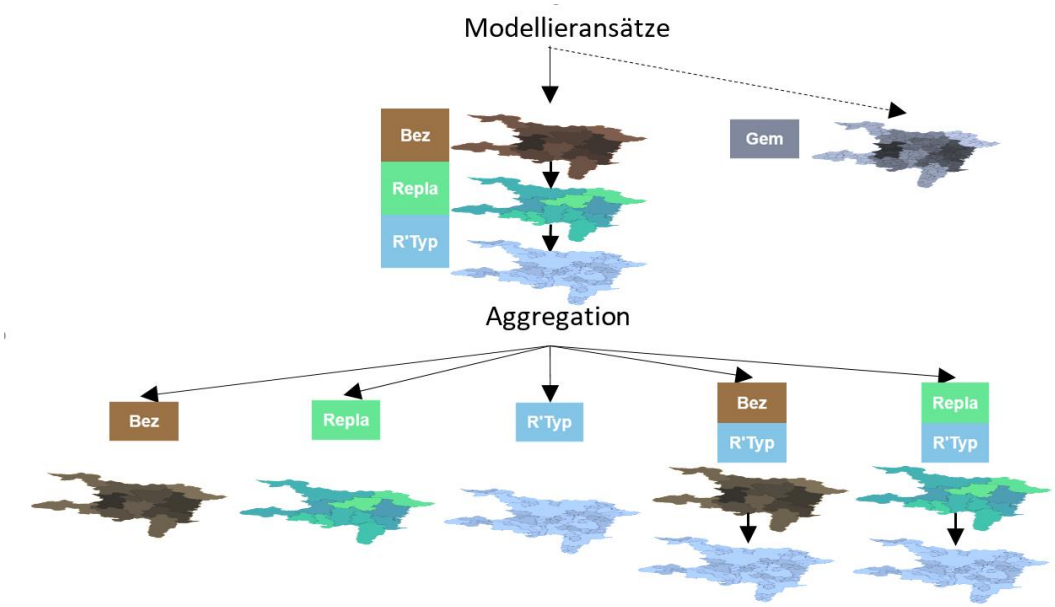

Abbildung 1: Funktionsweise des neuen Aargauer Bevölkerungsprojektionsmodells (AG2020). In einem ersten Modellieransatz wird die zukünftige Bevölkerungsentwicklung für alle 60 "Grundbausteine" aus den Ebenen "Bezirk" (Bez), "Regionalplanungsverband" (Repla) und "Raumtyp" (R'Typ) berechnet. Anschliessend können diese Informationen beliebig aggregiert werden, beispielsweise auf Ebene "Bezirk" oder "Regionalplanungsverband x Raumtyp". Mit einem weiteren Modellieransatz können Projektionen für jede einzelne Gemeinde (Gem) gerechnet werden (gestrichelte Linie).

1.3 Demografische Parameter

Die Referenzwerte der demografischen Parameter des BFS-Modells wurden aus der Registererhebung des Bundes (STATPOP) über den Zeitraum 2010–2017 berechnet (mit Ausnahme der interkantonalen Wanderung, deren Referenzwert über den Zeitraum 2013–2017 berechnet wurde). Der Zeitraum 2010–2017 ist begrenzt durch das erste Jahr der stabilisierten internationalen Wanderung nach der Umsetzung des Freizügigkeitsabkommens im Jahr 2008 und das letzte Jahr der verfügbaren Daten zum Zeitpunkt des Modellaufbaus.

Das BFS passte alle demografischen Parameter an Hypothesen über die zukünftige demografische Entwicklung an. Die Hypothesen entsprechen dem Expertenwissen des BFS und weiterer Bundesämter (z.B. Staatssekretariat für Wirtschaft) über plausible zukünftige Entwicklungen.

Vier demografische Parameter wurden mittels Korrekturfaktoren und Verteilungsschlüsseln regionalisiert: Fruchtbarkeit, internationale Wegwanderung, internationale Zuwanderung und interkantonale Wanderungsbilanz. Die Korrekturfaktoren und Verteilungsschlüssel wurden anhand der Bevölkerungs-

daten von Statistik Aargau für den Zeitraum 2013–2019 geschätzt. Frühere Daten wurden nicht berücksichtigt, da ab 2013 das Datenerhebungsverfahren geändert wurde, um es an die BFS-Methodik anzupassen.

1.3.1 Sterblichkeit

Annahmen

Das BFS rechnet damit, dass die Lebenserwartung aufgrund eines immer gesünderen Lebensstils und einer verbesserten medizinischen Versorgung weiter leicht steigen wird (Bundesamt für Statistik, 2020). Männer, die derzeit einen weniger gesunden Lebensstil haben als Frauen, werden voraussichtlich weiter zu den Frauen aufschliessen. Es wird daher erwartet, dass ihre Lebenserwartung stärker zunehmen wird als jene der Frauen. Diese Steigerungsrate ist jedoch langsamer als in der Vergangenheit.

Regionalisierung

Die vom BFS für den Kanton Aargau geschätzte prospektive Sterbewahrscheinlichkeit wurde für alle räumlichen Einheiten ohne Anpassung verwendet, da die Sterblichkeit in Raum und Zeit ein sehr stabiler demografischer Parameter ist.

1.3.2 Fruchtbarkeit

Annahmen

Das BFS erwartet für die nächsten Jahrzehnte einen leichten Anstieg der Geburtenziffer (Bundesamt für Statistik, 2020). Obwohl erwartet wird, dass Frauen später Kinder bekommen und die Familien kleiner sein werden, führen familienfreundliche Massnahmen und berufliche Gleichberechtigung dennoch zu einer leicht höheren Geburtenziffer.

Regionalisierung

Die Fruchtbarkeit wurde durch einen Korrekturfaktor angepasst, so dass der Anteil der Geburten in jeder räumlichen Einheit derselbe bleibt wie im Zeitraum 2013–2019.

1.3.3 Wanderung

Die Wanderung ist ein besonderer Parameter, der sich aus internationaler Zuwanderung, internationaler Wegwanderung und der interkantonalen Wanderungsbilanz zusammensetzt. Es ist zu präzisieren, dass die internationale Zuwanderung den Zuzug von Schweizern und Ausländern aus dem Ausland in die Schweiz beschreibt. Ein internationaler Zuwanderer ist also nicht unbedingt ein Ausländer. Ebenso ist ein Zuwanderer aus einem anderen Kanton nicht unbedingt ein Schweizer.

Annahmen

Der Hauptunterschied zwischen dem bisherigen (AG2013) und dem aktuellen (AG2020) Bevölkerungsmodell betrifft die Annahme der Wanderung. Im AG2013-Modell wurde keine explizite Hypothese zur Wanderungsentwicklung aufgestellt (Statistik Aargau, 2013). Die durchschnittliche Wanderungsbilanz der vier Jahre vor 2013 wurde als Parameter für die Modellprojektion bis und mit 2019 verwendet. Für die Entwicklung ab 2013 wurde der Durchschnittswert der Wanderungsbilanz von 2003 bis 2012 als Parameter verwendet. Durch die Verwendung des vergangenen Durchschnittswertes wurde die implizite Annahme getroffen, dass sich das System weiterhin so verhalten wird wie in der Vergangenheit.

Im Gegensatz dazu stellt die Bevölkerungsprojektion des BFS im 2020 explizite Hypothesen über die Entwicklung der Wanderung auf (Bundesamt für Statistik, 2020). Die projizierte Wanderungsbilanz berücksichtigt das fortschreitende Ausscheiden der Baby-Boomer aus dem Berufsleben in der nächsten Dekade und die daraus resultierende steigende Nachfrage nach Arbeitskräften. Diese Nachfrage wird vor allem durch Zuwanderung aus dem Ausland gedeckt, da sie nur teilweise lokal kompensiert oder durch Automatisierungen reduziert werden kann. In den BFS-Projektionen für den Kanton Aargau folgt die Wanderungsbilanz-Kurve der "Babyboomer-Welle" und steigt zunächst von 6'350 Personen im Jahr 2019 auf einen Höchststand von 6'900 Personen im Jahr 2030 (Referenzszenario; Abbildung G2 von Statistik Aargau, 2020). Der Ausgangswert für 2019 entspricht der mittleren Wanderungsbilanz in der STATPOP-Statistik über den Zeitraum 2010 bis 2017. Zwischen 2030 und 2040 wird die Wanderungsbilanz von 6'900 Personen allmählich abnehmen und sich bei 5'000 Personen stabilisieren, bis 2050 bleibt sie auf diesem Niveau. Für das neue AG2020-Modell wurden diese Annahmen über die zukünftige Wanderungsbilanz übernommen (mit Ausnahme des Jahres 2020 wegen der Anpassungen an die COVID-19-Pandemie).

Regionalisierung

Internationale Wegwanderung

Die vom BFS für den Kanton Aargau geschätzten internationalen Wegwanderungsraten wurden im AG2020-Modell mit einem Korrekturfaktor angepasst, so dass der Anteil der internationalen Wegwanderung in jeder Region gleich hoch bleibt wie im Zeitraum 2013–2019. Damit konnte der Tatsache Rechnung getragen werden, dass gewisse Regionen eine höhere Wegwanderung aufweisen als andere. Würde zum Beispiel die internationale Wegwanderungsrate auf kantonaler Ebene 1 Prozent betragen und die Kantonsbevölkerung 100'000 Personen umfassen, dann würden 1'000 Personen den Kanton verlassen. Diese Rate kann auf jede Region innerhalb des Kantons angewandt werden, so dass von einer Region mit 100 Einwohnern 1 Person und von einer Region mit 300 Einwohnern 3 Personen den Kanton verlassen würden. Wenn tatsächlich 2 Wegwanderer aus der Region mit 100 Einwohnern und 1 Wegwanderer aus der Region mit 300 Einwohnern gegangen sind, dann haben diese Regionen eine andere Wegwanderungsrate als der Kanton. Somit trägt die erste Region 2/1'000 (statt 1/1'000) zur Wegwanderung bei, die zweite Region entsprechend nur 1/1'000 (statt 3/1'000). Ein Korrekturfaktor von 2 (2/1) kann auf die Region mit 100 Einwohnern und ein Korrekturfaktor von 1/3 auf die Region mit 300 Einwohnern angewandt werden, um regionale Unterschiede widerzuspiegeln.

Internationale Zuwanderung

Das BFS schätzte für den Kanton eine absolute internationale Zuwanderung und keine Rate wie bei der internationalen Wegwanderung. Dies bedeutet, dass ein Verteilungsschlüssel erforderlich ist, um die Zuwanderung auf die verschiedenen Regionen innerhalb des Kantons zu verteilen. Dieser Verteilungsschlüssel basiert auf den Zuwanderungsmustern im Zeitraum 2013–2019. Der Anteil der Zuwanderung in jeder Region im Verhältnis zur kantonalen Zuwanderung wurde nach Alter, Geschlecht und Nationalität berechnet und als konstanter Verteilungsschlüssel in der Projektion verwendet. Zum Beispiel seien in der Vergangenheit 100 Schweizer Männer im Alter von 40 Jahren aus dem Ausland in den Kanton Aargau gekommen. Davon haben sich 2 in einer bestimmten Region niedergelassen. Das bedeutet, dass 2 Prozent der internationalen Zuwanderer mit diesem Profil sich in dieser Region niedergelassen haben. In den Projektionen werden sich also 2 Prozent der aus dem Ausland stammenden Schweizer Männer im Alter von 40 Jahren dort niederlassen.

Interkantonale Wanderungsbilanz

Die interkantonale Wanderungsbilanz wurde ebenso wie die internationale Zuwanderung vom BFS als absolute Zahl zur Verfügung gestellt. Auch hier wurde ein Verteilungsschlüssel geschätzt. Der durchschnittliche Anteil der interkantonalen Nettozuwanderer, die sich im Zeitraum 2013–2019 in den verschiedenen Regionen niedergelassen haben, wurde berechnet. Dieser Anteil wurde dann als Verteilungsschlüssel in der Bevölkerungsprojektion verwendet, wobei die Werte über das gesamte Projektionsfenster konstant gehalten werden. Wenn zum Beispiel in den effektiven Daten der Anteil der interkantonalen Nettozuwanderer, die sich in einer bestimmten Region niederlassen, 3 Prozent der im Kanton Aargau ankommenden interkantonalen Nettozuwanderer ausmacht, dann würde das AG2020-Modell dieser Region 3 Prozent der interkantonalen Nettozuwanderer zuweisen.

1.3.4 Einbürgerung

Annahmen

Die Einbürgerung ist ein demografischer Parameter, der sich nicht auf die Bevölkerung, sondern auf die Bevölkerungsstruktur auswirkt. Das BFS geht davon aus, dass aufgrund der verschärften Beschränkung der Einbürgerungsbedingungen ein kleinerer Teil der ausländischen Bevölkerung die Einbürgerung beantragen wird (Bundesamt für Statistik, 2020). Mit zunehmender Grösse der Ausländerbevölkerung nimmt jedoch das Reservoir potenzieller Kandidaten zu. Dies hat zur Folge, dass die absolute Zahl der Einbürgerungen relativ hoch bleibt.

Regionalisierung

Statistik Aargau hat die vom BFS für den Kanton Aargau geschätzten Einbürgerungsraten für alle Regionen ohne Anpassung verwendet.

1.4 Unsicherheiten

1.4.1 Szenarien

Eine Bevölkerungsprojektion kann sich ausschliesslich auf Daten aus der Vergangenheit stützen. Dies setzt jedoch implizit voraus, dass sich das System weiterhin so verhalten wird wie in der Vergangenheit. Eine vernünftigere Alternative zu einem rein daten-basierten Modell ist die Verwendung von Vergangenheitsdaten als Referenzwerte **und** die Anpassung der demografischen Parameter der Projektion an Hypothesen über soziale, politische und wirtschaftliche Trends.

Die Aufstellung von Hypothesen über die Zukunft ist jedoch zwangsläufig mit Unsicherheiten verbunden. Bevölkerungsprojektionen sind keine Vorhersagen. Sie beschreiben eher eine plausible Entwicklung der Bevölkerung in den nächsten Dekaden und hängen von der Verwirklichung der zugrundeliegenden Hypothesen ab, die die demografischen Parameter beeinflussen. Dabei wird eine Hypothesenkombination als Szenario bezeichnet. Bei der Erstellung von Bevölkerungsprojektionen wird typischerweise mehr als ein Zukunftsszenario in Betracht gezogen, um der Unsicherheit der Hypothesen Rechnung zu tragen. Drei Hauptszenarien werden erstellt: Referenz, "hoch" und "tief" (**Tabelle 1**). Beim Szenario "hoch" wird ein etwas höherer Wanderungssaldo, eine leicht steigende Geburtenhäufigkeit und eine schneller steigende Lebenserwartung angenommen. Im Szenario "tief" wird ein etwas tieferer Wanderungssaldo, eine leicht sinkende Geburtenhäufigkeit und eine langsamer steigende Lebenserwartung betrachtet.

Während Fruchtbarkeit und insbesondere Sterblichkeit über die Zeit relativ stabil bleiben, ist Wanderung ein besonders schwierig zu erfassender demografischer Parameter. Er wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, die auf unterschiedlichen räumlichen Skalen auftreten. Wanderung ist daher der Parameter, der in den betrachteten Szenarien am stärksten variiert wird.

Tabelle 1: Demografische Indikatoren im Jahr 2050 für die drei Hauptszenarien des AG2020 Modells[1]

Kategorie	Indikatoren	Referenz-szenario 2050	Szenario "hoch" 2050	Szenario "tief" 2050
Fruchtbarkeit	Durchschnittliche Anzahl Kinder pro Frau	1,67	1,87	1,46
Sterblichkeit	Lebenserwartung für Männer (Jahre)	87,4	89,2	85,8
	Lebenserwartung für Frauen (Jahre)	89,3	90,7	88,0
Wanderung	Internationale Wanderungs-bilanz	3'545	5'542	1'547
	Interkantonale Wanderungs-bilanz	1'500	1'500	1'500
Einbürgerung	Anzahl Einbürgerungen	2'888	3'283	2'494

[1] Datenquelle: Bundesamt für Statistik (2020)

Kasten 1 COVID-19-Pandemie und Unsicherheit

Die Gesundheitskrise und die nachfolgende Wirtschaftskrise, die durch die COVID-19-Pandemie im Jahr 2020 verursacht wurde, sind unerwartete Grossereignisse, die die Stabilität und Erholungsfähigkeit des Systems in Frage stellen. Ein demografisches Modell, wie es hier angewendet wird, kann das zukünftige Auftreten von unerwarteten Ereignissen dieser Grössenordnung nicht berücksichtigen.

Das demografische Modell des BFS wurde vor dem Ausbruch der COVID-19-Pandemie aufgebaut. Statistik Aargau befindet sich jedoch in der einzigartigen Situation, dass Teilinformationen über die Auswirkungen der Pandemie bereits verfügbar sind. Auch wenn Mitte 2020 die potenziellen langfristigen Auswirkungen noch unklar sind, kann die aktuelle Entwicklung für unsere Hypothesen für 2020 berücksichtigt werden.

Trotz COVID-19-Pandemie wird im Kanton Aargau für das erste Quartal des Jahres 2020 keine abnormal erhöhte Sterblichkeit ("Übersterblichkeit") gemeldet. Aus diesem Grund wurde keine Korrektur der Sterblichkeit vorgenommen. Andererseits wird erwartet, dass die aktuellen und zukünftigen Auswirkungen der COVID-19-Pandemie auf die Wirtschaft die Wanderung verringern werden. Basierend auf den verfügbaren Daten zur internationalen Zu- und Wegwanderung für die Monate März und April (2020) gehen wir davon aus, dass die internationale Zuwanderung um 10 Prozent und die internationale Wegwanderung im Jahr 2020 um 5 Prozent gegenüber den Werten, die vor dem Ausbruch der Pandemie für 2020 erwartet wurden, zurückgehen wird. Dies wird im Referenzszenario, im Szenario "hoch" und im Szenario "tief" berücksichtigt.

Beschränkung der Szenarien zur Berücksichtigung der Unsicherheit

Nicht alle Unsicherheitsquellen werden von den Szenarien "hoch" und "tief" erfasst. Diese vom BFS entworfenen Szenarien berücksichtigen die Unsicherheit bezüglich der Hypothesen zu Sterblichkeit, Fruchtbarkeit und Wanderung auf kantonaler Ebene. Sie berücksichtigen nicht die mit der Regionalisierung verbundene Unsicherheit. Dies bedeutet zum Beispiel, dass die Werte des Verteilungsschlüssels für die internationale Zuwanderung für alle drei Szenarien gleich sind. Auf regionaler Ebene geht die Hauptquelle der Unsicherheit jedoch von der Regionalisierung aus. Die Anwendung der Szenarien "hoch" und "tief" auf regionaler Ebene erweckt den falschen Eindruck, dass das Modell auf regionaler Ebene gut abschneidet, da die von den beiden Szenarien definierten Ober- und Untergrenzen relativ nahe beieinanderliegen. Dies ist falsch, weil die beiden Szenarien die mit der Regionalisierung verbundene Unsicherheit nicht berücksichtigen. Obwohl es technisch möglich ist, die Unsicherheit aufgrund der Regionalisierung der Parameter zu schätzen, wird dies selten gemacht. Sie ist rechenintensiver, erhöht die Komplexität des Modells weiter und erschwert die Interpretation der Ergebnisse. Aus all diesen Gründen wurde davon abgesehen, diesen Komplexitätsgrad anzugeben.

1.4.2 Genauigkeit der Projektionen

Die Berücksichtigung von Unsicherheiten durch den Aufbau mehrerer Szenarien ist nicht dasselbe wie die Bewertung der Genauigkeit von Projektionen. Obwohl Projektionen keine Vorhersagen sind, besteht das Ziel einer Projektion dennoch darin, die effektive zukünftige Bevölkerungsentwicklung so gut wie möglich zu erfassen. Die Genauigkeit aktueller Bevölkerungsprojektionen kann nicht direkt bewertet werden, aber die Leistung früherer Projektionen kann untersucht werden. Dies kann auf verschiedenen räumlichen Ebenen (z.B. Kantons-, Bezirks-, Gemeindeebene) und für verschiedene Bevölkerungsgruppen (z.B. gruppiert nach Alter, Geschlecht oder Nationalität) erfolgen.

Im Allgemeinen sind Bevölkerungsprojektionen über die zukünftige Bevölkerungsgrösse tendenziell weniger genau:

- Auf kleiner räumlicher Ebene bei kleiner Bevölkerungszahl, weil sich die Abweichungen von den Erwartungen auf regionaler Ebene bei der Aggregation auf kantonaler Ebene tendenziell gegenseitig aufheben;
- Bei kleineren Untergruppen der Bevölkerung, aus den gleichen Gründen wie bei der räumlichen Ebene;
- Für jüngere und ältere Altersgruppen, weil falsche Annahmen über Fruchtbarkeit und Sterblichkeit sich bei älteren und jüngeren Altersgruppen stärker auswirken;
- Für längere Zeiträume, wegen der sich im Laufe der Zeit verstärkenden Effekte von falschen Annahmen.

Dies bedeutet, dass Projektionen auf Gemeindeebene weniger genau sind als Projektionen auf einer höheren räumlichen Ebene. Dies wird ersichtlich, wenn man die Bevölkerungsprojektion des AG2013-Modells auf Gemeindeebene mit effektiven Gemeindedaten vergleicht: Die Ungenauigkeit ist für kleinere Gemeinden höher als für grössere Gemeinden. Bei der Planung auf regionaler Ebene sollte diese Ungenauigkeit berücksichtigt werden.

KASTEN 2 Warum sind Bevölkerungsprojektionen für kleine Bevölkerungen weniger genau?

Kleine Bevölkerungszahlen erhöhen die potenziellen Auswirkungen kleinräumiger und zufälliger Einflüsse. In einer kleinen Bevölkerung kann ein unerwartetes Ereignis grosse Auswirkungen haben, während dasselbe unerwartete Ereignis, das in einer grösseren Bevölkerung auftritt, abgepuffert werden kann. Darüber hinaus sind kleine Bevölkerungen mit hohen Wachstumsraten besonders schwierig zu projizieren, da ein höheres Wachstum einen grösseren Spielraum für ein langsameres Wachstum impliziert. So führt z.B. der Bau einer hohen Anzahl neuer Wohnungen in der Gemeinde Staufen zu einem erheblichen Anstieg der Wanderungsbilanz (von 79 im Jahr 2018 auf 483 im Jahr 2019, was einer Wanderungsbilanzzunahme von mehr als + 500% entspricht). Eine Entwicklung dieser Grössenordnung hätte für die Gemeinde Baden prozentual wesentlich geringere Auswirkungen, da ein besonders attraktiver und schnell wachsender Teil der Gemeinde (vergleichbar mit Staufen) durch eine geringere Attraktivität und eine geringere Wandungsbilanz anderer Gemeindeteile wieder aufgehoben werden könnte. Zudem ist die Annahme, dass sich das beeindruckende Wachstumstempo von Staufen auch in Zukunft fortsetzen wird, wahrscheinlich falsch, da es mit einem punktuellen Ereignis verbunden war: den Neubauten.

1.5 Mathematische Beschreibung

1.5.1 Ein zeitvariantes Matrix-Bevölkerungsmodell

Im Modell AG2020 wurde das vom BFS bereitgestellte Modell in eine Matrixform umgeschrieben. Dazu wurde die Projektion der Bevölkerung in zwei aufeinanderfolgenden Schritte zerlegt.

Für $\boldsymbol{T}$, die Survival- und Transitionsmatrix, $\boldsymbol{F}$, die Fruchtbarkeitsmatrix, $\mathbf{p}_{\mathrm{n},0-100} = \begin{pmatrix} p_{n,0} \\ p_{n,1} \\ \dots \\ p_{n,100} \end{pmatrix}$, der vollständige Bevölkerungsvektor im Zeitschritt n von Alter 0 bis 100, $\mathbf{p}_{\mathrm{n},1-100} = \begin{pmatrix} p_{n,0} \\ p_{n,1} \\ \dots \\ p_{n,100} \end{pmatrix}$, der Bevölkerungsvektor im Zeitschritt n ohne die 0-Jährigen ($p_{\mathrm{n},0} = 0$), $\mathbf{p}_{\mathrm{n},0} = \begin{pmatrix} p_{n,0} \\ p_{n,1} \\ \dots \\ p_{n,100} \end{pmatrix}$, der Bevölkerungsvektor im Zeitschritt n mit jenen 0-Jährigen ($p_{\boldsymbol{n},\boldsymbol{i}} = 0, \mathrm{mit}\ i > 0$), $\mathbf{w}_{\mathrm{n},1-100} = \begin{pmatrix} w_{n,0} \\ w_{n,1} \\ \dots \\ w_{n,100} \end{pmatrix}$, der internationale Zuwanderungsvektor im Zeitschritt n ohne die 0-Jährigen ($p_{\mathrm{n},0} = 0$), $\mathbf{w}_{\mathrm{n},0} = \begin{pmatrix} w_{n,0} \\ w_{n,1} \\ \dots \\ w_{n,100} \end{pmatrix}$, der internationale Zuwanderungsvektor im Zeitschritt n nur mit den 0-Jährigen ($w_{\boldsymbol{n},\boldsymbol{i}} = 0, \mathrm{mit}\ i > 0$), $\mathbf{k}_{\mathrm{n},1-100} = \begin{pmatrix} k_{n,0} \\ k_{n,1} \\ \dots \\ k_{n,100} \end{pmatrix}$ der interkantonale Wanderungsbilanzsvektor im Zeitschritt n ohne die 0-Jährigen ($k_{\mathrm{n},0} = 0$), $\mathbf{k}_{\mathrm{n},0} = \begin{pmatrix} k_{n,0} \\ k_{n,1} \\ \dots \\ k_{n,100} \end{pmatrix}$, der interkantonale Wanderungsbilanzsvektor im Zeitschritt n nur mit den 0-Jährigen ($k_{\boldsymbol{n},\boldsymbol{i}} = 0, \mathrm{mit}\ i > 0$), und $\mathbf{q}_{\mathrm{n},1-100} = \begin{pmatrix} q_{n,0} \\ q_{n,1} \\ \dots \\ q_{n,100} \end{pmatrix}$ der Vektor der prospektiven Sterbewahrscheinlichkeit im Zeitschritt n ohne die 0-Jährigen ($q_{\mathrm{n},0} = 0$), $\mathbf{q}_{\mathrm{n},0} = \begin{pmatrix} q_{n,0} \\ q_{n,1} \\ \dots \\ q_{n,100} \end{pmatrix}$, der Vektor der prospektiven Sterbewahrscheinlichkeit im Zeitschritt n nur mit den 0-Jährigen ($q_{\boldsymbol{n},\boldsymbol{i}} = 0, \mathrm{mit}\ i > 0$) gilt:

Formel 1

$$\mathbf{T} \otimes \mathbf{p}_{\mathrm{n}-1,0-100} + \left[(\mathbf{w}_{\mathrm{n},1-100} + \mathbf{k}_{\mathrm{n},1-100}) \circ \left(1 - \tfrac{1}{2}\, \mathbf{q}_{\mathrm{n},1-100}\right) \right] = \mathbf{p}_{\mathrm{n},1-100}$$

$$\mathbf{F} \otimes \frac{1}{2} (\mathbf{p}_{\mathrm{n},1-100} + \mathbf{p}_{\mathrm{n}-1,0-100}) + \left[(\mathbf{w}_{\mathrm{n},0} + \mathbf{k}_{\mathrm{n},0}) \circ \left(1 - \tfrac{2}{3}\, \mathbf{q}_{n,0}\right) \right] = \mathbf{p}_{\mathrm{n},0}$$

$$\mathbf{p}_{\mathrm{n},1-100} + \mathbf{p}_{\mathrm{n},0} = \mathbf{p}_{\mathrm{n},0-100}$$

Dabei ist $\otimes$ das Matrix-Multiplikationssymbol.

1.5.2 Matrizen-Inhalt

Die Matrizen $\boldsymbol{T}$ und $\boldsymbol{F}$ sind m x m-Matrizen, wobei m die Anzahl der Altersklassen in dem AG2020-Modell ist (hier 101). Sie können also aus 4 x 4 = 16 Submatrizen zusammengesetzt betrachtet werden, da die Bevölkerung neben dem Alter auch nach Geschlecht und Nationalität (Schweizer und Ausländer) strukturiert ist.

Für die Matrix $\boldsymbol{T}$ dieser 16 Matrizen sind 10 leer, weil sie unmögliche Übergänge darstellen (**Tabelle 2**). Die anderen 6 sind nur auf der subdiagionalen und der unteren rechten Zelle voll (siehe typische Matrix $\boldsymbol{A}$). Die Individuen können überleben, in der Bevölkerung bleiben und ihre ursprüngliche Staatsangehörigkeit behalten (Submatrizen $\boldsymbol{A}$-$\boldsymbol{D}$), oder sie können überleben, in der Bevölkerung bleiben und die Schweizer Staatsangehörigkeit erwerben (Submatrizen $\boldsymbol{G}$-$\boldsymbol{H}$). Die Matrix $\boldsymbol{A}$ setzt sich aus den Elementen $a_{j,j-1}$zusammen, deren Positionen durch die Indizes gegeben sind. Die Elemente $a_{j,j-1}$ befinden sich in Zeile j, Spalte $j-1$.

Tabelle 2: Tabellarische Darstellung der Matrix T und ihrer Submatrizen. CH steht für Schweizerische Staatsangehörigkeit, AUS für Ausländische Staatsangehörigkeit, M für Männer und F für Frauen. Die Matrix wird von oben nach links gelesen: zum Beispiel kann ein Mann mit ausländischer Staatsangehörigkeit zum Zeitpunkt n-1 durch Einbürgerung ein Mann mit schweizerischer Staatsangehörigkeit zum Zeitpunkt n werden (Matrix G).

n \ n-1	CH M	CH F	AUS M	AUS F
CH M	A	0	G	0
CH F	0	B	0	H
AUS M	0	0	C	0
AUS F	0	0	0	D

$$\boldsymbol{A} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_{2,1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_{3,2} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & a_{101,100} & a_{101,101} \end{pmatrix}$$

Für die Matrix $\boldsymbol{F}$ sind 10 Submatrizen leer, weil sie eine unmögliche Fortpflanzung darstellen: Nur Frauen können gebären (**Tabelle 3**). Die Submatrizen $\boldsymbol{L}$ und $\boldsymbol{O}$ repräsentieren Schweizer Neugeborene mit Schweizer Müttern. Die Submatrizen $\boldsymbol{R}$ und $\boldsymbol{S}$ repräsentieren Schweizer Neugeborene mit ausländischen Müttern (wenn der Vater Schweizer ist) und die Submatrizen $\boldsymbol{U}$ und $\boldsymbol{V}$ ausländische Neugeborene mit ausländischen Müttern. Diese Submatrizen sind leer, ausser in der ersten Zeile von Spalte 16 = 15 + 1 bis 50 = 49 + 1, d.h. in den Jahren, in denen Frauen in diesem Modell als fruchtbar gelten (siehe Beispielsmatrix $\boldsymbol{L}$ unten).

Tabelle 3: Tabellarische Darstellung der Matrix F und ihrer Submatrizen. CH steht für Schweizerische Staatsangehörigkeit, AUS für Ausländische Staatsangehörigkeit, M für Männer und F für Frauen. Die Matrix wird von oben nach links gelesen: zum Beispiel kann eine in der Bevölkerung anwesende Frau mit ausländischer Staatsangehörigkeit zum Zeitpunkt n-1 ein Schweizer Kind zur Welt bringen, das zur Bevölkerung zum Zeitpunkt n hinzukommt (Matrix S).

n \ n-1	CH M	CH F	AUS M	AUS F
CH M	0	$\boldsymbol{L}$	0	$\boldsymbol{R}$
CH F	0	**O**	0	$\boldsymbol{S}$
AUS M	0	0	0	$\boldsymbol{U}$
AUS F	0	0	0	$\boldsymbol{V}$

$$\boldsymbol{L} = \begin{pmatrix} 0 & \cdots & 0 & l_{1,16} & l_{1,17} & \cdots & l_{1,50} & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix}$$

Wenn man den Inhalt von **Tabelle 2** und **Tabelle 3** durch die Modell-Gleichungen ersetzt, erhält man für die Transitionsmatrix (Matrix $\boldsymbol{T}$):

Formel 2

Für $\boldsymbol{A}$, $a_{j,j-1} = \left(1 - q^{p}_{n,i,CH}\right) - \left(e_{n,i}\right)\left(1 - \frac{q^{p}_{n,i,\mathrm{CH}}}{2}\right)$

Für $\boldsymbol{B}$, $b_{j,j-1} = \left(1 - q^{p}_{n,i,CH}\right) - \left(e_{n,i}\right)\left(1 - \frac{q^{p}_{n,\mathrm{CH}i}}{2}\right)$

Für $\boldsymbol{C}$, $c_{j,j-1} = \left(1 - q^{p}_{n,i,\mathrm{AUS}}\right) - \left(e_{n,i} + a_{n,i}\right)\left(1 - \frac{q^{p}_{n,\mathrm{i},\mathrm{AUS}}}{2}\right)$

Für $\boldsymbol{D}$, $d_{j,j-1} = \left(1 - q^{p}_{n,i,\mathrm{AUS}}\right) - \left(e_{n,i} + a_{n,i}\right)\left(1 - \frac{q^{p}_{n,i,\mathrm{AUS}}}{2}\right)$

Für $\boldsymbol{G}$, $g_{j,j-1} = \left(a_{n,i}\right)\left(1 - \frac{q^{p}_{n,\mathrm{i},CH}}{2}\right)$

Für $\boldsymbol{H}$, $\mathrm{h}_{j,j-1} = \left(a_{n,i}\right)\left(1 - \frac{q^{p}_{n,\mathrm{i},CH}}{2}\right)$

Dabei bezieht sich der erste Index (n) auf den Zeitschritt, der zweite (i) auf das Alter und der letzte auf die Staatsangehörigkeit (entweder CH für Schweizer oder AUS für Ausländer).

Für die Fruchtbarkeitsmatrix, $\boldsymbol{F}$, für π_M den Anteil Männer und π_F den Anteil Frauen, und $f_{n,i}$ die Fruchtbarkeit einer Frau zum Zeitpunkt n des Alters i gilt:

Formel 3

für i = {15, 49}

Für $\boldsymbol{L}$, $l_{1,i+1} = \pi_M f_{n,i,CH}\left[\left(1 - q^{p}_{n,0,CH}\right) - \left(e_{n,0,\,\mathrm{CH}}\right)\left(1 - \frac{2}{3} q^{p}_{n,0,\,\mathrm{CH}}\right)\right]$

Für $\boldsymbol{O}$, $o_{1,i+1} = \pi_F f_{n,i,CH}\left[\left(1 - q^p_{n,0,CH}\right) - \left(e_{n,0,\,\mathrm{CH}}\right)\left(1 - \frac{2}{3}q^p_{n,0,\,\mathrm{CH}}\right)\right]$

Für $\boldsymbol{R}$, $r_{1,i+1} = \pi_M f_{n,i,AUS}\alpha\left[\left(1 - q^p_{n,0,CH}\right) - \left(e_{n,0,\,\mathrm{CH}}\right)\left(1 - \frac{2}{3}q^p_{n,0,\,\mathrm{CH}}\right)\right] + \pi_M f_{n,i,AUS}(\alpha - 1)\left[\left(a_{n,0}\right)\left(1 - \frac{2}{3}q^p_{n,0,\,\mathrm{CH}}\right)\right]$

Für $\boldsymbol{S}$, $s_{1,i+1} = \pi_F f_{n,i,AUS}\alpha\left[\left(1 - q^p_{n,0,CH}\right) - \left(e_{n,0,\,\mathrm{CH}}\right)\left(1 - \frac{2}{3}q^p_{n,0,\,\mathrm{CH}}\right)\right] + \pi_F f_{n,i,AUS}(\alpha - 1)\left[\left(a_{n,0}\right)\left(1 - \frac{2}{3}q^p_{n,0,\,\mathrm{CH}}\right)\right]$

Für $\boldsymbol{U}$, $u_{1,i+1} = \pi_M f_{n,i,AUS}(\alpha - 1)\left[\left(1 - q^p_{n,0,AUS}\right) - \left(e_{n,0,\mathrm{AUS}} + a_{n,0}\right)\left(1 - \frac{2}{3}q^p_{n,0,\,\mathrm{AUS}}\right)\right]$

Für $\boldsymbol{V}$, $v_{1,i+1} = \pi_F f_{n,i,AUS}(\alpha - 1)\left[\left(1 - q^p_{n,0,AUS}\right) - \left(e_{n,0,\mathrm{AUS}} + a_{n,0}\right)\left(1 - \frac{2}{3}q^p_{n,0,\,\mathrm{AUS}}\right)\right]$

2 Abkürzungen und Begriffe

Abkürzungen

BFS:	Bundesamt für Statistik
AG2013:	Altes Aargauer Bevölkerungsprojektionsmodell, 2013 von Statistik Aargau publiziert.
AG2020:	Neues Aargauer Bevölkerungsprojektionsmodell, 2020 von Statistik Aargau erstellt.
STATPOP:	Statistik der Bevölkerung und der Haushalte des Bundesamtes für Statistik. Sie liefert Informationen zum Bestand und zur Struktur der Wohnbevölkerung in der Schweiz sowie zu den Bevölkerungsbewegungen.

Zentrale Begriffe

Bevölkerungsprojektion:	In diesem Dokument wird der Begriff "Bevölkerungsprojektion" dem Begriff "Bevölkerungsprognose" vorgezogen: Der Begriff "Prognose" impliziert, dass die Modellierer wie bei einer Wettervorhersage recht sichere Aussagen über die zukünftige Bevölkerungsentwicklung treffen können. Dies ist jedoch nicht der Fall. Eine Bevölkerungsprojektion hingegen liefert eine Vorstellung davon, wie die zukünftige Grösse und Struktur einer Bevölkerung aussehen könnte – und nicht wie sie aussehen wird. Projektionen gehen von hypothetischen Annahmen der Bevölkerungsentwicklung aus und ermöglichen eine Analyse der Bevölkerungsentwicklung, soferen die Annahmen korrekt sind. Sie sind daher keine Prognosen. Politische, soziale und wirtschaftliche Veränderungen sowie unvorhergesehene Ereignisse (z.B. Epidemien, Klimawandel) in den kommenden Jahren können die Trendentwicklungen, die in den Projektionen nicht berücksichtigt werden, erheblich beeinflussen.
Szenario:	Eine Bevölkerungsprojektion basiert auf dem Wissen über die Vergangenheit, welches die Annahmen über die zukünftige Entwicklung bestimmt. Die Annahmen umfassen die vier Komponenten Fruchtbarkeit, Sterblichkeit, Wanderung und Einbürgerung. Für jede Komponente werden unterschiedliche Annahmen getroffen, die verschiedene Szenarien darstellen.
Bevölkerung:	Der Begriff "Bevölkerung" bezieht sich in diesem Dokument auf die ständige Wohnbevölkerung. Als ständige Wohnbevölkerung zählen seit dem 31.12.2012 die Personen mit Hauptwohnsitz in der jeweiligen Gemeinde und einer schweizerischen Staatsangehörigkeit oder einer ausländischen Staatsangehörigkeit und einer (kumulierten) Aufenthaltsdauer von mindestens zwölf Monaten.

3 Literaturverzeichnis

Bundesamt für Statistik; Schweizerische Eidgenossenschaft (2020): *Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz und der Kantone 2020-2050*. Neuenburg.

Statistik Aargau; Kanton Aargau (2013): *Bevölkerungsprognose 2013*. Aarau.

Dr. Tina Cornioley

Dr. Jan Wunder

Dr. Andrea R. Plüss