



nach W. Shepherd, The ethnic groups of Austria-Hungary in 1910, Historical Atlas, Henry Holt and Company (1911)

ANGEWANDTE PHYSIK

Was treibt den Sprachwechsel?

Methoden der Physik helfen bei der Suche nach den Gründen für den Sprachwechsel.

Gero Vogl und Katharina Prochazka

Die Ausbreitung von Teilchen ist in der Physik als Diffusion bekannt und lässt sich mathematisch beschreiben. In neuerer Zeit kommen zunehmend Anwendungen der Diffusion mit physikalischen Begriffen bzw. mathematischen Formeln in den Lebenswissenschaften, der Archäologie, Ethnologie und Soziologie oder zur Beschreibung der Ausbreitung von Epidemien in den Blick.

Linguisten befassen sich schon lange mit dem Sprachwechsel, also der Diffusion einer Sprache in das Gebiet einer anderen [1]. Aber es waren schließlich Physiker und Mathematiker, die ihre Werkzeuge auf diesem Gebiet eingesetzt haben [2]. Noch vor wenigen Jahren beklagten Protagonisten um Dietrich Stauffer [3], dass ein Gutachter der physikalischen Behandlung von Sprachproblemen Reduktionismus vorwarf. Man bewege sich „in einem Dickicht voll Unterholz“, so ein Linguist 2001 [4].

Diese Skepsis dürfte sich seither abgeschwächt haben. Mitunter gilt es sogar, die Euphorie der Linguisten zu bremsen, damit sie nicht zu viel von den zweifellos reduktionistischen Methoden der Physik erwarten [5]. Der Reduktionismus ist in den Naturwissenschaften aber sehr erfolgreich. Daher sollte es erlaubt sein, mathematisch-naturwissenschaftliche Verfahren und Denkmuster in anderen Disziplinen zu erproben.

Unser Ziel bestand darin, die Untersuchungen auf reale detaillierte Daten auszudehnen. Dazu haben wir nach möglichen Anwendungen gesucht. Sehr schnell stellte sich heraus, dass es für aktuelle linguistische Diffusionsprobleme wie Änderungen in der Jugendsprache, Eindiffusion von Englisch in unsere Alltagssprache – besonders interessant als die dominierende Sprache in unseren Labors oder auf Tagungen – an Daten über kürzere oder längere Zeiträume und noch dazu mit räumlicher Auflösung fast völlig man-

gelt. Wir hätten die Daten selbst erheben müssen, was leider unsere Möglichkeiten weit überstieg.

Aber es gibt fein aufgelöste Erhebungen zu den Sprachen im Europa des 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts. Der Vielvölker- und Vielsprachenstaat Österreich-Ungarn versuchte, die verschiedenen Ethnien und Sprachen unter einen Hut zu bringen – vor dem Hintergrund der gesetzlichen Gleichberechtigung aller „Volksstämme“ und deren Sprachen, wie sie in der Dezemberverfassung der Österreichisch-Ungarischen Monarchie von 1867 im Artikel 19 für die österreichische Hälfte festgelegt war. Dabei sollte jedes Kind in Cisleithanien die Möglichkeit haben, in seiner Muttersprache ausgebildet zu werden.

Ab 1880 fanden alle zehn Jahre Volkszählungen statt, in denen auch nach der Umgangs- bzw. Muttersprache gefragt wurde. Diese Erhebung war äußerst fein aufgelöst, in bergigen Gegenden auf Basis kleiner Weiler mit zuweilen nicht mehr als 20 Einwohnern. Wir konnten diese Daten mit großem Aufwand aus den eingescannten Ergebnissen der Volkszählungen ablesen und digitalisieren.¹⁾ Allerdings stellt sich die Frage, was mit „Umgangssprache“ gemeint ist und wie die Person, die für sich und ihre Familie den Fragebogen ausfüllt, diese Frage versteht. Und ist die Angabe korrekt oder handelt es sich um das Bekenntnis zu einer Sprache? Dies ist ein vielschichtiges Problem [6].

Ziel der Untersuchungen war es, Prognosen stellen zu können. Doch spätestens seit 1945 hat sich in der Sprachlandschaft ein Phasenübergang vollzogen, vielerorts schon 1918. Zudem haben manche als ethnisch einheitlich konzipierte Nachfolgestaaten des 1918 zerfallenen Habsburgerreichs ihre in Wahrheit komplexe ethnische und damit sprachliche Zusammensetzung nicht erfasst. Nach einigen bitteren Turbulenzen in der Zwischenkriegszeit und im Zweiten Weltkrieg nahm Österreich die Volkszählungen wieder auf und erfasste dabei auch die sprachlichen Minoritäten. Das sind im Wesentlichen die Kroaten im Burgenland und die Slowenen in Kärnten. Seit der Gastarbeiterzeit ist Türkisch die größte Minoritätssprache. Doch deren Zunahme erfolgte für die mathematische Erfassung des eventuellen Sprachwechsels über einen zu kurzen Zeitraum.

Seit 1200 Jahren ist Kärnten, das südlichste österreichische Bundesland, zweisprachig. Der wohl sehr dünn – vermutlich von slawisch sprechenden Menschen – besiedelte Norden Kärntens wurde damals von bairischen Einwanderern besiedelt, während der Süden slawischsprachig blieb. Dort gab es Dialekte, die seit etwa 1560 als slowenisch bezeichnet werden. Die Sprachgrenze zwischen

1) Die Volkszählungsdaten für die Zeit bis 1910 stammen von den statistischen Ämtern in Österreich-Ungarn, die späteren von jenen aus Österreich.

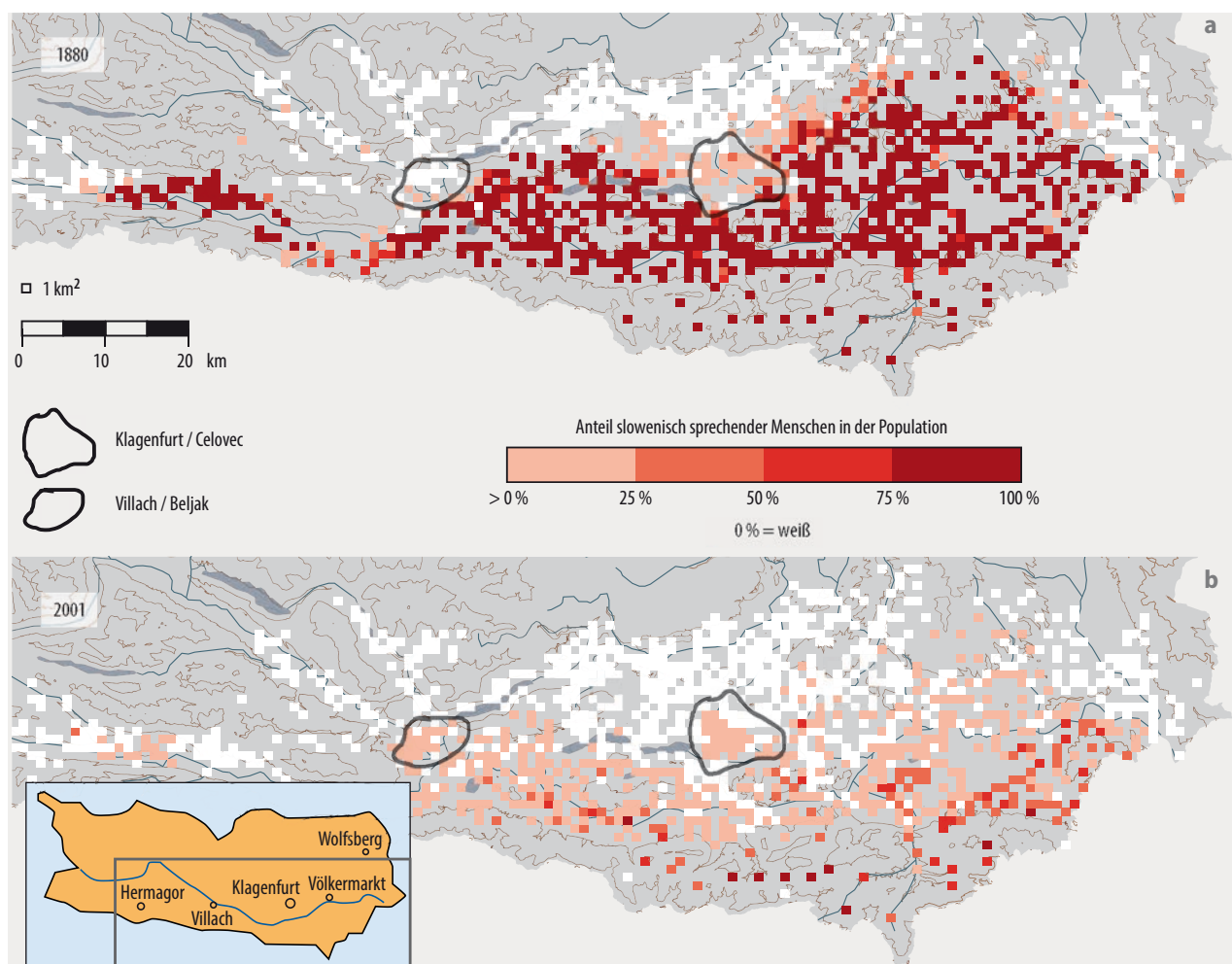


Abb. 1 Die Karte von Südkärnten zeigt den Prozentsatz slowenischsprachiger Personen nach Volkszählungen 1880 (a) und 2001 (b) bezogen auf Zellen von $1 \times 1 \text{ km}^2$. In weißen Zellen wurde ausschließlich deutsche Umgangssprache gemeldet. Das Inset zeigt eine Karte von Kärnten. Umrandet ist das Gebiet unserer Untersuchung.

Deutsch und Slowenisch bewegte sich seither langsam nach Süden.

Bei den Volkszählungen in Österreich-Ungarn gab es nicht die Möglichkeit, Zweisprachigkeit anzukreuzen, stattdessen musste sich jeder für eine Sprache entscheiden. In Kärnten standen Deutsch und Slowenisch zur Auswahl. Auch Dialekte wurden meist nicht erhoben. Diese starke Vereinfachung der Realität erleichtert aber immerhin die mathematische Auswertung. Für die Untersuchung haben wir ein feines Raster über Kärnten gelegt und das Land in Zellen zu $1 \times 1 \text{ km}^2$ unterteilt, in die wir die Zählergebnisse eingetragen haben (Abb. 1).

Modelle für den Sprachwechsel

Der britische Statistiker und Genetiker Ronald Aylmer Fisher hat schon in den 1930er-Jahren die Ausbreitung von Genen mit Wettbewerbsvorteil („advantageous genes“) mittels einer Reaktionsdiffusionsgleichung beschrieben. Das Fortschreiten der Reaktion nannte er „wave of advance“. Wir haben Fishers Modell verwendet, um die Ausbreitung einer Sprache mit Wettbewerbsvorteilen zu beschreiben (Infokasten). Dafür haben wir eine eindimensionale Reaktionsdiffusionsgleichung für die zeitliche Zunahme des Anteils der vorteilhaften Sprache, in Kärnten offenbar Deutsch, angesetzt. Ähnlich haben dies Kandler und Unger für die Sprachgrenze zwischen Englisch und Gälisch in Nordwestschottland getan [7].

In Kärnten bewegte sich die Sprachgrenze im Wesentlichen von Norden nach Süden, daher scheint eine eindimensionale Behandlung gerechtfertigt. Wir definieren als Sprachgrenze die Kurve, südlich derer mehr als 50 Prozent der Menschen Slowenisch als Umgangssprache angaben (Abb. 1a). Demnach hat sich die Sprachgrenze im Mittel über ihre ganze Länge in 30 Jahren um einen Kilometer nach Süden bewegt – praktisch gar nicht hinter Bergkämmen, erheblich schneller in der Ebene. Nach dem Zweiten Weltkrieg lässt sich keine Sprachgrenze mehr definieren (Abb. 1b). Die Zahl der slowenisch sprechenden Menschen hat seit 1910 so drastisch abgenommen, dass sich die Spra-

che auf Sprachinseln zurückgezogen hat. Daher ist statt eines makroskopischen Konzepts der Sprachgrenze eine mikroskopische Betrachtung notwendig.

Um den Zeitraum von 1880 bis 2001 zu beschreiben, simulieren wir die Entwicklung auf Basis der kleinsten erfassten Bevölkerungseinheiten, die wir in $1 \times 1 \text{ km}^2$ -Zellen gepackt haben und erzielen so eine detaillierte (mikroskopische) räumliche Beschreibung, wie es andere Autoren in der Vergangenheit ohne reale Daten versucht haben [3]. Dazu bedienen wir uns zellulärer Automaten (Infokasten). Wir verfolgen, wie die Sprecher in einzelnen Zellen ihr Sprachverhalten ändern. Diese mikroskopische Betrachtung berücksichtigt lokale Sonderfälle wie das abweichende Sprachverhalten in urbanen Gebieten oder das Vorhandensein von Schulen oder Pfarren mit slowenischer Sprache.

Zuerst ist eine Annahme nötig, was das Sprachverhalten verändert haben könnte. Sicherlich hängt das Behalten oder Verändern der Sprache mit ihrer Verwendbarkeit zusammen. Zudem ist wesentlich, wie viele Menschen angesprochen und verstanden werden können und welcher Anteil der Menschen im Umfeld einer Person für den sozialen oder beruflichen Austausch infrage kommt. Daher bietet sich ein Modell an, bei dem die zu einem bestimmten Zeitpunkt gebrauchte Sprache eine Funktion der Zahl der Kommunikationspartner in dieser Sprache ist. Das sind zunächst die Menschen im gleichen Ort, von denen in dem hier untersuchten Gebiet ein Teil Deutsch, ein anderer Slowenisch spricht. Sicherlich beeinflussen auch die Kommunikationsmöglichkeiten mit Menschen aus Orten in der Umgebung den Spracherhalt bzw. -wechsel. Die im nächsten Zeitschritt gebrauchte Sprache hängt also auch davon ab, wie die Sprache der Nachbarorte in die Sprachlandschaft des betrachteten Ortes „eindiffundiert“, was wir mit Diffusionstermen F beschreiben (Abb. 2).

Wir setzen die Diffusion als Gauß-Funktion an, deren Breite durch den zweidimensionalen Diffusionskoeffizienten bestimmt ist. Die Diffusion geht dabei von allen Orten aus, nicht nur von den unmittelbar benachbarten. Nun variieren wir die beiden Diffusionsterme $F_D(r,t)$ und $F_S(r,t)$ so lange, bis die Ergebnisse optimal mit den Angaben der

Mathematische Beschreibung der Diffusion

Für die Ausbreitung einer Sprache mit „Vorteilen“ haben wir analog zu Fishers Modell eine **eindimensionale Reaktionsdiffusionsgleichung** für die zeitliche Zunahme des Anteils u_D der vorteilhaften Sprache, in Südkärnten Deutsch, angesetzt:

$$\frac{\partial u_D}{\partial t} = D_D \cdot \frac{\partial^2 u_D}{\partial x^2} + k \cdot u_D \cdot (1 - u_D). \tag{1}$$

Hier sind D_D der Ausbreitungs- bzw. Diffusionskoeffizient des Deutschen und k die Konversionsrate von Slowenisch zu Deutsch. Der Anteil des Slowenischen ist $u_S = 1 - u_D$.

Für die Geschwindigkeit v der Sprachgrenze („wave of advance“) ergibt sich durch Lösen von Gleichung (1)

$$v = 2\sqrt{D_D \cdot k}. \tag{2}$$

Zellulärer Automat: Wir betrachten einen Ort, an dem zur Zeit t n_D Personen deutsch und n_S Personen slowenisch sprechen. Die im

nächsten Zeitschritt $t + 1$ gebrauchte Sprache hängt davon ab, wie die Sprache der Nachbarorte in die Sprachlandschaft des betrachteten Ortes „eindiffundiert“. Dies beschreibt der Wechselwirkungsterm F_a . Unser Ansatz für die Wahrscheinlichkeit p_a , dass eine Person in der Zelle mit der Koordinate r beim nächsten Zeitschritt $t + 1$ die Sprache a (D oder S) spricht, lautet

$$p_a(r,t+1) = \frac{n_a(r,t) + F_a(r,t)}{n_D(r,t) + F_D(r,t) + n_S(r,t) + F_S(r,t)}. \tag{3}$$

Wir setzen diese Wechselwirkung als Gauß-Funktion an, deren Breite für die Sprache a durch den zweidimensionalen Diffusionskoeffizienten D_a bestimmt ist:

$$F_a(r,n_a,t) = \sum_{r_j \neq r} \frac{n_a(r_j,t)}{4\pi D_a \cdot \Delta t} \cdot \exp\left(-\frac{|r-r_j|^2}{4D_a \cdot \Delta t}\right). \tag{4}$$

$n_a(r_j,t)$ ist die Zahl der Sprecher der Sprache a in der Nachbarzelle j zur Zeit t . Für Betrachtungen im Jahresabstand ist Δt ein Jahr.

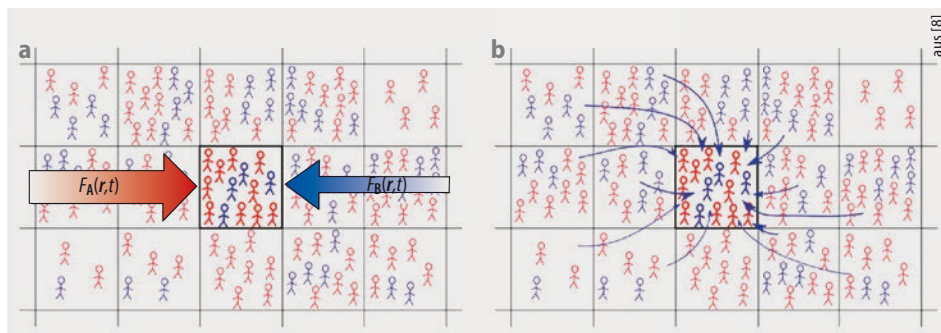


Abb. 2 Prinzip unserer Methode des zellulären Automaten nach der Darstellung von Kandler und Steele [8] in einem Kommentar zu unserer Arbeit [9]. $F_A(r,t)$ und $F_B(r,t)$ sind die Diffusionsterme für die Sprachen A und B (a), in unserem Fall Deutsch und Slowenisch. Die Sprache B aus benachbarten Zellen beeinflusst die Diffusion (b).

Volkszählungen übereinstimmen (**Abb. 3**). Ein Kriterium für die Optimierung besteht darin, die Summe der quadratischen Abweichungen für alle Zellen zu minimieren.

Die Ergebnisse unseres vorerst hypothetischen Modells stimmen gut mit den Daten der Volkszählungen überein. Somit scheint die Hypothese des Sprachkontakts tatsächlich den Sprachwechsel zu beeinflussen, allerdings könnte es weitere Einflussgrößen geben. Unser „Kontaktmodell“ basiert wesentlich auf der Annahme, dass Spracherhalt und -wechsel auf dem „diffusiven Kontakt“ mit Sprechern der gleichen bzw. der anderen Sprache beruht. So lässt sich für jede Siedlung bestimmen, wie die Anteile des Sprachkontakts aus dem eigenen Ort und den benachbarten Ortschaften waren. Allerdings haben wir nur je einen Diffusionskoeffizienten für die beiden Sprachen als Anpassungsparameter angenommen. Insofern ist das Vorgehen in der Tat „reduktionistisch“.

Der Einfluss des Habitats

Mikroskopische Modelle wie das hier angewandte ermöglichen es zusätzlich, die soziale Umgebung bzw. das soziale Habitat einzubeziehen [10]. Für mathematische Modelle sind Daten nötig, die sich in den Unterlagen über die Schulen und ihre Sprache sowie in den Sprachen der Pfarreien fanden. Wir führten einen Habitatparameter ein, der den Orten zugeordnet wird, in denen eine zweisprachige (utraquistische) Schule bzw. eine slowenischsprachige Pfarre existierte. So ließ sich auch die Besonderheit der Entwicklung in den beiden größeren Städten Klagenfurt und Villach beschreiben.

Erstaunlicherweise war der Einfluss von zweisprachigen Schulen und Pfarren mit slowenischer Predigtsprache kaum merkbar. Dies hat möglicherweise soziologische Gründe,

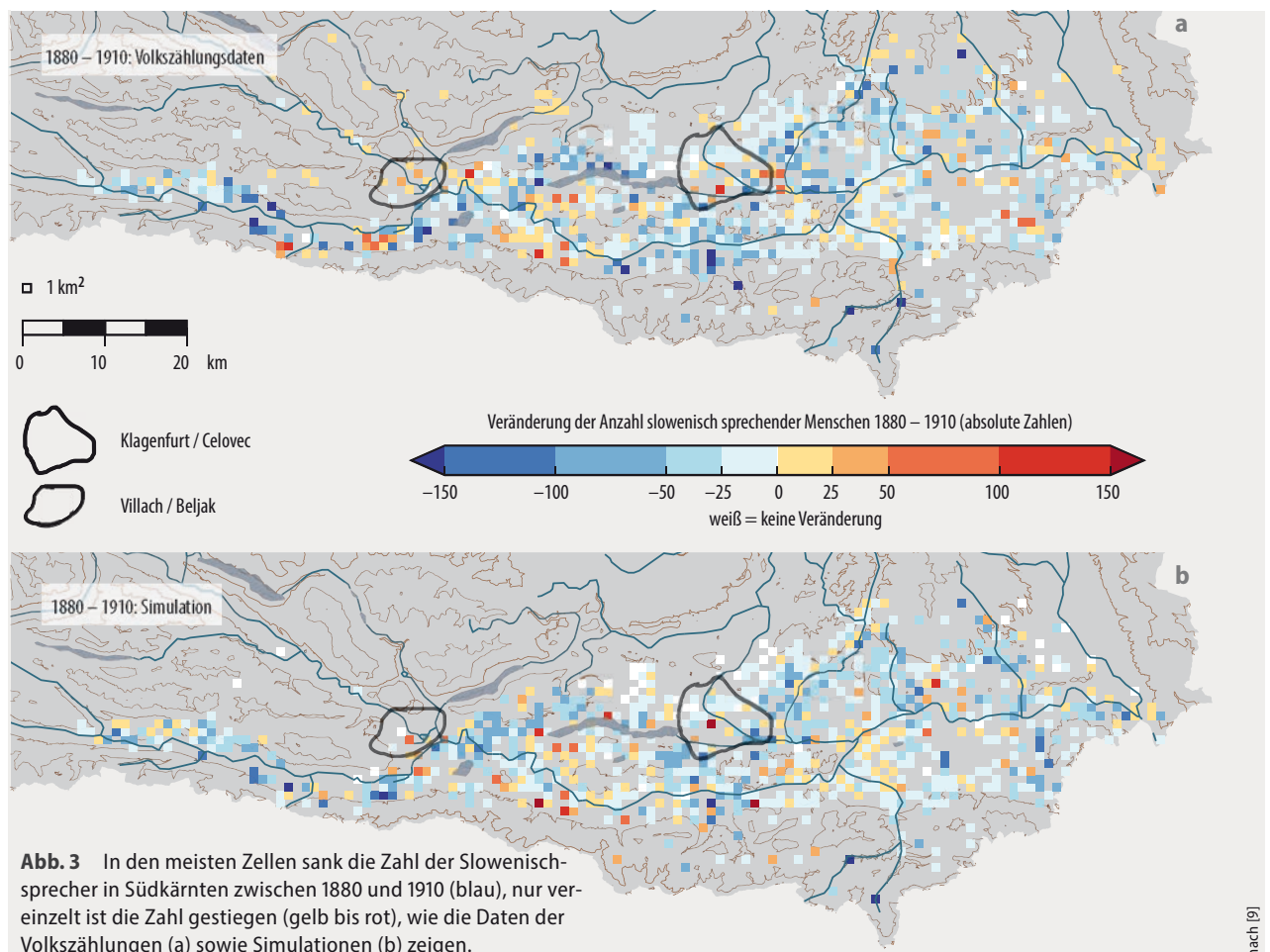


Abb. 3 In den meisten Zellen sank die Zahl der Slowenischsprecher in Süd-Kärnten zwischen 1880 und 1910 (blau), nur einzeln ist die Zahl gestiegen (gelb bis rot), wie die Daten der Volkszählungen (a) sowie Simulationen (b) zeigen.

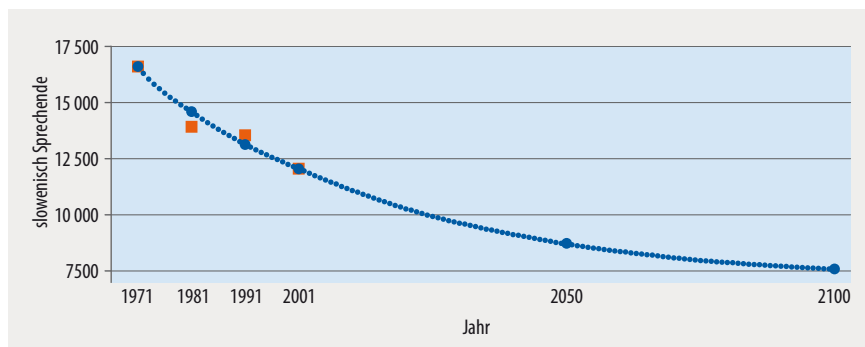


Abb. 4 Die Zahl der Slowenischsprecher in Südkärnten sinkt. Das zeigen die Daten aus Volkszählungen (orangene Quadrate). Gemäß der Simulation (blaue Punkte) wird das Kärnter Slowenisch aber das Ende des Jahrhunderts überdauern.

auf die wir hier nicht eingehen können. Ein interessantes Phänomen tritt in den Städten, besonders in der Hauptstadt Klagenfurt, auf: Dort ging die Minderheitensprache bis 1910 stärker zurück als in den ländlichen Gebieten. Dieses Phänomen ist in der Soziologie bekannt: Die Assimilationsbereitschaft ist in Städten größer, in der Anonymität der Stadt trennt man sich leichter vom Althergebrachten. Doch nach 1970 steigt die Zahl der Slowenischsprecher in Städten – offenbar ist dort eine Sehnsucht nach dem Althergebrachten erwacht. Außerdem gibt es in Klagenfurt seit 1957 ein Gymnasium mit slowenischer Unterrichtssprache. Dort wird allerdings die Amtssprache von Slowenien gelehrt; das Kärntner Slowenisch wird also vermutlich verschwinden. Eine vorsichtige Prognose zeigt aber, dass die Sprache zumindest das 21. Jahrhundert überleben wird (**Abb. 4**).

Der österreichische Staat fördert das Slowenische, doch ist unklar, ob dies zum Überleben der Sprache ausreicht. Die Bevölkerung muss sich auch bewusst machen, dass kleine Sprachen ein erhaltenswertes Kulturgut darstellen. Für Gälisch in Nordwestschottland haben Kandler und Unger ausgerechnet, dass jährlich zusätzlich einige hundert Eltern mit ihren Kindern Gälisch sprechen müssten [7]. Nicht zu retten sind wohl die slowenischen Dialekte in Kärnten.

Was haben wir gelernt?

Das „Sprachlabor“ Südkärnten hat gezeigt, dass es möglich ist, für jede Siedlung zu bestimmen, wie die Anteile des Sprachkontakts aus dem eigenen Ort und aus den benachbarten Ortschaften waren. Ein wesentlicher Treiber für den Sprachwechsel war in Südkärnten der Kontakt mit Sprechern aus anderen Ortschaften. Dass das Kontaktmodell die Verhältnisse so gut beschreiben kann, ist sicherlich der kleinräumigen Geografie mit den vielen kleinen, verschiedensprachigen benachbarten Ortschaften geschuldet, zwischen denen immer noch ein kräftiger diffusiver Sprach-austausch stattfindet.

Lässt sich das Modell auch auf andere Fälle von Sprachwechsel übertragen? Nicht unbedingt, denn die Szenarien sind verschieden. Wir haben eine Region in Südungarn eingehend untersucht („Schwäbische Türkei“), in der während der Österreichisch-Ungarischen Monarchie zu 40 Prozent Deutsch gesprochen wurde. Die Deutschen wurden dort nach der Vertreibung der türkischen Besatzung ab ca. 1700 in einem nur dünn besiedelten Land in einem relativ kurzen Zeitraum als Kolonisten angesiedelt. In der meist flachen Landschaft sind die Ortschaften weiter voneinander ent-

fernt als in Kärnten. Daher haben andere Mechanismen den Sprachwechsel von Deutsch zu Ungarisch bewirkt: In den überwiegend deutschsprachigen Orten fand Sprachwechsel wesentlich langsamer statt als in den gemischtsprachigen. Dieser Prozess ist mathematisch modellierbar, tritt aber in Kärnten nicht auf. Diffusiver Sprach-austausch mit den Nachbarorten dagegen war in der Schwäbischen Türkei schon allein wegen der größeren Abstände gering.

Die Entwicklung von Deutsch in Ungarn ist nur ein Beispiel für nicht-diffusives Sprachverhalten. Sicherlich wird es bald Modelle noch anderer sprachlicher Szenarien geben.

Literatur

- [1] U. Weinreich, *Languages in Contact*, Linguistic Circle of New York, New York (1953)
- [2] D. M. Abrams und S. H. Strogatz, *Nature* **424**, 900 (2003)
- [3] C. Schulze, D. Stauffer und S. Wichmann, *Commun. Comput. Phys.* **3**, 271 (2008)
- [4] J. Matisoff, in: A. Y. Aikhenwald und R. M. W. Dixon (Hrsg.), *Areal Diffusion and Genetic Inheritance*, Oxford Univ. Press (2001)
- [5] K. Prochazka und G. Vogl, *Glottology* **9**, 77 (2018)
- [6] K. Prochazka, *Wiener Linguistische Gazette* **83**, 1 (2018)
- [7] A. Kandler und R. Unger, in: A. Bunde et al. (Hrsg.), *Diffusive Spreading in Nature, Technology and Society*, Springer (2018), S. 351
- [8] A. Kandler und J. Steele, *PNAS* **114**, 4851 (2017)
- [9] K. Prochazka und G. Vogl, *PNAS* **114**, 4365 (2017); K. Prochazka, *Diffusion modeling of language shift in Austria(-Hungary)*, Dissertation, Universität Wien (2019)
- [10] R. Richter et al., *Biol. Invasions* **15**, 657 (2013)

Die Autoren

Gero Vogl (FV Metall- und Materialphysik und Physik sozio-ökonomischer Systeme) ist emeritierter Professor für Physik an der Uni Wien. Diffusion in der Festkörperphysik war eines seiner Hauptarbeitsgebiete, bevor er sich interdisziplinären Problemen zuwandte.



Katharina Prochazka hat Linguistik studiert und in Physik promoviert. Gegenwärtig forscht sie am Institut für Slawistik der Universität Wien, u. a. über Mehrsprachigkeit in Österreich und der Habsburgermonarchie.



Prof. Dr. Gero Vogl, Universität Wien, Fakultät für Physik, Strudlhofgasse 4, 1090 Wien, Österreich und **Dr. Katharina Prochazka**, Universität Wien, Institut für Slawistik, Spitalgasse 2, Hof 3, 1090 Wien, Österreich