



Co-funded by
the European Union



STEMSiL-Handbuch (Kurzfassung)

Forschung im Bereich MINT-Lehren und - Lernen in Gebärdensprachen

Herausgeberinnen und Herausgeber
Nordheimer, S., Unterhitzberger, G. Peters, C., Schmidt, F.,
Bumann, S. & Rathmann, C.



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1) Von wissenschaftlichen Konzepten zu Gebärden: Die Nutzung von MINT-Glossaren in der Gehörlosenbildung | |
| - Audrey M. Cameron | 2 |
| 2) Die Entwicklung der mathematischen Fähigkeiten von gehörlosen Lernenden: Einblicke aus der Forschung und Beispiele aus der Praxis. | |
| - Olga Pollex, Swetlana Nordheimer, Viktor Werner | 9 |
| 3) Deafdidaktik - kritische Betrachtung von mathematischen Textaufgaben | |
| - Bastian Staudt, Horst Sieprath, Ege Karar, Merve Baklaci, Daniel Schmidt, Klaudia Grote | 12 |
| 4) Gebärden über Variablen und Gleichungen | |
| - Flavio Angeloni, Christian Hausch | 14 |
| 5) Ein Beispiel für eine Aufgabe aus der Stochastik mit Deutscher Gebärdensprache (DGS) | |
| - Elke Warmuth, Swetlana Nordheimer, Tino Sell | 16 |
| 6) Gebärdete Geometrie | |
| - Swetlana Nordheimer, Tino Sell | 18 |
| <i>Literatur</i> | |

1) Von wissenschaftlichen Konzepten zu Gebärden: Die Nutzung von MINT-Glossaren in der Gehörlosenbildung - Audrey M. Cameron

1.1 Einleitung: Brückenbau zwischen MINT und Gebärdensprache



Dieses Kapitel untersucht die Überschneidungen von Gehörlosenbildung, Gebärdensprache und MINT-Fächern und konzentriert sich dabei auf das SSC BSL Glossary-Projekt. Es untersucht die Entwicklung wissenschaftlicher Fachgebärden und ihre Auswirkungen auf das konzeptionelle Verständnis und zeigt, wie sorgfältig ausgearbeitete Gebärden die Kluft zwischen schriftlicher Terminologie und visuell-räumlicher Wahrnehmung in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen überbrücken. Durch diese Erkundung hebt das Kapitel das transformative Potenzial der Gebärdensprache in der MINT-Bildung für gehörlose Lernende hervor.

1.2 Wissenschaft und MINT durch konzeptionelles Verständnis unterrichten



Die Forschung unterstreicht die Bedeutung praktischer Experimente, des Dialogs mit Gleichaltrigen und verschiedener Lernmodalitäten, um das Verständnis zu erleichtern, insbesondere für gehörlose Lernende, die mehr Beispiele benötigen, um Konzepte zu begreifen. Die Lehrkräfte spielen eine entscheidende Rolle, wenn es darum geht, die Lernenden bei der Konstruktion von Bedeutungen zu unterstützen, indem sie Experimente und Aktivitäten gemeinsam interpretieren und durch gezielte Fragen kritisches Denken anregen. Gehörlose Lernende haben oft weniger Gelegenheit, diese Erfahrungen zu machen, was die Notwendigkeit eines Umfelds unterstreicht, in dem alle Beteiligten fließend in Gebärdensprache kommunizieren können. Ein umfassender Ansatz, der die Erkundung der Welt außerhalb des Klassenzimmers und den Zugang zu verschiedenen Lernmodalitäten einschließt, ist für gehörlose Kinder unerlässlich, um ein umfassendes Verständnis wissenschaftlicher Konzepte zu entwickeln.

1.3 Geschichte und Entwicklung von Gebärdensprachglossaren



Gebärdensprachglossare haben sich im Laufe der Zeit erheblich weiterentwickelt, von statischen Zeichnungen und Fotos in Büchern zu dynamischen Videoinhalten im Internet. Technologische Fortschritte, vom Film bis zu digitalen Medien, haben eine genauere Darstellung der Gebärdenbewegungen und eine einfachere Aktualisierung der Inhalte ermöglicht. Die Einrichtung von MINT-spezifischen Websites für Gebärdensprache, für die Lang am NTID/RIT Pionierarbeit geleistet hat, hat zu einem erheblichen Wachstum von Glossaren weltweit geführt. Es gibt verschiedene Ansätze für die Erstellung dieser Glossare, von Selbstlademethoden bis hin zu kollaborativen Diskussionen, die alle darauf abzielen, den Zugang zu MINT-Fächern für gehörlose Menschen weltweit zu verbessern.

1.4 Zweck des SSC BSL-Glossars



Das BSL-Glossar des Scottish Sensory Centre geht auf eine Forschungsarbeit von Dr. Mary Brennan aus dem Jahr 2000 zurück, bei der ein Mangel an MINT-Gebärden als erhebliches Hindernis für gehörlose Studierende in nationalen Prüfungen festgestellt wurde. Trotz Fortschritten bei der universitären Unterstützung, wie z. B. der Disabled Students' Allowance (DSA) und dem Zugang zu Dolmetschenden, stagnierte der Prozentsatz gehörloser Studierender in britischen MINT-Studiengängen über ein Jahrzehnt hinweg bei 0,3 %. Diese mangelnden Fortschritte und ähnliche Ergebnisse in den USA unterstreichen den dringenden Bedarf an umfassenden MINT-Gebärdenglossaren zur Unterstützung gehörloser Studierender und ihrer Hochschullehrkräfte und verdeutlichen die Bedeutung der Glossare für den Abbau von Kommunikationsbarrieren in der MINT-Ausbildung und Berufswelt.

1.5 Struktur und Inhalt des SSC BSL-Glossars



Die SSC-Glossar-Website bietet eine umfassende, benutzerfreundliche Schnittstelle für den Zugriff auf MINT-Gebärden, die sowohl nach Themen als auch in alphabetischer Reihenfolge geordnet sind. Das Glossar bietet Videodemonstrationen der Gebärden, begleitet von Erklärungen in Gebärdensprache und schriftlichen englischen Übersetzungen, was es zu einer zweisprachigen Ressource macht. Als Reaktion auf das Feedback der Nutzerinnen und Nutzer enthält das Glossar auch Beispielvideos mit realen Anwendungen der Fachgebärden, die das Verständnis wissenschaftlicher Konzepte für Schülerinnen und Schüler, Pädagoginnen und Pädagogen, sowie Dolmetschenden gleichermaßen verbessern.

1.6 Visualisierung von MINT-Konzepten: Der Prozess der Gebärdenentwicklung



Der Gebärdenentwicklungsprozess des SSC umfasst ein vielfältiges Team von gehörlosen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und Pädagoginnen und Pädagogen, die zusammenarbeiten, um Gebärden für MINT-Konzepte zu entwickeln. Das Team konzentriert sich darauf, die den wissenschaftlichen Begriffen zugrundeliegenden Ideen visuell darzustellen, anstatt einfach nur Wörter zu übersetzen. Dies geschieht durch Gruppendiskussionen und sorgfältige Überlegungen zu den visuellen Aspekten und Funktionen der einzelnen Konzepte. Der Prozess umfasst mehrere Überprüfungsphasen, einschließlich des Feedbacks von jungen gehörlosen Kindern, bevor die Fachgebärden fertiggestellt, gefilmt und auf der SSC BSL-Glossar-Website als zweisprachige Ressource mit begleitenden Definitionen und Beispielvideos veröffentlicht werden.

1.7 Fachspezifische Gebärdenentwicklung: Beispiele aus verschiedenen MINT-Fächern



In diesem Abschnitt werden spezifische Beispiele für die Entwicklung von Gebärden in verschiedenen MINT-Fächern untersucht, darunter Geographie, Biologie, Astronomie und Chemie. Durch die Untersuchung, wie Gebärden entwickelt werden, um verschiedene wissenschaftliche Konzepte darzustellen, von geographischen Landschaften bis hin zu abstrakten chemischen Prozessen, wird die Vielseitigkeit und Ausdruckskraft der Gebärdensprachen bei der Vermittlung komplexer wissenschaftlicher Ideen demonstriert.

1.7.1 Geographie: Darstellung von Landschaften und Topographie



In der Geographie werden visuelle Fachgebärden verwendet, um topographische Merkmale wie Täler und Flüsse darzustellen. Konturen auf Karten zeigen die Steilheit von Hängen an, und die Formen der Gebärden ändern sich, um verschiedene Landschaften darzustellen.

1.7.2 Biologie: Visuelle Darstellung von Ort und Funktion



Bei der Entwicklung von Fachgebärden für die Biologie wird sorgfältig darauf geachtet, dass Lage, Form und Funktion von biologischen Strukturen wie Organen und Pflanzenteilen genau dargestellt werden. Der Prozess umfasst umfangreiche Recherchen, Beratungen mit Expertinnen und Experten und manchmal die Überarbeitung von Fachgebärden, um Präzision und Genauigkeit zu gewährleisten, wie die Entwicklung der Fachgebärde für "Stammzelle" zeigt.

1.7.3 Astronomie: Gestaltung der Gebärden für Planeten



Bei der Entwicklung der Fachgebärden für die Planeten des Sonnensystems konzentrierte sich das Team sowohl auf visuelle Aspekte als auch auf einzigartige Eigenschaften der einzelnen Himmelskörper. Die Fachgebärden berücksichtigen charakteristische Merkmale wie die extremen Temperaturen des Merkurs, die dichte Atmosphäre der Venus, die beiden Monde des Mars und die einzigartige Umlaufbahn des Neptun und schaffen so eine kohärente Reihe von Fachgebärden, die die Verbindungen zwischen den Planeten aufrechterhalten und gleichzeitig ihre individuellen Merkmale hervorheben.

1.7.4 Chemie - Darstellung abstrakter Konzepte



Der abstrakte und theoretische Charakter der Chemie stellt den Unterricht vor besondere Herausforderungen, da es sich oft um unsichtbare Prozesse auf molekularer Ebene handelt. Die Entwicklung von Fachgebärden für chemische Konzepte wie Atome, Elektronen und chemische Reaktionen bietet visuelle Darstellungen, die dazu beitragen, die Kluft zwischen makroskopischen Beobachtungen und mikroskopischen Prozessen zu überbrücken und das Verständnis komplexer chemischer Konzepte im Rahmen des Johnstone'schen Dreiecks aus makroskopischer, mikroskopischer und symbolischer Ebene zu fördern.

1.7.5 Gebärdenfamilien: Förderung des konzeptionellen Verständnisses



Das Team, das die Fachgebärden entwickelt hat, hat "Gebärdenfamilien" geschaffen, um ein umfassendes Verständnis breiterer wissenschaftlicher Konzepte zu ermöglichen. Zum Beispiel sind die Gebärden für "Masse", "Schwerkraft" und "Gewicht" miteinander verbunden, um ihre Beziehung

in der Physik zu verdeutlichen. In ähnlicher Weise werden in der Chemie bei einer Familie von Gebärden, die sich auf chemische Reaktionen bezieht, konsistente Elemente beibehalten und gleichzeitig Variationen eingeführt, um verschiedene Arten von Reaktionen darzustellen und das konzeptionelle Verständnis durch visuelle Verbindungen zu verbessern.

1.8 Auswirkungen von Gebärdenglossaren auf das Lernen

1.8.1 Konzeptionelles Verständnis: Elektrizität - AC vs. DC Konzept



Ein Forschungsprojekt, bei dem Diskussionen im Klassenzimmer beobachtet wurden, zeigte, wie der Zugang zum MINT-Gebärdenglossar das konzeptionelle Verständnis erheblich fördern kann. In einer Präsentation über Wechsel- und Gleichstrom konnte die anfängliche Verwirrung eines Schülers über den Begriff "Strom" aufgelöst werden, als ihm die entsprechende richtige wissenschaftliche Fachgebärde vorgestellt wurde, was die Bedeutung des Glossars bei der Klärung wissenschaftlicher Konzepte und der Vermeidung von Missverständnissen aufgrund des alltäglichen Sprachgebrauchs in wissenschaftlichen Kontexten zeigt.

1.8.2 Zugang zum Wortschatz: Dichte lehren



In einer Unterrichtsstunde zum Thema "Schwimmen und Sinken" für junge gehörlose Schülerinnen und Schüler förderte die Verwendung des Gebärdenglossars, insbesondere der Fachgebärde für "Dichte", das konzeptionelle Verständnis. Nach einer praktischen Übung und einer Erklärung mit Hilfe der Fachgebärden waren die Kinder in der Lage, die Begriffe "Schwimmen" und "Sinken" korrekt dem Konzept der Dichte zuzuordnen, was zeigt, wie Gebärdensprachvokabular selbst jungen Lernenden komplexe wissenschaftliche Konzepte effektiv vermitteln kann.

1.8.3 Erleichterung des Verständnisses durch Gebärden und Dialog



Lindahls Forschung (2021) unterstreicht, dass Gebärdensprachen, Text und Bilder zwar für das konzeptionelle Verständnis in der Gehörlosenpädagogik von entscheidender Bedeutung sind, effektives Lernen jedoch mehr erfordert als nur den Zugang zu Vokabeln. Es benötigt moderierte Diskussionen und Pädagoginnen und Pädagogen, die die Verwendung von Fachgebärden durch die Lernenden erkennen und darauf reagieren können, um ihr Verständnis zu demonstrieren.

9.1 Schlussfolgerung



Die Entwicklung von Gebärdensprachglossaren für MINT-Fächer stellt einen bedeutenden Fortschritt in der Gehörlosenbildung dar, indem visuelle Darstellungen geschaffen werden, die das Wesentliche wissenschaftlicher Konzepte erfassen. Diese MINT-Fachgebärden, die in einem gemeinsamen Prozess entwickelt wurden, der eine eingehende Betrachtung wissenschaftlicher Prinzipien und gebärdensprachlicher Strukturen beinhaltet, machen abstrakte Konzepte greifbarer und in verschiedenen Disziplinen zugänglicher. Die weitere Forschung und Zusammenarbeit zwischen gehörlosen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, Pädagoginnen und Pädagogen, so wie Linguistinnen und Linguisten wird entscheidend sein, um diese Ressourcen in die MINT-Lehrpläne zu integrieren, gehörlosen Lernenden einen gleichberechtigten Zugang zu wissenschaftlichem Wissen zu ermöglichen und den Bereich der Wissenschaftskommunikation insgesamt zu bereichern.

2) Die Entwicklung der mathematischen Fähigkeiten von gehörlosen Lernenden: Einblicke aus der Forschung und Beispiele aus der Praxis.

- Olga Pollex, Swetlana Nordheimer, Viktor Werner

2.1 Einleitung

Die Autorinnen und Autoren dieses Kapitels kommen aus unterschiedlichen theoretischen Traditionen und verwenden unterschiedliche Forschungsmethoden in ihrer wissenschaftlichen Arbeit. Dieser Artikel sollte daher als multiperspektivischer Dialog verstanden werden. Die Forschung zum Thema der mathematischen Entwicklung und des Unterrichts gehörloser Kinder hat verschiedene theoretische, empirische und praktische Ansätze für die Bildung gehörloser Lernender. Vor allem in den letzten 20 Jahren wurde die mathematische Entwicklung von gehörlosen Kindern verstärkt erforscht. Dies spiegelt sich in der zunehmenden Zahl von Veröffentlichungen zu diesem Thema wider. Um diese Vielfalt zu demonstrieren, bezieht sich dieser Artikel auf die theoretischen Ansätze und empirischen Studien, um Argumente für den Mathematikunterricht in Gebärdensprachen zu diskutieren.

Entsprechend der Vielfalt der Positionen, theoretischen Hintergründe und praktischen Absichten in der mathematischen Bildung gehörloser Schülerinnen und Schüler werden die Begriffe "gehörlos" oder "schwerhörig" in der wissenschaftlichen Literatur nicht einheitlich verwendet (siehe Szücs, 2019). Um Missverständnisse zu vermeiden, werden wir den Begriff "gehörlos" wie in Scott, Henner und Skyer (2023) verwenden, "um uns auf eine Reihe von Hörstufen zu beziehen, von dem, was typischerweise als schwerhörig bezeichnet werden könnte, bis hin zu hochgradig gehörlos; wir schließen auch alle ein, die davon profitieren würden, als gehörlos identifiziert zu werden, wie z. B. diejenigen mit zentraler auditiver Verarbeitungsstörung, da wir glauben, dass alle von dem hier vorgeschlagenen Modell profitieren würden."

2.2 Theoretischer Rahmen

Rosanova (1971) und Yashkova (1971) wiesen empirisch nach, dass gehörlose Kinder mehrsprachig sind und dass verschiedene Sprachsysteme in ihrem Denken komplex miteinander verknüpft sind. Studien von Villwock et. al. (2021) geben differenzierte, tiefe und empirisch fundierte Einblicke in die Komplexität der Aktivierung verschiedener Sprachen durch hörende und gehörlose zweisprachige Menschen – die ASL und Englisch verwenden – wenn diese geschriebene Wörter verarbeiten. Rosanova (1991) ging jedoch davon aus, dass Sprachkompetenzen allein nicht ausschlaggebend für die erfolgreiche Entwicklung mathematischer Fähigkeiten bei gehörlosen Lernenden sind. Sie schlug vor, die Förderung des "**visuell-imaginativen**" und des "**logisch-verbale**n" Denkens zu integrieren, um Mathematik erfolgreich zu unterrichten.

Visuell-imaginatives Denken ist die Fähigkeit, in Bildern und Darstellungen zu denken, die reale Objekte ersetzen, um mentale Operationen auszuführen. Beim visuell-imaginativen Denken sollten sowohl das äußere Erscheinungsbild als auch die Eigenschaften der Objekte und die Beziehungen zwischen ihnen berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck empfiehlt Rosanova (1978), die Beziehungen zwischen den Objekten und den Wörtern, die die Objekte, ihre Eigenschaften und Beziehungen bezeichnen, zu stärken. Wir erweitern diese Empfehlung und schlagen weiter vor, dass die Entwicklung des visuell-imaginativen Denkens durch die Verwendung **produktiver** und **konventionalisierter Gebärden** und **Gesten** als Bezeichnungen für die mathematischen Objekte selbst, ihre Eigenschaften und die Beziehungen zwischen ihnen vermittelt, geleitet, unterstützt und gestärkt werden kann.

Beim logisch-verbale Denken handelt es sich um formale, sprachlich vermittelte Denkoperationen, die völlig losgelöst von realen Objekten sein können. Auch hier gehen wir weiter als Rosanova (1978) und schlagen vor, dass auch diese Form des Denkens so früh wie möglich bewusst in Gebärdensprachen eingebettet werden sollte, um eine optimale Vermittlung und Förderung zu gewährleisten.

2.3 Empirische Befunde

Neuere empirische Erkenntnisse belegen die positiven Auswirkungen von Gebärdensprachen auf die mathematische Entwicklung gehörloser Kinder. Wir werden nun einige der aus empirischen Studien abgeleiteten Argumente zusammenfassen.

- Leybaert und Van Cutsem (2002) untersuchten, inwieweit die visuell-manuelle Modalität und die Struktur der Gebärdenzahlfolge einen Einfluss auf die Entwicklung des Zählens und dessen Verwendung durch gehörlose Kinder hat.
- Di Luka und Presenti (2011) argumentieren, dass Fingerzahlen dabei helfen, Zahlensemantik zu erwerben, aufzubauen und dann darauf zuzugreifen, und dass sie im Vergleich zu anderen Zahlendarstellungen einen zusätzlichen Wert bieten, indem sie die Bedeutung von Zahlen in einer selbsterfahrenen sensorisch-motorischen Darstellung verankern. Allerdings handelt es sich bei Fingerzahlen nicht um gebärdete Zahlen oder gebärdete Algorithmen, die zu den nationalen Gebärdensprachen gehören.
- Werner und Hänel-Faulhaber (2023) untersuchten das Verständnis von gehörlosen und hörenden Kindern für sich wiederholende Muster. Bei diesen Aufgaben mussten die Kinder eine Lücke in den Mustern ausfüllen. Es zeigte sich, dass die Lösungsergebnisse von gehörlosen Kindern, die früh Gebärdensprachen lernten, mit denen von hörenden Kindern vergleichbar waren. Im Gegensatz dazu waren gehörlose Kinder, die Gebärdensprachen später erlernten,

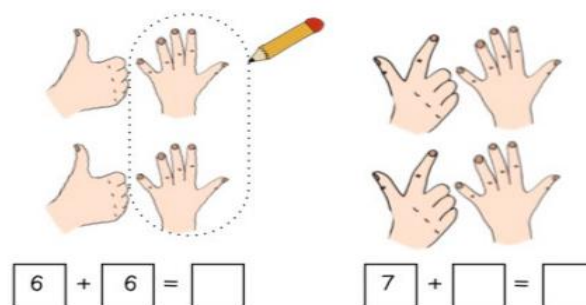
weniger erfolgreich. Dies zeigt, dass Gebärdensprachen einen positiven Effekt auf Mustererkennungsaufgaben haben.

- Eine Evaluation einer Version des mathematischen Diagnosetests MBK 0 (Test zur Erfassung mathematischer Grundfertigkeiten im Kindergartenalter; Krajewski, 2018) in Deutscher Gebärdensprache ergab, dass die Ergebnisse sechsjähriger gehörloser Muttersprachler der (hörenden) Altersnorm entsprechen (Werner & Hänel-Faulhaber, 2024).

2.4 Praktische Beispiele

Schließlich untermauern wir unsere Überlegungen mit den Praxisbeispielen von Olga Pollex. Diese sollen zum einen als zusätzliche Argumentationsquelle für Gebärdensprachen in der Mathematik dienen, zum anderen als Anregung für die Entwicklung didaktischer Konzepte und Materialien. Anhand konkreter Beispiele aus der Geometrie, Arithmetik und Kombinatorik erläutert sie, wie mathematische Konzepte, Theoreme und Beweise durch Handlungen wie Operationen mit geometrischen Figuren aus Papier eingeführt werden können. Anschließend schlägt sie vor, produktive, aus Handlungen abgeleitete Gebärden zu verwenden, um die Prozesse zu beschreiben. Sobald die Lernenden die Konzepte verstanden haben, können konventionalisierte mathematische Gebärden und ihre lexikalischen Variationen eingeführt werden. Das Prinzip dieser Steigerung der Gebärdensprachverwendung beruht auf dem EIS-Prinzip nach Bruner: die Integration von enaktiven, ikonischen und symbolischen Darstellungsweisen.

Der Mathematikunterricht wird oft nur auf die Förderung der arithmetischen Fähigkeiten reduziert und die Förderung der prozessbezogenen Kompetenzen wird ausgelassen. Diese Reduzierung hängt zum Teil mit den Gebärdensprachkenntnissen von Lernenden und Lehrenden zusammen. Um mathematische Zusammenhänge zu erkennen, Wissen und Fähigkeiten zu verknüpfen und auf unbekannte Fragestellungen zu übertragen, bedarf es jedoch der Sprache.



<https://eduki.com/de/autor/357784/frau-faube>



[IS-Video](#)



[DGS-Video](#)

3) Deafdidaktik - kritischer Blick auf mathematische Textaufgaben - Bastian Staudt, Horst Sieprath, Ege Karar, Merve Baklaci, Daniel Schmidt, Klaudia Grote

Im Rahmen einer empirischen Studie zur DeafDidaktik von Staudt (2024) im Mathematikunterricht mit tauben Schülerinnen und Schülern, deren Erstsprache (L1) die Deutsche Gebärdensprache (DGS) ist, wurde wiederholt beobachtet, dass die Bearbeitung von mathematischen Textaufgaben mit spezifischen Verständnisschwierigkeiten einhergeht.

Diese Schwierigkeiten wurden mit dem DeafDidaktik-Team des Kompetenzzentrums für Gebärdensprache und Gestik SignGes an der RWTH Aachen unter der Leitung von Dr. Klaudia Grote diskutiert und analysiert. Basierend auf diesen Überlegungen wurde eine deafdidaktische Adaption einer für hörende Kinder konzipierten Textaufgabe entwickelt, die zu einer auf die Bedürfnisse gehörloser Kinder zugeschnittenen mathematischen Textaufgabe führte. Um die Wirksamkeit der adaptierten Aufgabe zu überprüfen, wurde eine empirische Vorstudie durchgeführt, in der zwei zehnjährigen Kindern - einem hörenden und einem gehörlosen - eine "Känguru-Aufgabe" präsentiert wurde.

Anmerkung: Die sogenannten Känguruaufgaben werden im Rahmen eines europäischen Mathematik-Wettbewerbs eingesetzt und haben ihren Ursprung im australischen Bildungssystem. Seit dem Jahr 1978 werden sie dort verwendet und wurden einige Jahre später auch in der deutschen Schullandschaft implementiert. Ihr Ziel ist es, Schülerinnen und Schüler der dritten und vierten Klasse mathematisch zu fördern und zu fordern (vgl. <https://www.mathekaenguru.de/international/index.html> – 09.11.2024).

Die hier präsentierte Textaufgabe aus dem Känguru-Wettbewerb 2021, die Staudt den Schülerinnen und Schülern in einer Vorstudie vorstellte, lautet wie folgt: **In einem bescheidenen Kino besetzen fünf Begleiter eine ganze Reihe. Paul sitzt nicht auf dem fünften Platz. Anabel hingegen hat sich den ersten Platz ausgesucht. Lynn befindet sich zwischen Joshua und Selin. Es stellt sich also die Frage, wo genau Lynn ihren Platz hat.**

Das hörende Kind mit Deutsch als Erstsprache (L1) löste die Aufgabe prompt und genau. Das gehörlose Kind, dessen Erstsprache die relativ spät erworbene Deutsche Gebärdensprache (DGS) ist und dessen Deutsch aufgrund des russischen Migrationshintergrundes der Eltern als Zweit- oder sogar Drittspracherwerb angesehen werden kann, hatte erhebliche Schwierigkeiten beim Lesen und Verstehen der oben genannten Textaufgabe. Daraufhin wurde dem Kind eine Übersetzung der Aufgabe in DGS vorgelegt. Die Rückmeldungen und Reaktionen des Kindes lassen darauf schließen, dass es die übersetzte Aufgabe besser verstand. Dennoch konnte das Kind trotz der Übersetzung in DGS die mathematische Methodik zur Lösung der Aufgabe nicht nachvollziehen.

Anschließend wurde dem Kind eine Animation des Inhalts präsentiert, die nach den Prinzipien der DeafDidaktik gestaltet und mit der Software PowerPoint bearbeitet wurde. Unmittelbar nach der ersten Präsentation zeigte das Kind Verständnis für den dargestellten Zusammenhang. In einer zweiten Iteration wurde zusätzlich eine kurze gebärdete Erklärung der Aufgabe gegeben, die das Verständnis des mathematischen Ansatzes erleichterte und es dem Kind ermöglichte, die Aufgabe zu lösen.

Für die DeafDidaktik-Version der Textaufgabe mussten deafdidaktische Prinzipien angewendet werden, was eine deafdidaktische Analyse in drei Phasen im Vorfeld erforderte. Die abschließende Präsentation des Materials umfasste Videos in Deutscher Gebärdensprache (DGS) und PowerPoint-Folien mit entsprechenden Animationen und Übergängen, die jeweils deafdidaktische Prinzipien beachten. Dazu gehörten ein induktiver Erklärungsstil, Subjekt-Objekt-Bojen, eine gebärdete Eliminationsstrategie, Lokalisierung und Perspektivwechsel. Dies wurde durch den Einsatz von Gebärdensklassifikatoren und zusätzlich durch konstruierte Handlung (CA) oder konstruierten Dialog (CD) erreicht (Grote, Sieprath, Staudt, Fenkart & Karar - Work in Progress 2024). Darüber hinaus wurden Elemente von DeafScience integriert, darunter die Präsentation von Gebärdensprachvideos in zirkulären Formaten mit farbcodierten Frames zur Unterscheidung zwischen ihnen. In diesem Fall steht die Farbe "weiß" für die Einleitung der Aufgabe, "blau" für zusätzliche Erklärungen, "rot" für die Frage und "grün" für die Antwort oder Lösung (Sieprath et al., 2024).

Diese vorläufige Studie zeigt, dass gehörlose Schülerinnen und Schüler bei der Lösung mathematischer Aufgaben in schriftlicher Form mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert sind. Diese Textaufgaben erfordern von den Lernenden eine Vielzahl von Dekodierverfahren oder -prozessen, einschließlich des Dekodierens des Inhalts, des Übersetzens des geschriebenen Textes in mathematische Strukturen und des Lösen des mathematischen Problems.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Vorstudie werden in diesem Video erste Kriterien für die Erstellung von gebärdeten deafdidaktischen Videos für mathematische Aufgabenstellungen vorgestellt. Es ist jedoch wichtig, darauf hinzuweisen, dass diese Kriterien weitere empirische Untersuchungen in Bildungskontexten erfordern.



[IS-Video](#)



[DGS-Video](#)

4) Das Gebärden über Variablen und Gleichungen - Flavio Angeloni, Christian Hausch

Die bilinguale Praxis mit einer Gebärdensprache und einer Schriftsprache ist unerlässlich beim Unterricht gebärdensprachorientierter Schülerinnen und Schüler. Dabei sollen auch die Eigenschaften der Gebärdensprachen berücksichtigt werden. Verschiedene Studien haben bereits gezeigt, dass Gebärdensprachen das Lehren und Lernen von Mathematik insofern beeinflussen, dass Unterschiede zum Lehren und Lernen in einer Lautsprache entstehen können. Es wurde auch bereits gezeigt, dass zum Beispiel „[...] die Verwendung des Gebärdenraums im Mathematikunterricht eine entscheidende Funktion haben [kann], z.B. [...] im Erwerb von Fachgebärdensprache, die nicht (nur) aus bestimmten Gebärden für Fachwörter aus [einer] Lautsprache besteht“ (Angeloni, 2023, S. 532).

In diesem Kapitel werden grundlegende Begriffe und Konzepte der elementaren Algebra – wie zum Beispiel “Variable”, “Gleichung” usw. – aus einer gebärdensprachlichen Perspektive betrachtet. Dies erfolgt auf Basis ausgewählter Ergebnisse eines umfangreicheren Projektes über das Lehren und Lernen von elementarer Algebra in einer Gebärdensprache. Im ersten Abschnitt werden die untersuchten Variablenaspekte – Gegenstandsaspekt, Einsetzungsaspekt und der Hüllenaspekt – sowie eine zentrale Eigenschaft von Gebärdensprachen – die Ikonizität – vorgestellt. Ikonische Gebärden sind Gebärden, die eine direkte oder indirekte Ähnlichkeit zum Referenzierten aufweisen. Im ersten Fall sind solche Gebärden auch als bildhaft bezeichnet. Im zweiten Fall werden sie als schematische Ikone bezeichnet. Außerdem unterteilen sich wiederum beide Arten ikonischer Gebärden in unterschiedliche Typen. Danach werden die zentralen Aspekte des Lehrens in einer Gebärdensprache sowie die im Projekt eingesetzten Lernumgebungen vorgestellt. Für einen bilingualen Mathematikunterricht mit einer Gebärdensprache „sollten verschiedene modalitätsbedingte strukturelle Unterschiede zwischen Laut- und Gebärdensprachen berücksichtigt werden“ (Grote et al., 2018, S. 435). Dies umfasst einen höheren Grad an Ikonizität in Gebärdensprachen im Vergleich zu Lautsprachen. Dies führt zu einer stärkeren Kohärenz zwischen den Gebärden und den Eigenschaften des Referenzierten. Im Mathematikunterricht sollte daher „die Art der Erklärungen mit den ikonischen Aspekten [...] korrespondieren“ (Grote et al., 2018, S. 433). Eine weitere Eigenschaft ist die Zentrierung: Ein Thema wird in den Mittelpunkt eines syntagmatischen Kontextes gestellt. Dies bedeutet, dass mehrere Konzepte, die üblicherweise miteinander genutzt werden, um ein „zentrales“ Konzept herum organisiert werden. Ein syntagmatischer Kontext kann auch mittels Wechsel der Perspektive erstellt werden, indem zum Beispiel von einem spezifischen Konzept zu einem anderen gewechselt wird, um dieses näher zu beschreiben. Für den Mathematikunterricht könnte dies etwa bedeuten, dass ein spezifisches Thema in den Mittelpunkt gestellt werden sollte, um das weitere Wissensseinheiten platziert werden.

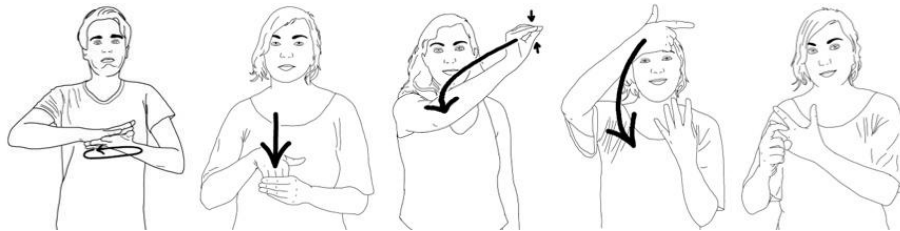


Abb. 1a Abb. 1b Abb. 1c Abb. 1d Abb. 1e

Abbildung 1: Gebärden LEER (links) und INHALT (rechts)

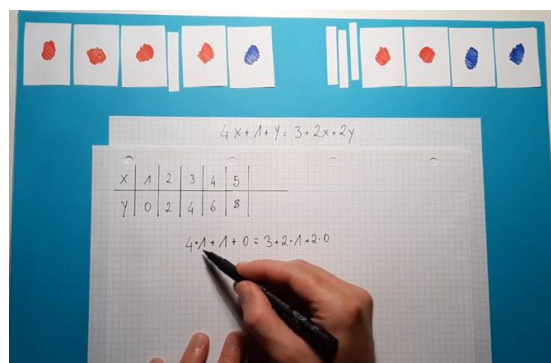


Abbildung 2: Ausschnitt aus dem Video der Lernumgebungen

Es werden anschließend ausgewählte Ergebnisse zum Gegenstandsaspekt, dem Einsetzungsaspekt und dem Hüllen aspekt diskutiert. Die hier vorgestellten Gebärden gehören zur Österreichischen Gebärdensprache (ÖGS). Diese Ergebnisse zeigen, dass es unterschiedliche Gebärden gibt, welche genutzt werden können, um über Variablen und Handlungen mit ihnen zu kommunizieren. Die Gebärden in den Abbildungen 1c und 1d sind bildhaft ikonische Gebärden, da diese eine direkte Ähnlichkeit zum Schriftbild mit der Wertetabelle über der Gleichung (Abb. 2) aufweisen. Außerdem ahmt die Gebärde in Abbildung 1c eine Handlung nach, bei der etwas aus der Tabelle entnommen und an die passende Stelle in der Gleichung gesetzt wird. Die Gebärde LEER (Abb. 1a) ist insofern von Interesse, da diese ausdrückt, dass die Variable „leer“ ist. D.h. sie „enthält“ keine Zahl. Wenn die Gebärde INHALT (Abb. 1b) – nach der eine Variable als Behälter aufgefasst wird – in Beziehung zur Gebärde LEER gesetzt wird, dann wird die Unbekanntheit der Zahl, für die die Variable steht, in Form eines leeren Behälters (einer leeren Variablen) ausgedrückt. Dies würde den Hüllen aspekt in den Vordergrund stellen. Dieser Aspekt kann auch im Falle des Einsetzungsaspektes beobachtet werden, und zwar z.B. bei dem Gebärdenkonstrukt in Abbildung 1e. Unter der Annahme, dass der Hüllen aspekt eine zentrale Rolle spielt, könnte dies für die Praxis des Mathematikunterrichts bedeuten, dass der Hüllen aspekt als „zentraler“ Variablen aspekt betrachtet werden kann, um den weitere Variablen aspekten herum organisiert und dadurch auch im weiteren Sinne in eine syntagmatische Relation gesetzt werden können.



[IS-Video](#)



[DGS-Video](#)

5) Ein Beispiel für eine Aufgabe aus der Stochastik mit Deutscher Gebärdensprache (DGS)

- Elke Warmuth, Swetlana Nordheimer, Tino Sell

Dieser Artikel stellt ein Beispiel aus der Stochastik vor, das mit der Geometrie verbunden ist. Durch die Wahl eines geometrischen Kontextes wollen wir auf die aus der Fachliteratur bekannten Stärken gehörloser Lernender eingehen und ihnen den Zugang erleichtern. Die in diesem Artikel vorgestellte Aufgabe ist eine Abwandlung der 4. Aufgabe des 5. Beispiels in den Bildungsstandards für die Primarstufe (KMK 2004, S. 20). Sie ist vor allem dem Schlüsselbegriff *Raum und Form* zugeordnet, der im Anforderungsbereich III zu finden ist. Die erste Modifikation der Aufgabe wurde von Winkenbach (2011) vorgenommen. Wir haben die Aufgabe didaktisch und sprachlich noch einmal überarbeitet, um sie bimodal in Deutscher Gebärdensprache (DGS) und auf Deutsch anzubieten. Die deutsche Version der Aufgabe bezieht sich auf das Kantenmodell (siehe Abb. 1-3). Sie wird im Folgenden vorgestellt:

Dies ist ein Kantenmodell eines Würfels. Ein Käfer sitzt in Ecke A. Er will zur Ecke Z krabbeln. Die Augen des Käfers sind verbunden. Der Käfer tastet sich an den Kanten eines Würfels entlang. Der Käfer bleibt an jeder Ecke stehen und macht eine glückliche Wendung. Aber er kehrt nie zurück. Nach drei Kanten ist der Käfer müde und bleibt stehen.

In der Abbildung geht der Käfer zunächst entlang der roten Kante. Wenn er am Ende der roten Kante auf die hellblaue Kante und am Ende der hellblauen Kante auf die rosa Kante abbiegt, kommt er bei Z an. Wenn er jedoch in der Reihenfolge rot-schwarz-orange krabbelt, kommt er nach drei Kanten nicht bei Z an.

Wie viele Wege sind möglich? Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Käfer sein Ziel erreicht?

In den Abbildungen 1 bis 3 sind die Auszüge aus den gebärdensprachlichen Darstellungen eines Beispiels für einen günstigen und einen ungünstigen Pfad mit dem Kantenmodell und der entsprechenden Position des Käfers im Modellraum bzw. in den Ecken des Würfels verknüpft.



Abbildung 1: Günstiger Pfad
"Der Käfer hat sein Ziel erreicht"



Abbildung 2: Ungünstiger Pfad
"Ziel verfehlt"



Abbildung 3: Die Gebärde für
"Wahrscheinlichkeit" oder "Zufall"

Mit Blick auf gehörlose Lernende halten wir es für sinnvoll, farbige Kanten im Modell oder in der Zeichnung vorzusehen. In Variante A für Kinder, die DGS gerade erst lernen, wird ein physisches Kantenmodell gezeigt und alle Sätze werden am Kantenmodell demonstriert. In Variante B für Kinder, die die DGS gut beherrschen, wird das physikalische Modell nicht gezeigt, sondern nur gezeichnet. Das Bild kann eingeblendet werden.

Um das Konzept hinter der Problemlösung zu veranschaulichen, empfehlen wir, ein Baumdiagramm zu zeichnen (Abb. 4), das die Entscheidungen des Käfers an jeder Ecke visualisiert. Am Startpunkt A kann er grün, blau-gestrichelt oder rot wählen. Hat er sich für Grün entschieden und ist entlang dieser grünen Kante gekrabbelt, steht er vor der Wahl zwischen Blau und Orange, da er nicht zurückkrabbeln wird. Ist er nun entlang der orangefarbenen Kante gekrochen, bleibt ihm nur noch die Wahl zwischen lila und schwarz. Entscheidet er sich für Lila, kommt er bei Z an. Sein Weg ist auf dem dritten Würfel von oben zu sehen. Entscheidet er sich für Schwarz, verfehlt er sein Ziel, wie der vierte Würfel zeigt.

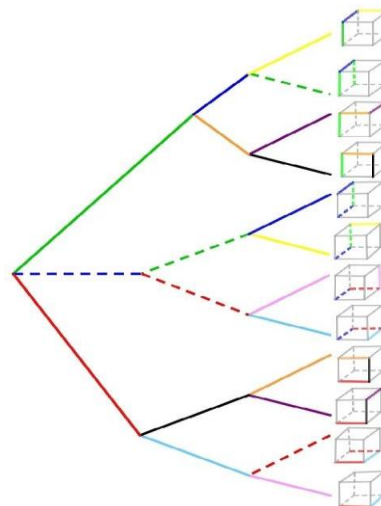


Abbildung 5: Baumdiagramm für die Käferaufgabe

Das Baumdiagramm ist ein wichtiges Werkzeug in der Kombinatorik und der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Es strukturiert und modelliert die reale Situation und erfasst systematisch alle Fälle. Wie jedes Visualisierungswerkzeug muss auch das Baumdiagramm von den Lernenden erlernt werden. Die Farben im Baumdiagramm entsprechen den Farben der Kanten des Würfels.



[IS-Video](#)



[DGS-Video](#)

6) Gebärdengeometrie -Swetlana Nordheimer, Tino Sell

Dieser Beitrag konzentriert sich auf den Unterricht in gebärdeter Geometrie für gehörlose Lernende und gibt ein konkretes Unterrichtsbeispiel für das **Volumen eines Würfels**. In Anlehnung an den von Rosanova (1991) aufgestellten theoretischen Rahmen der mathematischen Fähigkeiten gehörloser Lernender schlagen wir vor, der Entwicklung des **verbal-logischen** und des **visuell-imaginativen** Denkens gehörloser Kinder, als ein Zusammenspiel von Komponenten, mehr Aufmerksamkeit zu schenken. Weitergehend und basierend auf neueren empirischen Erkenntnissen schlagen wir den bewussten und gezielten Einsatz von Gebärdensprachen im Geometrieunterricht vor.

Die empirischen Ergebnisse zum Geometrieunterricht für gehörlose Lernende lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Leistung bei der Aufgabe "Räumliche Beziehungen" hängt mit den Sprachfähigkeiten der gehörlosen Teilnehmerinnen und Teilnehmer in der von ihnen bevorzugten Modalität (Gebärden- oder Lautsprache) zusammen. Die bevorzugte Kommunikations- und Unterrichtsform zu nutzen und zu fördern scheint wichtiger zu sein als sich nur auf die spezifische Visualisierung mathematischer Ideen zu konzentrieren.
- Gebärdensprachen scheinen für viele gehörlose Schulkinder nicht nur die bevorzugte Kommunikationsform zu sein, sondern auch das Werkzeug, das ihnen hilft, geometrische Objekte wahrzunehmen, sich Konzepte zu merken und Probleme zu lösen.
- Geometrie scheint eine Stärke von gehörlosen Kindern zu sein und kann als Hilfsmittel für den Unterricht in anderen mathematischen Bereichen wie der Arithmetik genutzt werden.
- Für den Geometrieunterricht ist es wichtig, aktive Operationen mit Modellen und Visualisierungen zu verbinden, die in die Sprache eingebettet sind, um den Lernenden zu helfen, nicht nur konkrete bildliche, sondern auch schematische Darstellungen der abstrakten geometrischen Konzepte zu erzeugen.
- Die räumliche Geometrie scheint eine entscheidende Rolle in der mathematischen Entwicklung von Kindern zu spielen.

In Übereinstimmung mit dem theoretischen Rahmen und den empirischen Ergebnissen schlagen wir vor, gehörlosen Schülerinnen und Schülern nicht nur die Möglichkeit zu geben, visuelle Bilder durch Gebärden zu erzeugen, sondern auch Wege für den kontrollierten Einsatz von gebärdeten geometrischen Visualisierungen zu finden. Im Geometrieunterricht kann dies auf drei Arten erreicht werden.

- Erstens kann es hilfreich sein, den Lernenden klarzumachen, ob das Bild oder die Visualisierung ein konkretes Beispiel darstellt oder ob es darum geht, allgemeine Aussagen zu visualisieren.

- **Konventionelle** und **produktive Gebärden** und Gesten könnten als Instrumente für die kontrollierte Nutzung geometrischer Bilder zur Lösung mathematischer Probleme eingesetzt werden.
- Variationen geometrischer Darstellungen und die Bildung **geometrischer Muster** aus vielen verschiedenen Fällen können hilfreich sein, um gehörlosen Lernenden beizubringen, wie sie geometrische Darstellungen verallgemeinern und allgemeine Aussagen ableiten können, indem sie viele Fälle untersuchen und miteinander vergleichen. In diesem Beitrag wird anhand eines Beispiels gezeigt, wie dies im Geometrieunterricht erreicht werden kann, wenn man sich auf das Volumen eines Würfels bezieht.

Um theoretische Überlegungen und praktische Empfehlungen für den Geometrieunterricht miteinander zu verbinden, illustrieren wir sie mit einem Unterrichtsbeispiel. Es ist von großer Bedeutung, dass die Gebärdensprache die Modelle und Visualisierungen von Anfang an miteinander verbindet und zur Entwicklung konkreter, aber auch schematischer Bilder beiträgt.

Die Arbeit mit schematischen Bildern kann zur Entwicklung abstrakter Ideen beitragen. Es gibt verschiedene Ansätze, die auf das Thema angewendet werden können. Zum Beispiel könnten Lehrkräfte im Werkunterricht gemeinsam mit den Lernenden Knet-, Käse-, Seifen- oder sogar Holzwürfel in kleinere Würfel schneiden oder sägen. Entscheidend ist, dass die Handlungen einerseits durch von den Handlungen abgeleitete Gebärden und Gesten eingeführt und andererseits durch Videos, Modelle und Bilder dokumentiert werden.



Abbildung 1: $16+16+16+16$



Abbildung 2: $4 \times 4 \times 4 \times 4 = 64$

Wir schlagen vor, mit einem Holzwürfel mit einem Volumen von 64ccmm^3 zu beginnen, um einerseits die geometrische Idee des Volumens einzuführen und andererseits eine konkrete kubische Zahl 64 zu visualisieren. Die Zahl bzw. der Wert kann als Ergebnis der dreifachen Multiplikation der gleichen Zahl 4 interpretiert werden. Der konkrete Wert für das Volumen kann als die Anzahl der kleinen Würfel in Höhe, Länge und Breite des Würfels interpretiert werden. Er kann auch in vier Portionen von 16 kleinen Würfeln aufgeteilt werden.

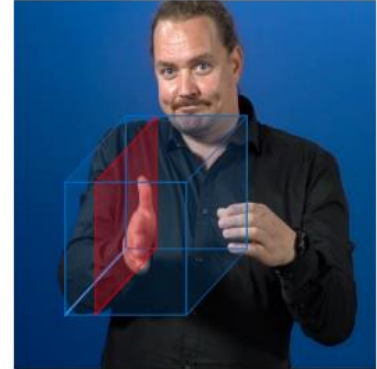
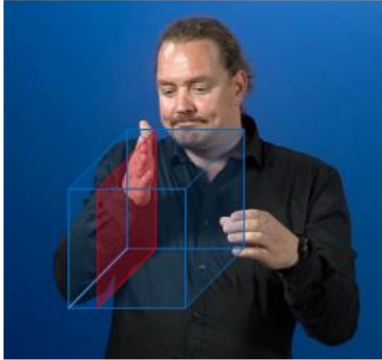


Abbildung 2: Schneiden eines Würfels durch parallele Ebenen in Deutscher Gebärdensprache (DGS)

Danach kann die Lehrkraft das Problem in Gebärdensprache darstellen und die Lernenden auffordern, zu gebärden und ihnen die Möglichkeit geben, den Würfel nicht nur im Holzmodell oder in den visuell wahrgenommenen Gebärden zu sehen, sondern ihn auch in ihren Händen zu "fühlen" und zu formen, indem sie die Gebärden selbst wiederholen. Sie können mit einem unsichtbaren Würfel arbeiten, indem sie ihn in kleinere Würfel schneiden und ihre Gebärden mit einem Holzmodell wieder zusammensetzen. Um das Muster zu entdecken und das Konzept zu verallgemeinern, kann die gebärdensprachliche Beschreibung des Würfels wiederholt und mit anderen Würfelzahlen wie 8, 27 oder sogar 1000 variiert werden.

Um die geometrische Struktur des Problems eingehend zu analysieren, könnte es hilfreich sein, Zeichnungen oder GeoGebra-Skizzen in gebärdete Versionen des Problems zu integrieren oder mit mehreren Screenshots zu arbeiten, die als Bildgeschichte des Problems präsentiert werden (siehe Abbildung 2). Zum Abschluss unserer Überlegungen laden wir die Lehrkräfte als Experten auf diesem Gebiet ein, uns kritische Kommentare zu geben und weitere und neue Beispiele zu entwickeln, die die spezifischen Talente und Bedürfnisse der konkreten Lernenden berücksichtigen.



[IS-Video](#)



[DGS-Video](#)

Literatur

- Affolter W., Amstad, H., Beerli, G., Doebeli, M., Hurschler H., Jaggi, B., Jundt, W., Krummenacher, R., Nydegger, A., Wälti, B., & Wieland, G. (2011). *Das Mathematikbuch 7*. Ernst Klett Verlag.
- Angeloni, F. (2023). Gebärden über Variablen unter dem Gegenstandsaspekt. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2022* (S. 529–532). WTM Verlag.
<https://doi.org/10.17877/DE290R-23545>.
- Angeloni, F. (accepted). Die Ikonizität der Gebärden über Variablen unter dem Einsetzungs-aspekt. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2024*.
- Angeloni, F., Wille, A. M., & Hausch, C. (2023). Signing about elementary algebra in Austrian Sign Language: What signs of the notion of variable can represent. In J. Hodgen, E. Geraniou, G. Bolondi & F. Ferretti (Hrsg.), *Proceedings of the Twelfth Congress of European Research Society in Mathematics Teaching (CERME12)* (S.4218–4225). Free University of Bozen-Bolzano and ERME.
<https://hal.science/hal-03765017>.
- Angeloni, F., & Wille, A. M. (2022). Bimodal-bilinguale Lernumgebungen: der Satz des Pythagoras in Österreichischer Gebärdensprache. *Das Zeichen*, 36(118), 134-147.
- Angeloni, F., Wille, A. M., & Hausch, C. (2024). Representation of numbers and variables in Austrian Sign Language. In P. Drijvers, C. Csapodi, H. Palmér, K. Gosztonyi, & E. Kónya (Hrsg.), *Proceedings of the Thirteenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME13)* (S. 4385–4392). Alfréd Rényi Institute of Mathematics and ERME. <https://hal.science/hal-04407918v1>
- Aspinwall, L., Shaw, K. L., & Presmeg, N. C. (1997). Uncontrollable mental imagery: graphical connections between a function and its derivative. *Educational Studies in Mathematics*, 33, 301-317,
<https://doi.org/10.1023/A:1002976729261>
- Barth, I., Illmer, B., Robert Jasko, R., Löffler, J., & Uta, M. (2022). Entwicklung eines MINT-Fachgebärdenlexikons: Von der Idee bis zur Umsetzung des „Sign2MINT“-Projekts. *Das Zeichen*, 36(119), 150–176.
- Becker, C. (2019). Inklusive Sprachbildung. Impulse aus der Gebärdensprach- und Audiopädagogik. In L. Rödel, & T. Simon (Hrsg.), *Inklusive Sprach(en)bildung. Ein interdisziplinärer Blick auf das Verhältnis von Inklusion und Sprachbildung* (S. 72-86). Forschung Klinkhardt. <https://elibrary.utb.de/doi/pdf/10.35468/9783781557512>
- Becker, N. (2006). *Die neurowissenschaftliche Herausforderung der Pädagogik*. Klinkhardt Forschung.
- Blatto-Vallee, G., Kelly, R. R., Gaustad, M. G., Porter, J., & Fonzi, J. (2007). Visual spatial representation in mathematical problem solving by deaf and hearing students. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 12(4), 432–448.
<https://doi.org/10.1093/deafed/enm022>
- Bogdanova, T. G. (2021). Žestovaja reč' i psichičeskoe razvitie gluchich detej: sovremennoe sostojanie voprosa (obzor zarubežnych issledovanij). *Kliničeskaja i special'naja psihologija*, 10(2), 3–22,
<https://doi.org/10.17759/cpse.2021100202>.
- Bogdanova, T. (2021). Sign Language and Psychological Development of Deaf Children: State-of-the-Art (Foreign Studies Review). *Clinical psychology and special education*, 10(2), 3-22. <https://orcid.org/0000-0002-5886-6494>.
- Brennan, M. (2000). *Fair assessment for deaf candidates: A report to the Scottish Qualifications Authority*. University of Edinburgh.
- Brien, D. (1993). *The Dictionary of British Sign Language*. Faber & Faber, London.
- Cameron, A., Quinn, G., & O'Neill, R. (2012). *Development of Physics and Engineering Signs in British Sign Language. Final Report to the STEM Disability Committee and the Royal Academy of Engineering*. SSC.
- Cameron, A. (2015). *The development of astronomy signs and analysis of impact on deaf and hearing communities* [presentation].

https://www.researchgate.net/publication/281593745_The_development_of_astronomy_signs_and_analysis_of_impact_on_deaf_and_hearing_communities

- Cameron, A., O'Neill, R., & Quinn, G. (2017). Deaf students using sign language in mainstream science classrooms. In A. Oliveira & M. Weinburgh (Hrsg.), *Science Teacher Preparation in Content-Based Second Language Acquisition* (S. 341-360). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-43516-9>
- Cameron, A., O'Neill, R., & Quinn, G. (2019). Deaf Scientists create new technical terminology in British Sign Language. *Physiology News*, 115, 26.
- Cameron, A. (2024). *Signing to Know research (2021-2026) – classroom observations of dialogue*.
- Campbell, K. J., Collis, K. F., & Watson, J. (1995). Visual processing during mathematical problem solving. *Educational Studies in Mathematics*, 28, 177-194.
<https://doi.org/10.1007/BF01295792>
- Chen, L., & Wang, Y. (2020). The contribution of general cognitive abilities and specific numerical abilities to mathematics achievement in students who are deaf or hard-of-hearing. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 33, 771–787.
<https://doi.org/10.1007/s10882-020-09772-8>
- Chen, L. (2022). Spatial ability and mathematics achievement in deaf children: the mediating role of processing Speed and Intelligence. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 34, 399–415.
<https://doi.org/10.1007/s10882-021-09805-w>
- Clark, K., Sheikh, A., Swartzenberg, J., Gleason, A., Cummings, C., Dominguez, J., Mailhot, M., & Collison, C. G. (2021). Sign Language Incorporation in Chemistry Education (SLICE): Building a Lexicon to Support the Understanding of Organic Chemistry. *Journal of chemical education*, 99(1), 122–128. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01368>
- Cohen, S. (2024). Using a Language Community to Unlock the Abstractness of Signed Language. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 29(2), 282-283.
- D'jačkov, A. (1961). Cistemy obučeníja gluchich detej. *Akademija pedagogičeskich nauk RSFCR*.
- De Jong, O., & Taber, K. S. (2007). Teaching and Learning the Many Faces of Chemistry. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research in science education*. (S. 631–652). Routledge New York.
- Devlin, K. J. (1998). *Muster der Mathematik: Ordnungsgesetze des Geistes und der Natur*. Spektrum.
- Di Luca, S., & Pesenti, M. (2011). Finger numeral representations: More than just another symbolic code. *Frontiers in psychology*, 2, 28-30.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00272>
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., & Mortimer, E. (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (2014). *Making Sense of Secondary Science: Research into children's ideas* (2nd ed.). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315747415>
- Edwards, A., Edwards, L., & Langdon, D. (2013). The mathematical abilities of children with cochlear implants. *Child neuropsychology: a journal on normal and abnormal development in childhood and adolescence*, 19(2), 127–142. <https://doi.org/10.1080/09297049.2011.639958>
- Emmorey K. (2023). Ten things you should know about sign languages. *Current directions in psychological science*, 32(5), 387–394.
<https://doi.org/10.1177/09637214231173071>
- Enderle, P., Cohen, S., & Scott, J. (2020). Communicating about science and engineering practices and the nature of science: An exploration of American Sign Language resources. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(6), 968-995.

- Fleri, V. I. (1835). *Deaf-mutes considered in relation to their condition and to the modes of education that are inherent in their nature*. Plushar.
- Flores, A., & Rumjanek, V. (2015). Teaching Science to Elementary School Deaf Children in Brazil. *Creative Education*, 6, 2127-2135.
<https://doi.org/10.4236/ce.2015.620216>
- Frick, A. (2019). Spatial transformation abilities and their relation to later mathematics performance. *Psychological Research*, 83, 1465–1484.
<https://doi.org/10.1007/s00426-018-1008-5>
- Gates, P. (2017). The Importance of Diagrams, Graphics and Other Visual Representations in STEM Teaching. In *STEM Education in the Junior Secondary* (S. 169–196). Springer Singapore Pte. Limited.
- Groninger, H., & Sieprath, H. (2019). Visuelles Begreifen mit der Signcreative Spiel- und Lernplattform. In S. Hornäk, S. Henning & D. Gernand (Hrsg.). *In der Praxis: Inklusive Möglichkeiten künstlerischen und kunstpädagogischen Handelns* (S. 71-80). Kopaed.
- Grote, K., & Kramer, F. (2009). Haben Gehörlose beim Rechnen mehr Schwierigkeiten als Hörende? *Das Zeichen*, 22(82), 276-283.
- Grote, K., & Linz, E. (2003). The influence of sign language iconicity on semantic conceptualization. In W. G. O. Fischer (Ed.), *From sign to signing* (S. 23–40). John Benjamins. <https://doi.org/10.1075/ill.3>
- Grote, K., Sieprath, H., & Staudt, B. (2018). Deaf Didaktik? Weshalb wir eine spezielle Didaktik für den Unterricht in Gebärdensprache benötigen. *DAS ZEICHEN. Zeitschrift für Sprache und Kultur Gehörloser*, 110, 426–437.
- Grote, K., Sieprath, H., & Staudt, B. (2018). Deaf Didaktik? Weshalb wir eine spezielle Didaktik für den Unterricht in Gebärdensprache benötigen. *DAS ZEICHEN. Zeitschrift für Sprache und Kultur Gehörloser*, 110, 2-13.
- Hansen, E. G., Loew, R. C., Laitusis, C. C., Kushalnagar, P., Pagliaro, C. M., & Kurz, C. (2018). Usability of American Sign Language Videos for Presenting Mathematics Assessment Content. *The journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 23(3), 284–294.
<https://doi.org/10.1093/deafed/eny008>
- Hänel-Faulhaber, B., Schäfer, K., & Werner, V. (2023). *Mathematiklernen im Förderschwerpunkt Hören und Kommunikation. Leitlinien guter Unterricht*. Arbeitskreis Unterricht, Berufsverband Deutscher Hörgeschädigtenpädagogen e. V. <https://bdh-guter-unterricht.de/fachdidaktiken/mathematik>
- Henner, J., Pagliaro, C., Sullivan, S., & Hoffmeister, R. (2021). Counting Differently: Assessing Mathematics Achievement of Signing Deaf and Hard of Hearing Children Through a Unique Lens. *American annals of the Deaf*, 166(3), 318-341.
<https://doi.org/10.1353/aad.2021.0023>
- Hickman, J. (2013). Using British Sign Language (BSL) in science education. Guest Royal Society of Biology Blog.
- Higgins, J. A., Famularo, L., Cawthon, S. W., Kurz, C. A., Reis, J. E., & Moers, L. M. (2016). Development of American Sign Language Guidelines for K-12 Academic Assessments. *The journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 21(4), 383-393. <https://doi.org/10.1093/deafed/enw051>
- Höst, G., Schönborn, K. J., & Tibell, L. (2022). Visual images of the biological microcosmos: Viewers' perception of realism, preference, and desire to explore. *Front. Educ.*, (7:933087).
<https://doi.org/10.3389/educ.2022.933087>
- Jaškova, N. V. (1998) Nagljadnoe myšlenie gluchich detej. *Pedagogika*.
- Jäger, J., & Schupp, H. (1983). Curriculum Stochastik in der Hauptschule. *Schöningh*.
- Johnson, M. (1987). The body in the mind: The bodily basis of meaning, imagination, and reason. *University of Chicago Press*.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.

- Joice, W., & Tetlow, A. (2021). Disability STEM data for students and academic staff in higher education 2007/08 to 2018/19. *Jisc*.
- Jones, L. (2014). Developing Deaf Children's Conceptual Understanding and Scientific Argumentation Skills: A Literature Review. *Deafness & Education International*, 16(3), 146–160. <https://doi.org/10.1179/1557069X13Y.0000000032>
- Känguru der Mathematik. (2022). Adventskalender in Gebärdensprache. <https://www.mathe-kaenguru.de/advent/gebaerden/index.html>
- Khokhlova, A. (2013). Role of sign language in intellectual and social development of deaf children: Review of foreign publications. *Journal of modern foreign psychology*, 2(4), 59–68. https://psyjournals.ru/en/journals/jmfp/archive/2013_n4/65488
- Kiernan, N., Manches, A., & Seery, M. K. (2021). The role of visuospatial thinking in students' predictions of molecular geometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 22, 626–639. <https://doi.org/10.1039/D0RP00354A>
- Kiernan, N., Manches, A., & Seery, M. (2024). Resources for reasoning of chemistry concepts: multimodal molecular geometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 25.
- Kolmogorov, A. N. (2001). O razvitii matematičeskich sposobnostej. *Pis'mo V. A. Kruteckomu, Voprosy psichologii*, 3, 103–106.
- Krajewski, K. (2018). *MBK O. Test mathematischer Basiskompetenzen im Kindergartenalter*. Hogrefe.
- Korvorst, M., Nuerk, H.-C., & Willmes, K. (2007). The Hands Have It: Number Representations in Adult Deaf Signers. *The journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 12(3), 362–372. <https://doi.org/10.1093/deafed/enm002>
- Krause, C. M. (2016). DeafMath – Ein Projekt zum Einfluss der Gebärdensprache auf Mathematikverständnis. In *Beiträge zum Mathematikunterricht 2016. Vorträge auf der 50. Tagung für Didaktik der Mathematik vom 07.03.2016 bis 11.03.2016 in Heidelberg* (S. 577–580). WTM Münster.
- Krause, C. M. (2017). DeafMath: Exploring the influence of sign language on mathematical conceptualization. In T. Dooley & G. Gueudet (Hrsg.), *Proceedings of the Tenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME10, February 1-5, 2017)* (S. 1316–1323). Dublin, Ireland: DCU Institute of Education and ERME.
- Krutetskii, V. A. (1976). *The psychology of mathematical abilities in schoolchildren*. University of Chicago Press.
- Kultusministerkonferenz. (2003). Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 4.12.2003. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2003/2003_12_04-Bildungsstandards-Mathe-Mittleren-SA.pdf
- Kultusministerkonferenz. (2004). Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Primarbereich. Beschluss vom 15.10.2004, i.d.F. vom 23.06.2022. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2022/2022_06_23-Bista-Primarbereich-Mathe.pdf
- Kurz, C., & Pagliaro, C. M. (2019). Using L1 sign language to teach mathematics. In *The Routledge handbook of sign language pedagogy* (S. 85–99). Routledge.
- Kusters, A., & Hou, L. (2020). Linguistic Ethnography and Sign Language Studies. *Sign Language Studies*, 20(4), 561–571. <https://doi.org/10.1353/sls.2020.0018>
- Kutscher, S. (2010). Ikonizität und Indexikalität im gebärdensprachlichen Lexikon – Zur Typologie sprachlicher Zeichen. *Zeitschrift für Sprachwissenschaft*, 29(1), 79–109. Walter de Gruyter GmbH. <https://doi.org/10.1515/zfs.2010.00>
- Lang, H. G., Hupper, M. L., Monte, D. A., Brown, S. W., Babb, I., & Scheifele, P. M. (2007). A study of technical signs in science: implications for lexical database development. *Journal of deaf studies and deaf education*, 12(1), 65–79. <https://doi.org/10.1093/deafed/enl018>

- Langdon, C., Kurz, C., & Coppola, M. (2023). The Importance of Early Number Concepts for Learning Mathematics in Deaf and Hard of Hearing Children. *Perspectives on early childhood psychology and education*, 5(2).
- Leikin, R. (2021). When practice needs more research: the nature and nurture of mathematical giftedness. *ZDM – Mathematics Education*, 53, 1579 – 1589.
<https://doi.org/10.1007/s11858-021-01276-9>
- Leybaert, J., & Van Cutsem, M.-N. V. (2002). Counting in sign language. *Journal of experimental child psychology*, 81(4), 482–501. <https://doi.org/10.1006/jecp.2002.2660>
- Loots, G., Devisé, I., & Jacquet, W. (2005). The impact of visual communication on the intersubjective development of early parent-child interaction with 18- to 24-month-old deaf toddlers. *The journal of Deaf studies and Deaf education*, 10(4), 357–375. <https://doi.org/10.1093/deafed/eni036>
- Lindahl, C. (2015). Tecken av betydelse: En studie av dialog i ett multimodalt, teckenspråkigt tvåspråkigt NO-klassrum. (PhD dissertation, Institutionen för matematikämnet och naturvetenskapsämnenas didaktik, Stockholms universitet).
- Lindahl, C. (2021). 6 Sign Bilingualism as Semiotic Resource in Science Education: What Does It Mean?. In K. Snoddon & J. Weber (Hrsg.), *Critical Perspectives on Plurilingualism in Deaf Education* (S. 129-148). Bristol, Blue Ridge Summit: Multilingual Matters. <https://doi.org/10.21832/9781800410756-009>
- Lualdi, C. P., Spiecker, B., Wooten, A. K., & Clark, K. (2023). Advancing scientific discourse in American Sign Language. *Nature Reviews Materials*, 8, 645–650.
<https://doi.org/10.1038/s41578-023-00575-9>
- Lualdi, C. P., Spiecker, B., & Clark, A. K. (2023). Advancing scientific discourse in American Sign Language. *Nature Reviews Materials*, 8(10), 645-650.
<https://www.nature.com/articles/s41578-023-00575-9>
- Malle, G. (1993). *Didaktische Probleme der elementaren Algebra*. Springer.
- Marschark, M., & Knoors, H. (2012). Sprache, Kognition und Lernen – Herausforderungen an die Inklusion gehörloser und schwerhöriger Kinder. In M. Hintermair (Ed.), *Inklusion und Hörschädigung. Diskurse über das Dazugehören und Ausgeschlossen sein im Kontext besonderer Wahrnehmungsbedingungen* (S. 129-176). Median.
- Marschark, M., Paivio, A., Spencer, L. J., Durkin, A., Borgna, G., Convertino, C., & Machmer, E. (2017). Don't Assume Deaf Students are Visual Learners. *Journal of developmental and physical disabilities*, 29(1), 153-171. <https://doi.org/10.1007/s10882-016-9494-0>
- Marschark, M., & Knoors, H. (2012). Sprache, Kognition und Lernen – Herausforderungen an die Inklusion gehörloser und schwerhöriger Kinder. In M. Hintermair, *Diskurs über das Dazugehören und Ausgeschlossen sein im Kontext besonderer Wahrnehmungsbedingungen*, 129–176. Median.
- Marschark, M., Spencer, L. J., Durkin, A., Borgna, G., Convertino, C., Machmer, E., Kronenberger, W. G., & Trani, A. (2015). Understanding language, hearing status, and visual-spatial skills. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 20(4), 310–330, <https://doi.org/10.1093/deafed/env025>
- Masataka, N., Ohnishi, T., Imabayashi, E., Hirakata, M., & Matsuda, H. (2006). Neural Correlates for Numerical Processing in the Manual Mode. *The journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 11(2), 144–152. <https://doi.org/10.1093/deafed/enj017>
- Masataka, N. (2006). Differences in Arithmetic Subtraction of Nonsymbolic Numerosities by Deaf and Hearing Adults. *The journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 11(2), 139-143. Retrieved from <https://doi.org/10.1093/deafed/enj016>.
- Meara, R., Cameron, A., Quinn, G., & O'Neill, R. (2016). Development of Geography and Geology Terminology in British Sign Language. *Geophysical Research Abstracts*, 18, (EGU2016-12390).
- Mercer, N., & Littleton, K. (2007). *Dialogue and the development of children's thinking: a sociocultural approach*. London, New York. Routledge.

- Morford, J. (1996). Insights to Language from the Study of Gesture: a Review of Research on the Gestural Communication of Non-signing Deaf People. *Language & communication*, 16(2), 165–178. [https://doi.org/10.1016/0271-5309\(96\)00008-0](https://doi.org/10.1016/0271-5309(96)00008-0)
- NASA Science (n.d.)
- Mercury Facts: <https://science.nasa.gov/mercury/>
- Venus Facts: <https://science.nasa.gov/venus/>
- Earth Facts: <https://science.nasa.gov/earth/facts/>
- Mars Facts: <https://science.nasa.gov/mars/>
- Jupiter Facts: <https://science.nasa.gov/jupiter/>
- Saturn Facts: <https://science.nasa.gov/saturn/>
- Uranus Facts: <https://science.nasa.gov/uranus/facts/>
- Neptune Facts: <https://science.nasa.gov/neptune/facts/>
- Neville, H. J., Bavelier, D., Corina, D., Rauschecker, J., Karni, A., Lalwani, A., & Turner, R. (1998). Cerebral organization for language in deaf and hearing subjects: biological constraints and effects of experience. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(3), 922–929. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.3.922>
- Nineteenth Annual Report of the Columbia Institution for the Deaf and Dumb. (1876). *Gallaudet University Annual Report from 1858 to 1967*. Government Printing Office.
- Niss, M. (2019). The very multi-faceted nature of mathematics education research. *For the Learning of Mathematics*, 39(2), 2-7, <https://www.jstor.org/stable/26757463>.
- Nordheimer, S., Marlow, A., & Scholtz, J. (2024). Fostering mathematical creativity and talents with mathematical problems and competitions in German Sign Language. *The 13th International Group for Mathematical Creativity and Giftedness (IMCGC)*, Bloemfontein, South Africa.
- Nunes, T. (2020). Deaf Children, Special Needs, and Mathematics Learning. In S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of Mathematics Education* (S. 181-183). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15789-0_42.
- Nunes, T. (2004). *Teaching mathematics to deaf children*. Whurr.
- Nunes, T., & Moreno, C. (2002). An intervention program for promoting deaf pupils' achievement in mathematics. *The journal of Deaf studies and Deaf Education*, 7(2), 120-133. <https://doi.org/10.1093/deafed/7.2.120>.
- Nunes, T., & Moreno, C. (1998). The Signed Algorithm and Its Bugs. *Educational studies in mathematics*, 35(1), 85-92. <https://doi.org/10.1023/A:1003061009907>.
- O'Neill, R., Quinn, G., & Cameron, A. (2019). Learning the lingo: How deaf scientists create new technical terminology in British Sign Language. *Physiology News*, 115, 26.
- O'Neill, R., Cameron, A., Burns, E., & Quinn, G. (2020). Exploring alternative assessments for signing deaf candidates. *Psychology in the Schools*, 57(3), 344-361.
- Pabis, S., & Catalano, J. (2023). Explicit and Contextualized Math Vocabulary Instruction With Deaf and Hard-of-Hearing Students. *The journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 28(4), 424–425. <https://doi.org/10.1093/deafed>
- Pagliari, C. M., & Kritzer, K. L. (2013). The Math Gap: a description of the mathematics performance of preschool-aged deaf/hard-of-hearing children. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 18(2), 139–160, <https://doi.org/10.1093/deafed/ens070>
- Papaspyrou, C., Meyenn, A. v., Matthaei, M., & Herrmann, B. (2008). *Grammatik der Deutschen Gebärdensprache aus der Sicht gehörloser Fachleute*. Signum.
- Parasnis, I., Samar, V. J., Bettger, J., & Sathe, K. (1996). Does deafness lead to enhancement of visual spatial cognition in children? Negative evidence from deaf nonsigners. *Journal of Deaf studies and Deaf education*, 1(2), 145-52.

<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.deafed.a014288>

- Pitta-Pantazi, D., & Christou, C. (2010). Spatial versus object visualisation: The case of mathematical understanding in three-dimensional arrays of cubes and nets. *International Journal of Educational Research*, 49, 102-114.
<https://doi.org/10.1016/j.ijer.2010.10.001>
- Polya, G. (1969). Mathematik und Plausibles Schließen. *Wissenschaft und Kultur*.
- Presmeg, N.C. (1986). Visualisation and mathematical giftedness. *Educational Studies in Mathematics*, 17, 297-311. <https://doi.org/10.1007/BF00305075>
- Rainò, P., & Halkosaari, O. A. (2018). The deaf way of interpreting mathematical concepts. In C. Stone (Ed), *Deaf interpreting in Europe. Exploring best practice in the field* (S. 10-20). Danish Deaf Association.
- Rathmann, C., Mann, W., & Morgan, G. (2007). Narrative structure and narrative development in deaf children. *Deafness & Education International*, 9(4), 187-196.
<https://doi.org/10.1002/dei.228>
- Raven, S., & Whitman, G. M. (2019). Science in Silence: How Educators of the Deaf and Hard-of-Hearing Teach Science. *Research in Science Education (Australasian Science Education Research Association)*, 49(4), 1001–1012. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-9847-7>
- Reid, N. (2021). *The Johnstone triangle : the key to understanding chemistry*. Royal Society of Chemistry.
- Roth, J. (2013). Vernetzen als durchgängiges Prinzip – Das Mathematik-Labor „Mathe ist mehr“. In A. S. Steinweg (Ed.), *Mathematik vernetzt. Band 3 der Reihe „Mathematikdidaktik Grundschule“* (S. 65-80), University of Bamberg Press.
- Rosanova, T. (1991). *The development of abilities in deaf children. Pedagogika*.
- Rosanova, T. (1978). *The development of memory and thinking of deaf children. Pedagogika*.
- Rosanova, T. (1971). Memory. In I. Solovjev, Z. Shif, T. Rosanova & N. Yashkova, *The psychology of deaf children*, 87-124. Enlightenment.
- Rozanova, T. (1966). Psychologija rešenija zadač gluchimi škol'nikami. *Prosveščenie*.
- Rozanova, T. (1978). Razvitie pamjati i myšlenija gluchich detej. *Pedagogika*.
- Rozanova, T. (1991). Razvitie sposobnostej gluchich detej. *Pedagogika*.
- Ruf, U., & Gallin, P. (1999). *Ich mache das so! Wie machst du es? Das machen wir ab. Sprache und Mathematik, 4.-5. Schuljahr bzw. 5.-6. Schuljahr*. Lehrermittelverlag.
- Santos, S., Brownell, H., Coppola, M., & Cordes, A. S. (2023). Language experience matters for the emergence of early numerical concepts. *NPJ science of learning*, 8(1).
<https://doi.org/10.1038/s41539-023-00202-w>.
- Santos, S., & Cordes, S. (2022). Math abilities in deaf and hard of hearing children: The role of language in developing number concepts. *Psychological Review*, 129(1), 199-211.
<https://doi.org/10.1037/rev0000303>
- Scott, J., Henner, J., & Skyer, M. (2023). Six Arguments for Vygotskian Pragmatism in Deaf Education: Multimodal Multilingualism as Applied Harm Reduction. *American annals of the Deaf*, 168(1), 56-79.
- Schäfer, K., Gohmann, L., Westerhoff, H., & Schindler, M. (2022). Gebärdensprachvideos als Hilfe beim Bearbeiten mathematischer Textaufgaben bei gehörlosen Schüler:innen: Eine schulische Intervention mit Tablet-Computern. *DAS ZEICHEN.. Zeitschrift für Sprache und Kultur Gehörloser*, 118, 1-18.
- Secora, K., & Emmorey, K. (2020). Visual-Spatial Perspective-Taking in Spatial Scenes and in American Sign Language. *Journal of deaf studies and deaf education*, 25(4), 447–456,
<https://doi.org/10.1093/deafed/ena006>
- Sign Language Dictionary (2018). SpreadTheSign. <https://www.spreadthesign.com>
- Sill, H.-D., & Kurtzmann, G. (2019). *Didaktik der Stochastik in der Primarstufe*. Springer Spektrum.
- Skyer, M. E. (2023). Multimodal transduction and translanguaging in deaf pedagogy. *Languages*, 8(2), 27-167.
<https://doi.org/10.3390/languages8020127>

- Soeharto, S., & Csapó, B. (2021). Evaluating item difficulty patterns for assessing student misconceptions in science across physics, chemistry, and biology concepts. *Heliyon*, 7(11).
- STEM in Sign Language. (2023). Mathe-Adventskalender in DGS. <https://stemsil.eu/mathe-adventskalender/?lang=de>
- Sture, T. K. (1984) Osobennosti razvitija myšlenija gluchich učaščichsja pri rešenii zabač po fizike. *Akademija pedagogičeskich nauk RSFSR*.
- Suchova, V. B. (1966). Obučenie nagljadnoj geometrii v škole dlja gluchich. *Akademija pedagogičeskich nauk RSFSR*.
- Suchova, V. (1966). Teaching visual geometry in a school for the deaf. *Academy of Pedagogical Sciences of the RSFSR*.
- Suchova, V. (2002). Teaching Mathematics in Preparatory-IV Grades of Schools for Deaf and Hard of Hearing Children. In *Textbook for universities / V. B. Sukhova - Moscow: Academy* (184).
- Szűcs, K. (2019). Do hearing-impaired students learn mathematics in a different way than their hearing peers? – A review. In U. T. Jankvist, M. Van den Heuvel-Panhuizen & M. Veldhuis (Hrsg.), *Proceedings of the Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME 11)*. Utrecht, Netherlands (S. 4696-4703).
- Tabak, J. (2014). What Is Higher Mathematics? Why Is It So Hard to Interpret? What Can Be Done? *Journal for interpretation*, 23(1), 1-18.
- Tabak, J. (2016). On the Expression of Higher Mathematics in American Sign Language. *Journal of interpretation*, 25(1), 1-19.
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156-168.
- Taber, K. (2012). *Teaching secondary chemistry*. London: Hodder Education.
- Thom, J. S., & Hallenbeck, T. (2021). Spatial reasoning in mathematics: A cross-field perspective on deaf and general education research. *Deafness & Education International*, 24, 127 –159. <https://doi.org/10.1080/14643154.2020.1857539>
- Quinn, G., Cameron, A., & O'Neill, R. (2021). Signing the times: Enforced oralism in deaf education has left BSL lacking signs for specialist concepts. *NEWSLI Magazine (UK)*, 27-31.
- Vernon, M., & Wallrabenstein, J. M. (1984). The Diagnosis of Deafness in a Child. *Journal of communicational disorders*, 17(1), 1-8.
- Vernon, M. (2005). Fifty Years of Research on the Intelligence of Deaf and Hard-of-Hearing Children: A Review of Literature and Discussion of Implications. *The journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 10(3), 225–231.
- Villwock, A., Wilkinson, E., Piñar, P., & Morford, J. P. (2021). Language development in deaf bilinguals: Deaf middle school students co-activate written English and American Sign Language during lexical processing. *Cognition*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104642>
- Walker, K., Carrigan, E., & Coppola, M. (2024). Early access to language supports number mapping skills in deaf children. *The journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 29(1), 1-18. <https://doi.org/10.1093/deafed/enad045>
- Wauters, L., Pagliaro, C., Kritzer, K. L., & Dirks, E. (2023). Early mathematical performance of deaf and hard of hearing toddlers in family-centred early intervention programmes. *Deafness & Education International*, 26(2), 190–207. <https://doi.org/10.1080/14643154.2023.2201028>
- Weber, D., Beumann, S., & Benölken, R. (2023). Teachers' view of twice-exceptional students – outline of the challenges in recognizing mathematical giftedness and supporting needs of hearing impairment. In P.

- Drijvers, C. Csapodi, H. Palmér, K. Gosztonyi & E. Kónya (Hrsg.), *Proceedings of the 13th Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME 13)*. Budapest, Hungary (S. 1851-1858). Alfréd Rényi Institute of Mathematics and ERME.
- Weigand, H.-G., Filler, A., Hölzl, R., Kuntze, S., Ludwig, M., Roth, J., Schmidt-Thieme, B., & Wittmann, G. (2018). *Didaktik der Geometrie für die Sekundarstufe I*. Springer Spektrum.
- Werner, V., & Hänel-Faulhaber, B. (2024). Do Numbers in German Sign Language Support the Development of Counting Skills? *15th International Congress on Mathematical Education*. Sydney, Australien.
- Werner, V., & Hänel-Faulhaber, B. (2024). Numerische Kompetenzen tauber Schulanfänger_innen in Deutscher Gebärdensprache (DGS). *Lernen und Lernstörungen*, 13(3), 123-135. <https://doi.org/10.1024/2235-0977/a000449>
- Werner, V., & Hänel-Faulhaber, B. (2022). *Löseverhalten tauber und hörender Kinder beim Reparieren von Reihen- und Kreismusterfolgeaufgaben – erste Ergebnisse* [poster]. In 56. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik (GDM), Frankfurt. <http://dx.doi.org/10.17877/DE290R-23229>
- Werner, V. (2010). Zum numerischen Zahlenverständnis von gehörlosen Grundschulern (Teil II). *Das Zeichen*, 24(85), 276–289.
- Werner, V., Masius, M., Ricken, G., & Hänel-Faulhaber, B. (2019). Mathematische Konzepte bei gehörlosen Vorschulkindern und Erstklässlern. *Lernen und Lernstörungen*, 8(3), 155–165. Retrieved from <https://doi.org/10.1024/2235-0977/a000216>
- Wille, A. (2020). Mathematische Gebärden der Österreichischen Gebärdensprache aus semiotischer Sicht. In G. Kadunz (Ed.), *Zeichen und Sprache im Mathematikunterricht*, (S. 193–214). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61194-4_9.
- Wille, A. (2019). Gebärdensprachliche Videos für Textaufgaben im Mathematikunterricht: Barrieren abbauen und Stärken gehörloser Schülerinnen und Schüler nutzen. *Mathematik differenziert*, 2019(3), 38-44.
- Wille, A. (2019). Einsatz von Materialien zur Bruchrechnung für gehörlose Schülerinnen und Schüler im inklusiven Mathematikunterricht. In A. Frank, S. Krauss & K. Binder (Hrsg.), *53. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik (GDM)*. Regensburg, Germany (S. 901-904). WTM.
- Wille, A. (2018). Materialien für den Mathematikunterricht gehörloser Schülerinnen und Schüler. In Fachgruppe Didaktik der Mathematik der Universität Paderborn (Hrsg.), *52. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik und der Deutschen Mathematiker-Vereinigung (GDMV)*. Paderborn, Germany (S. 1987-1990). <http://dx.doi.org/10.17877/DE290R-19779>
- Wille, A. M. (2008). Aspects of the concept of a variable in imaginary dialogues written by students. In O. Figueras, J. Cortina, S. Alatorre, T. Rojano & A. Sepúlveda (Hrsg.), *Proceedings of the 32nd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (PME32)*. Mexico (S. 417–424). Cinvestav-UMSNH.
- Winkenbach, B. (2011). Die Käferwanderung auf dem Würfel. *Stochastik in der Schule*, 31, 23–27.
- Wittmann, E. Ch. (2001). Grundkonzeption des Zahlenbuchs. In Wittmann et al. (Hrsg.), *Das Zahlenbuch: Mathematik im 1. Schuljahr: Lehrerband*. Klett.
- Yashkova, N. (1988). Visual thinking of deaf children. *Pedagogika*.
- Zajceva, G. L. (2000) Žestowaja reč'. VLADOC.
- Zarfaty, Y., Nunes, T., & Bryant, P.E. (2004). The performance of young deaf children in spatial and temporal number tasks. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 9(3), 315-26, <https://doi.org/10.1093/deafed/enh034>

