



Fingerrechnen \neq Fingerrechnen

Erläuterungen zu zielführender Finger Verwendung beim Aufbau numerischer Kompetenzen im mathematischen Erstunterricht

Christina Konrad^a und Marlene Lindtner^b

^aPrivate Pädagogische Hochschule der Diözese Linz

^bAlpen-Adria-Universität Klagenfurt
christina.konrad@ph-linz.at

EINGEGANGEN 15 JUN 2017

ÜBERARBEITET 19 OKT 2017

ANGENOMMEN 22 OKT 2017

Im vorliegenden Artikel werden die Finger als Arbeitsmittel im mathematischen Erstunterricht zum Aufbau von numerischen Kompetenzen diskutiert. Es wird aufgezeigt, dass die Finger nicht nur ein weiteres zählbares Material sind, sondern bei entsprechender Nutzung besondere Vorteile gegenüber anderen Arbeitsmitteln haben. Möglichkeiten und Grenzen zählender und nicht-zählender Finger Verwendung werden erläutert und die am Körper bzw. die am Zahlenstrahl orientierte Finger Verwendung voneinander abgegrenzt. Empfehlungen für die Handhabung der Finger in der Praxis werden abgeleitet, zusammengefasst und anhand konkreter Beispiele verdeutlicht.

SCHLÜSSELWÖRTER: zählender/nicht-zählender Fingereinsatz, körpereigenes Arbeitsmittel, embodied numerosity, Aufbau numerischer Kompetenzen

1. Einleitung

Fragt man eine/n Dreijährige/n nach ihrem/seinem Alter, bekommt man in der Regel keine rein verbale Antwort. Das Zahlwort „drei“ scheint den meisten Dreijährigen nicht ausreichend, um zu verdeutlichen, wie alt sie schon sind. Das Ausstrecken von drei Fingern mit dem Hinweis „So alt bin ich schon!“ bietet hier für das Kind eine weitaus verständlichere Möglichkeit der Beantwortung dieser Frage, auch wenn das Zahlwort „drei“ gar nicht benutzt wird. Die Finger stellen für das Kind eine Möglichkeit dar, ohne Zahlwort eine Quantität analog abzubilden (Brissiaud, 1992).

Dieses Beispiel zeigt, dass kleine Kinder sich intuitiv ihrer Finger bedienen, wenn es darum geht Quantitäten zu erfassen oder darzustellen. Aber nicht nur kleine Kinder setzen die Finger als Hilfsmittel für das Erfassen von Quantitäten ein. Auch Schulkinder verwenden häufig die Finger beim Zählen oder Rechnen und sogar Erwachsene setzen diese in manchen Situationen als Zählhilfe bzw. Gedächtnisstütze ein (z.B. Übertrag beim schriftlichen Rechnen). Schon immer

haben Menschen ihren eigenen Körper verwendet, um Quantitäten zu erfassen und darzustellen. An manchen Zahlwörtern kann dieser Zusammenhang abgelesen werden. „Digit“ bedeutet z.B. nicht nur „Zahl“, sondern auch „Finger“ und das Zahlwort für „fünf“ wird in vielen Sprachen vom Wort für „Hand“ abgeleitet (Dehaene, 1999; Menninger, 1979).

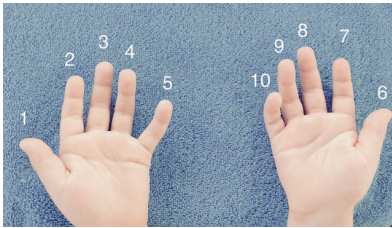
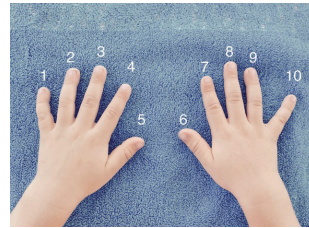
Aktuell wird der Einfluss der Finger auf die Entwicklung von numerischen Kompetenzen vermehrt diskutiert. Die Frage, die hier im Vordergrund steht, ist, ob die Fingerverwendung beim Aufbau von numerischen Kompetenzen hilfreich ist oder sich nachteilig auswirken kann (Moeller & Nuerk, 2012).

2. Die Finger – besonderes Arbeitsmittel mit exklusivem Bonus

Auf den ersten Blick haben Finger im Vergleich zu anderen Arbeitsmitteln einige offensichtliche, praktische Vorzüge: Sie sind kostenlos, an jedem Ort innerhalb von Sekunden einsatzbereit, ökologisch unbedenklich und können nicht verloren gehen oder vergessen werden. Zudem ist die Zehnerstruktur der Finger wie geschaffen für den Aufbau des Verständnisses des dekadischen Zahlensystems. Die Fünfergliederung der Finger ermöglicht außerdem eine Strukturierung von größeren Mengen und darauf aufbauend eine nicht-zählende Mengenerfassung im Zahlenraum zehn. Ein weiterer, exklusiver Vorteil der Finger besteht darin, dass der eigene Körper das Werkzeug für die Erfassung und Darstellung von Mengen ist. Visuelle Informationen werden dabei durch besonders eindrückliche, perzeptionelle, sensomotorische Informationen ergänzt. Das Erfassen von Mengen findet mit den Fingern also nicht nur visuell, sondern insbesondere taktil-kinästhetisch statt. Finger sind deshalb mehr als nur eines unter vielen zählbaren Materialien. Sie erlauben als körpereigenes Arbeitsmittel den Aufbau von embodied numerosity (Domahs, Moeller, Huber, Willmes, & Nuerk, 2010), also einer mentalen Repräsentation von Zahlen auf der Grundlage körperlicher, motorischer Erfahrungen und ermöglichen einen Zugang zu grundlegenden mathematischen Prinzipien.

Der Aufbau einer Zahlenraumvorstellung mit Hilfe der Finger

In unserem Kulturkreis wird in der Regel beim Zählen mit den Fingern ein Finger nach dem anderen ausgestreckt, jeder Finger wird dabei als ein Element gezählt. Mit den zehn Fingern an beiden Händen kann so der Zahlenraum zehn analog abgebildet werden. (Zu den in anderen Kulturkreisen üblichen Fingerzählweisen vgl. Bender & Beller, 2012). Im europäischen Raum wird am häufigsten einem der beiden Daumen die Zahl eins zugeordnet, dabei wird unabhängig von der Händigkeit entweder links oder rechts gestartet (Fabbri & Guarini, 2016). Diese Art der Fingerverwendung ist symmetrisch und am Körper orientiert (vgl. Abb. 1). Der Zahlenraum 10 ist dabei in sich geschlossen (Rösch, 2016).

ABBILDUNG 1.*Am Körper orientierter Fingereinsatz***ABBILDUNG 2.***Am Zahlenstrahl orientierter Fingereinsatz*

Eine dazu alternative Fingerverwendung orientiert sich am Zahlenstrahl. Hier werden die Zahlen von eins bis zehn beim linken kleinen Finger beginnend bis zum rechten kleinen Finger zugeordnet (vgl. Abb. 2.). Der Zahlenraum ist (im Bereich der natürlichen Zahlen) asymmetrisch, nach rechts geöffnet und somit beliebig erweiterbar. Mit dieser leicht abgewandelten räumlichen Anordnung der Zahlen zu den Fingern, wird der Aufbau einer räumlich-linear geordneten Zahlenraumvorstellung, des so genannten mentalen Zahlenstrahls, auf dem Zahlen von links nach rechts ansteigend angeordnet sind (Landerl & Kaufmann, 2008; Link, Huber, Nuerk, & Moeller, 2014), unterstützt (Rösch, 2016).

Finger werden immer häufiger zum Aufbau numerischer Kompetenzen im Zuge des schulischen Unterrichts oder auch der außerschulischen Förderung entweder symmetrisch, am Körper orientiert oder asymmetrisch, am Zahlenstrahl orientiert als Arbeitsmittel eingesetzt (Claus & Peter, 2005; Eckstein, 2011; Gaidoschik, 2007; Konrad & Lindtner, 2014; Röder, 1952; Schipper, 2009). In mathematikdidaktischer Literatur finden sich kritische Hinweise auf die hohen Anforderungen, welche die asymmetrische Fingerverwendung an die Feinmotorik stellt und welche die symmetrische Fingerverwendung kindgerechter erscheinen lassen (Claus & Peter, 2005; Eckstein, 2011). Da in verschiedenen Studien Hinweise darauf gefunden wurden, dass Fingeragnosie und gute Fingerbeweglichkeit einen positiven Einfluss auf die Entwicklung basaler numerischer Kompetenzen haben (Fayol, Barrouillet, & Maarinthe, 1998; Noël, 2005; Penner-Wilger, Fast, LeFevre, Smith-Chant, Skwarchuk, Kamawar, & Bisanz, 2007; Wasner, Nuerk, Martignon, Rösch, & Moeller, 2016), ist ein gezieltes Training der Feinmotorik gerechtfertigt. Eine gut kontrollierbare Fingeromotorik macht das Zeigen asymmetrischer Fingerbilder bewältigbar und ist über den mathematischen Bereich hinaus (z.B. beim Binden von Schuhbändern, beim Schreiben, ...) von Nutzen.

Ein wesentlicher Vorteil der asymmetrischen, am Zahlenstrahl orientierten Fingerverwendung ist der dabei entstehende, geordnete Zahlenraum in dem besonders eindrücklich erkannt werden kann, dass Zahlen aufsteigende und ineinander verschachtelte Mengen sind (Kardinalitätsprinzip). Es wird klar, dass durch Hinzufügen eines Elements eine neue Menge entsteht, die die vorangegangene enthält (Anzahlseriation) (Rösch, Moeller, Ohl, & Scheich, 2016).

Zählende und nicht-zählende Fingerverwendung¹

Die Ausführungen oben zeigen, dass Finger ein praktisches, hilfreiches Werkzeug im mathematischen Erstunterricht sein können. Dennoch gibt es rege Diskussionen darüber, ob der Einsatz von Fingern im Unterricht gefördert oder unterbunden werden soll (Gaidoschik, 2012; Lorenz, 2015; Walter, 2015). Im Zuge dieser Diskussion ist eine weitere Unterscheidung der Fingerverwendung wesentlich. Finger können zählend und nicht-zählend eingesetzt werden.

Bei der zählenden Fingerverwendung wird jedem Finger in einer stabilen Zählsequenz exakt ein Zahlwort zugeordnet. Dies kann das Erlernen der Zahlwortfolge erleichtern. Die Zählmotorik (Ausstrecken oder auch Antippen eines Fingers) hilft dem Kind zudem im stetigen Lautfluss beim Zählen (einszweidreivierfünfsichs...) einzelne diskrete Einheiten, die Zahlwörter, wahrzunehmen. Die systematische Zuordnung von immer einem Zahlwort zu genau einem Finger führt zum Verständnis der Eins-zu-Eins-Zuordnung sowie des Prinzips der stabilen Reihe der Zahlen. Das Bestimmen einer Menge durch Abzählen seiner Elemente führt nicht zwingend zu einem kardinalen Zahlverständnis, da dabei der ordinale Charakter von Zahlen im Vordergrund steht oder im ungünstigsten Fall Zahlwörter den zu zählenden Gegenständen ähnlich wie Namen zugeordnet werden (Brissiaud, 1992). Das Zählen mit den Fingern ist jedoch wie oben beschrieben ein kardinalisiertes Zählen, bei dem die Wahrnehmung von Zahlen als ineinander verschachtelte Mengen leichtfällt. Das (Finger-)Zählen als Rechenstrategie führt (insbesondere mit wachsendem Zahlenraum) in eine Sackgasse, wenn es die einzige bzw. hauptsächlich genutzte Strategie beim Lösen von Additionen und Subtraktionen ist (Gaidoschik, 2010). Rechnen ist für das an den Fingern zählende Kind nur ein wiederholtes Hinzufügen oder Wegnehmen von Einern, nicht aber ein Hinzufügen bzw. Wegnehmen von Mengen größer eins. Insbesondere bei Rechnungen mit großem zweiten Summanden bzw. großem Subtrahenden ist das zählende Rechnen stark fehleranfällig und zeitintensiv.

Im Gegensatz dazu kann die nicht-zählende Fingerverwendung, bei der Fingermengen (>1) (auch „finger symbol sets“ (Brissiaud, 1992) bzw. Fingersets) simultan ausgestreckt bzw. eingezogen werden, zum Training der simultanen bzw. quasi-simultanen Mengenerfassung dienen und als effiziente Rechenstrategie genutzt werden. Beim spontanen, simultanen Zeigen von Fingersets steht eindeutig der kardinale Aspekt im Vordergrund. Die Finger können dem Kind sogar auf nichtsprachlicher Ebene als analoge Mengenrepräsentation für Quantitäten

¹ In der Literatur wird auch von dynamischer (zählender) und statischer (nicht-zählender) Fingerverwendung gesprochen. Diese Zuordnung der Begriffe kann jedoch irreführend sein. Dynamisch steht für „die von Kräften erzeugte Bewegung betreffend“ (Dudenredaktion, 2000, S.249) und statisch für „keine Bewegung, Entwicklung aufweisend“ (Dudenredaktion, 2000, S.945). Jede Art der Fingerverwendung ist jedoch in einem gewissen Maß mit Bewegung verbunden, weshalb diese Begrifflichkeiten als unpassend eingestuft und hier nicht verwendet werden.

dienen (Brissiaud, 1992). Wird das Ausstrecken der Fingermenge mit dem entsprechenden Zahlwort gekoppelt, führt dies zu einer Assoziation von analoger Menge und Zahlwort. Dabei wird nicht nur die Menge als Gesamtheit, sondern es werden auch die Elemente, aus denen sich die Menge zusammensetzt, auf eine einzigartige Weise wahrgenommen, da nicht nur visuelle, sondern auch sensomotorische, propriozeptive und perzeptionelle Informationen zur Verfügung stehen. Das gezielte Bewegen (z.B. Ausstrecken oder Einziehen) von Fingersets mit dem Ziel, den Fokus weg von der Einheit eins auf Mengen (>1) zu lenken, kann dabei helfen, zählendes Rechnen zu überwinden und Mengen als Kompositionen kleinerer Mengen wahrzunehmen, also einen relationalen Zahlbegriff aufzubauen. Diese Art der Finger Verwendung führt schon bei vier- bis fünfjährigen Kindern im Vergleich zu anderen Strategien am häufigsten zu richtigen Lösungen (Siegler & Shrager, 1984). Die nicht-zählende Finger Verwendung kann so beim Rechnen als sinnvolles, anschauungsgebundenes Übergangsstadium zum automatisierten Faktenabruf gesehen werden (Hess, 2012).

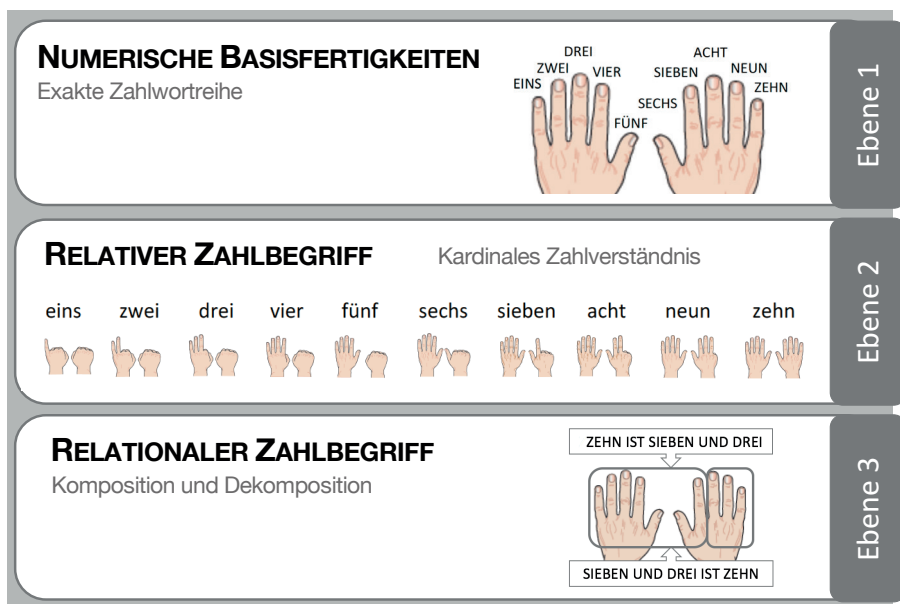
Demzufolge ist die Art und Weise WIE ein Kind die Finger nutzt, dafür ausschlaggebend WAS es damit lernt oder auch nicht. Bei der Vermittlung von numerischen Kompetenzen ist es folglich bedeutend, zu einer dem Ziel entsprechenden Art der Finger Verwendung anzuregen bzw. anzuleiten.

3. Finger als unterstützendes Element in der numerischen Entwicklung

Erst kürzlich wurde der Einfluss fingerbasierter Repräsentationen auf die Entwicklung numerischer Basisfertigkeiten erstmals anhand des Entwicklungsmodells der Zahlen-Größen-Verknüpfung von Krajewski (2003) aufgezeigt (Rösch & Moeller, 2015). In der Grafik unten wird verdeutlicht, dass die Finger auf jeder der drei Ebenen, ob beim Erlernen der exakten Zahlwortreihe (Ebene 1), beim Erwerb eines präzisen Anzahlkonzepts (Ebene 2) oder dem Aufbau des relationalen Zahlbegriffs (Ebene 3) einen wertvollen Beitrag leisten können (vgl. Abb. 3, S. 322). Die Finger können demzufolge den Aufbau numerischer Kompetenzen auf einzigartige Weise unterstützen, sind jedoch nicht unbedingt Bedingung für numerische Entwicklung (Crollen, Seron, & Noel, 2011).

Dennoch kann nicht unberücksichtigt bleiben, dass fingerbasierte Repräsentationen nicht nur die numerische Entwicklung von Kindern, sondern auch die Zahlverarbeitung bei Erwachsenen beeinflussen (Badets & Pesenti, 2011; Di Luca & Pesenti, 2011; Domahs et al., 2010; Klein, Moeller, Willmes, Nuerk, & Domahs, 2011; Michaux, Masson, Pesenti, & Andres, 2013; Moeller, Martignon, Wessolowski, & Engel, 2011; Rösch, 2016), was darauf schließen lässt, dass abstrakte Zahlvorstellungen ihre Wurzeln in der Erfassung von Quantitäten am eigenen Körper mit den Fingern haben.

ABILDUNG 3. Zahlbegriffsentwicklung mit Hilfe der Finger in Anlehnung an Krajewski (2003)



4. Handhabungsregeln für einen zielführenden Fingereinsatz

Wie bisher gezeigt wurde, sollten bei der Verwendung der Finger in der Praxis gewisse Handhabungsregeln eingehalten werden, damit gewährleistet werden kann, dass der Fingereinsatz für die numerische Entwicklung förderlich und nicht hemmend ist: (i) Es ist empfehlenswert eine stabile, gleichbleibende Eins-zu-Eins-Zuordnung von Zahlen zu Fingern einzuhalten, damit Mengen im Zahlenraum zehn analog repräsentiert werden können. (ii) Auch eine klare Assoziation zwischen Fingerset/Fingerbild und Zahl sollte gegeben sein. Ständig wechselnde Darstellungen von Fingerbildern können beim Rechnen vermehrt zu Fehlern führen (Lorenz, 1992). (iii) Eine Zuordnung der Zahlen von links nach rechts, beginnend beim kleinen Finger, scheint Vorteile in Bezug auf den Aufbau eines mentalen Zahlenstrahls und für das Verständnis der Anzahlseriation sowie des Kardinalitätsprinzips zu haben. Beim Fingerrechnen ist das Ergebnis einer Rechnung bei dieser Art der Fingerverwendung schnell nicht-zählend erfassbar. (iv) Beim Rechnen mit den Fingern muss darauf geachtet werden, dass die Finger nicht einzeln, sondern als Set bzw. Gruppe simultan bewegt werden, um die Loslösung von der Einheit eins, die beim Zählen im Vordergrund steht, zu ermöglichen.

Bewusste Wahrnehmung und Unterscheidung von Kardinalität und Ordinalität

Wird beim motorischen Ablauf des Zählens darauf geachtet, dass nicht der eine Finger, der hinzugefügt oder weggenommen wird, im Vordergrund steht, sondern die Menge, die sich daraufhin ergibt, wird die Kardinalität besonders deutlich. Dies kann erreicht werden, indem nach dem Hinzufügen (oder beim Rückwärtszählen auch Wegnehmen) eines Fingers alle ausgestreckten Finger simultan aufgedrückt und bewusst mit dem passenden Zahlwort verbunden werden (Konrad & Lindtner, 2014). In der praktischen Arbeit mit Kindern stellen einfache Anweisungen wie „Zeige mir drei Finger!“ oder „Zeige mir den dritten Finger!“ und Fragen wie „Was ist der Unterschied? Was fällt dir auf?“ eine bewusste Unterscheidung zwischen Kardinalität und Ordinalität sicher. Beim simultanen Ausstrecken von Fingermengen trainieren die Kinder gleichzeitig, die für das Rechnen wichtige, simultane und quasi-simultane Mengenerfassung, wobei dieses Training visuell und taktil-kinästhetisch, nur visuell oder auch nur taktil-kinästhetisch (ohne visuelle Kontrolle) erfolgen kann.

Nicht-zählendes Rechnen mit den Fingern – Loslösung von der Einheit 1

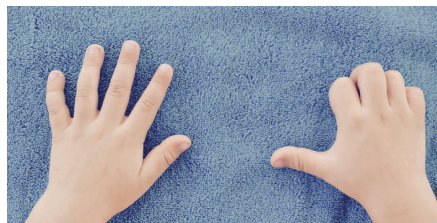
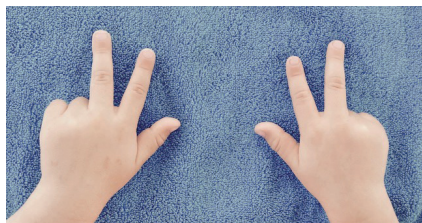
Durch Komposition und Dekomposition können zwei Mengen zu einer zusammengefügt oder eine Menge in zwei oder mehr Teilmengen zerlegt werden. Auch die dafür wesentlichen Einsichten können mit den Fingern erarbeitet werden. So ist es möglich, durch das Ausstrecken oder Einziehen von einem oder mehreren Fingern, neue Kompositionen entstehen zu lassen – z.B. drei Finger sind ausgestreckt, zwei Finger werden simultan dazu ausgestreckt, nun sind es fünf Finger, also drei und zwei ist fünf – oder auch durch das räumliche bzw. motorische Abgrenzen von Fingermengen mögliche Mengenzerlegungen zu verdeutlichen – z.B. acht kann zerlegt werden in fünf (werden aufgedrückt) und drei (wackeln). Dabei werden die Finger nicht einzeln abgezählt, sondern wie oben beschrieben als Fingerset „auf einen Sitz“ simultan bewegt.

Werden die Finger am Zahlenstrahl orientiert von links nach rechts verwendet, ergibt sich der Vorteil, dass das Ergebnis von Rechnungen schnell und effizient ohne zu zählen abgelesen werden kann. Dies soll am Beispiel „ $3+3$ “ veranschaulicht werden. Bei der am Körper orientierten Finger Verwendung würde ein Kind die Rechnung „ $3+3$ “ mit hoher Wahrscheinlichkeit symmetrisch mit Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger der rechten und der linken Hand darstellen (vgl. Abb. 4). Dabei ist die Gruppierung von je drei Fingern klar ersichtlich. Das Ergebnis jedoch entspricht in diesem Fall nicht dem Fingermuster, das dem Kind vertraut ist, da beim Zählen die Menge sechs meist mit einer vollen Hand und dem Daumen der zweiten Hand dargestellt wird. Weiß das Kind also nicht, dass drei und drei sechs ist, ist es gezwungen, die Finger abzuzählen, um das Ergebnis zu ermitteln. Brissiaud (1992)

stellt fest, dass Kinder dazu tendieren, Mengen >5 strukturiert, unter Berücksichtigung der Subbasis fünf darzustellen.

Abbildungen 4 und 5 demonstrieren die Finger Verwendung bei der Rechnung „ $3+3$ “ mit jeweils unterschiedlicher Orientierung:

ABBILDUNG 4. *Am Körper orientiert* Bei einem am Zahlenstrahl orientierten Fingereinsatz würde das Kind „drei“ mit



dem linken kleinen Finger, dem linken Ringfinger und dem linken Mittelfinger darstellen, wobei diese drei Finger als Fingerset simultan ausgestreckt werden. Anschließend würde es den linken Zeigefinger, den linken Daumen und den rechten Daumen (ebenfalls als Fingerset) hinzufügen. Das dabei entstandene Fingerset bzw. Fingerbild ist dem Kind vertraut. Das Ergebnis kann einfach abgelesen werden, was eine zählende Ermittlung überflüssig macht (vgl. Abb. 5). Die Darstellung von Fingermengen aufsteigend von links nach rechts erleichtert auch Mengenvergleiche bzw. die Ermittlung von Mengenunterschieden. Die Differenz zwischen 8 und 6 wäre bei einer symmetrischen, am Körper orientierten Darstellung (jeweils vier Finger an jeder Hand im Vergleich zu jeweils drei Fingern an jeder Hand) vergleichsweise schwierig zu erkennen. Auch die Relation von einzelnen Mengen zur Basis zehn oder zur Subbasis fünf ist bei der asymmetrischen, am Zahlenstrahl orientierten Finger Verwendung deutlicher erkennbar.

5. Resümee

Die bisherigen Ausführungen zeigen deutlich, dass Finger nicht nur eines unter vielen möglichen Arbeitsmitteln im mathematischen Erstunterricht sind. Finger sind insbesondere bei der Erarbeitung numerischer Kompetenzen im Zahlenraum zehn anderen Materialien in vielerlei Hinsicht überlegen. Was jedoch deutlich wurde, ist, dass Finger nicht beliebig verwendet werden dürfen, sondern dass es, wie auch im Umgang mit anderen Arbeitsmitteln, gilt, gewisse Handhabungsregeln aufzustellen und einzuhalten. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Finger passend zur jeweiligen Zielsetzung zu einem Werkzeug werden, das Kinder beim Aufbau eines sicheren Zahlbegriffes und einer effizienten Rechenfertigkeit gezielt unterstützt.

In Zukunft wäre es deshalb wünschenswert nicht nur Förderkonzepte, bei denen die Finger zur Entwicklung von numerischen Kompetenzen eingesetzt werden, zu entwickeln und auf ihre Wirksamkeit hin zu überprüfen (Rösch et al., 2016), sondern auch die Art der Fingerverwendung dabei zu berücksichtigen.

Literatur

- Badets, A., & Pesenti, M. (2011). Finger-number interaction. *Experimental Psychology*, 58(4), 287–292.
- Bender, A., & Beller, S. (2012). Nature and culture of finger counting: Diversity and representational effects of an embodied cognitive tool. *Cognition*, 124(2), 156–182. doi:10.1016/j.cognition.2012.05.005
- Brissiaud, R. (1992). A Tool für Number Construction Finger Symbol Sets. In J. Bideaud, C. Melijac, & J.-P. Fischer (Hrsg.), *Pathways to Number. Children's Developing Numerical Abilities* (S. 41–65). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Claus, H. & Peter, J. (2005). *Finger, Bilder, Rechnen. Förderung des Zahlverständnisses im Zahlraum bis 10*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Crollen, V., Seron, X., & Noël, M.-P. (2011). Is finger-counting necessary for the development of arithmetic abilities? *Frontiers in Psychology*, 2:242. doi:10.3389/fpsyg.2011.00242
- Dehaene, S. (1999). *Der Zahlensinn oder warum wir rechnen können*. Berlin: Birkhäuser.
- Di Luca, S., & Pesenti, M. (2011). Finger numeral representations: More than just another symbolic code. *Frontiers in Psychology*, 2:272. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00272>
- Domahs, F., Moeller, K., Huber, S., Willmes, K., & Nuerk, H. C. (2010). Embodied numerosity: Implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition*, 116(2), 251–266. doi:10.1016/j.cognition.2010.05.007
- Dudenredaktion (Hrsg.). (2000). *Duden. Das Fremdwörterbuch* (7. Aufl.). Mannheim: Bibliografisches Institut & F.A. Brockhaus AG.
- Eckstein, B. (2011). *Mit 10 Fingern zum Zahlverständnis. Optimale Förderung für 4- bis 8-Jährige*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Fabbri, M., & Guarini, A. (2016). Finger counting habit and spatial-numerical association in children and adults. *Consciousness and Cognition*, 40, 45–53. doi:10.1016/j.concog.2015.12.012
- Fayol, M., Barrouillet, P., & Marinthe, C. (1998). Predicting arithmetical achievement from neuro-psychological performance: a longitudinal study. *Cognition*, 68(2), B63–70. doi:10.1016/S0010-0277(98)00046-8
- Gaidoschik, M. (2007). *Rechenschwäche vorbeugen. Das Handbuch für LehrerInnen und Eltern*. Wien: oebvht.

- Gaidoschik, M. (2010). *Wie Kinder rechnen lernen - oder auch nicht. Eine empirische Studie zur Entwicklung von Rechenstrategien im ersten Schuljahr*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Gaidoschik, M. (2012). Nicht die Finger zählen, sondern denkende Kinder! *Lernen und Lernstörungen*, 1(1), 59–60. doi:10.1024/2235-0977/a000008
- Hess, K. (2012). *Kinder brauchen Strategien*. Seelze: Klett/Kallmayer.
- Klein, E., Moeller, K., Willmes, K., Nuerk, H. C., & Domahs, F. (2011). The influence of implicit hand-based representations on mental arithmetic. *Frontiers in Psychology*, 2:197. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00197
- Konrad, C., & Lindtner, A. (2014). *Leitfaden für den Mathematikunterricht*. Linz: Trauner.
- Krajewski, K. (2003). *Vorhersage von Rechenschwäche in der Grundschule*. Hamburg: Kovac.
- Landerl, K., & Kaufmann, L. (2008). *Dyskalkulie*. München: Ernst Reinhardt.
- Link, T., Huber, S., Nuerk, H. C., & Moeller, K. (2014). Unbounding the mental number line—new evidence on children's spatial representation of numbers. *Frontiers in Psychology*, 4:1021. doi:10.3389/fpsyg.2013.01021
- Lorenz, J. H. (1992). *Anschaung und Veranschaulichungsmittel im Mathematikunterricht*. Göttingen: Hogrefe.
- Lorenz, J. H. (2015). Fingerrechnen: Aspekte aus didaktischer Sicht. *Lernen und Lernstörungen*, 4(3), 195–207.
- Menninger, K. (1979). *Zahlwort und Ziffer. Eine Kulturgeschichte der Zahl* (3. Aufl.). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Michaux, N., Masson, N., Pesenti, M. & Andres, M. (2013). Selective interference of finger movements on basic addition and subtraction problem solving. *Experimental Psychology*, 60(3), 197–205. doi:10.1027/1618-3169/a000188
- Moeller, K., Martignon, L., Wessolowski, S., & Engel, J. (2011). Effects of finger counting on numerical development – the opposing views of neurocognition and mathematics education, *Frontiers in Psychology*, 2:328. doi:10.3389/fpsyg.2011.00328
- Moeller, K., & Nuerk, H.-C. (2012). Zählen und Rechnen mit den Fingern. *Lernen und Lernstörungen*, 1(1), 33–53.
- Noël, M.-P. (2005). Finger gnosia: a predictor of numerical abilities in children? *Child neuropsychology: a journal on normal and abnormal development in childhood and adolescence*, 11(5), 413–30.
- Penner-Wilger, M., Fast, L., LeFevre, J.-A., Smith-Chant, B. L., Skwarchuk, S.-L., Kamawar, D., & Bisanz, J. (2007). *The foundations of numeracy: Subitizing, finger gnosia, and fine motor ability*. Proceedings of the 29th Annual Cognitive Science Society. <http://csjarchive.cogsci.rpi.edu/proceedings/2007/docs/p1385.pdf>
- Röder, F. J. (1952). *Der Rechenunterricht in der Unterstufe nach der Fingerzahlbildungsmethode* (3. Aufl.). Saarbrücken: West-Ost-Verlag.

- Rösch, S. (2016). *Förderung früher numerischer Kompetenz im Vorschulalter unter Berücksichtigung des Einflusses der Finger*. Unveröffentlichte Dissertation an der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Tübingen.
- Rösch, S., & Moeller, K. (2015). Considering digits in a current model of numerical development. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8:1062. doi:10.3389/fnhum.2014.01062
- Rösch, S., Moeller, K., Ohl, F. W., & Scheich, H. (2016). Förderung früher numerischer Kompetenz im Kindergartenalter: Mit Hilfe der Finger? In A. Schmitt, A. Schwentesius, & E. Sterdt (Hrsg.), *Berichte aus dem KFB*. Stendal: KFB.
- Schipper, W. (2009). *Handbuch für den Mathematikunterricht*. Braunschweig: Westermann Schroedel.
- Siegler, R. S., & Shrager, J. (1984). Strategy choice in addition and subtraction: How do children know what to do? In C. Sophian (Hrsg.), *The origins of cognitive Skills* (S. 229–293). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Walter, D. (2015). Sind Finger erlaubt? Über den (sinnvollen) Gebrauch der Finger als Arbeitsmittel im mathematischen Anfangsunterricht. *Grundschulunterricht – Mathematik*, 3, 28–32.
- Wasner, M., Nuerk, H.-C., Martignon, L., Rösch, S., & Moeller, K. (2016). Finger gnosis predicts a unique but small part of variance in initial arithmetic performance. *Journal of experimental child psychology*, 146, 1–16. doi:10.1016/j.jecp.2016.01.006