

Michael Kavšek, Priv.-Doz. Dr. Dipl.-Psych., Universität Bonn, unbefristetes Beschäftigungsverhältnis als Wissenschaftlich Beschäftigter, Abschlussbericht

Psychophysikalische Untersuchung der Sensitivität für Disparitätsinformationen sowie der Wahrnehmung von 3D subjektiven Konturen im ersten Lebensjahr

1. Allgemeine Angaben

- **DFG-Geschäftszeichen:** KA 1123/10-2
- **Antragsteller:** Michael Kavšek, Priv.-Doz. Dr. Dipl.-Psych.
- **Institut/Lehrstuhl:** Universität Bonn, Institut für Psychologie, Abt. Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie
- **Thema des Projektes:** Psychophysikalische Untersuchung der Sensitivität für Disparitätsinformationen sowie der Wahrnehmung von 3D subjektiven Konturen im ersten Lebensjahr
- **Berichtszeitraum, Förderungszeitraum insgesamt:** 01.05.2014 bis 31.03.2018
- **Liste der wichtigsten Publikationen aus diesem Projekt:**

Zeitschriftenartikel (mit Begutachtungsverfahren):

1. Kavšek, M. & Braun, S. K. (2016). Binocular vision in Infancy: Responsiveness to uncrossed horizontal disparity. *Infant Behavior & Development*, *44*, 219-226. doi: 10.1016/j.infbeh.2016.07.001.
2. Kavšek, M. & Marks, E. (2015). Infants perceive 3D illusory contours as occluding surfaces. *Child Development*, *86*, 1865-1876. doi:10.1111/cdev.12419.
3. Kavšek, M. (2014). The impact of stereoscopic depth on the Munker-White illusion. *Perception*, *43*, 1303-1315. doi:10.1068/p7746.
4. Kavšek, M. (2014). Infants' discrimination of crossed and uncrossed horizontal disparity. *Attention, Perception, Psychophysics*, *76*, 1429-1436. doi:10.3758/s13414-014-0665-8.

Buchbeiträge:

1. Kavšek, M. (im Druck). Entwicklung der Wahrnehmung. In J. Strohmer (Hrsg.), *Psychologie-Wissen für Fachkräfte in Kita, Krippe und Hort*. Hogrefe.
2. Kavšek, M. (2017). Grundlegende kognitive Entwicklungsprozesse: Objektwahrnehmung. In B. Kracke & P. Noack (Hrsg.), *Handbuch Entwicklungs- und Erziehungspsychologie*. Berlin: Springer.

Kongressbeiträge:

1. Nehmen Säuglinge stereoskopische subjektive Konturen wahr? (M. Kavšek & S. Braun). Gemeinsame Tagung der Fachgruppe Pädagogische Psychologie und der Fachgruppe Entwicklungspsychologie, Münster, September 2017. (Vortrag)
2. Die Wahrnehmung stereoskopischer Formen im ersten Lebensjahr (M. Kavšek & S. Braun). Gemeinsame Tagung der Fachgruppe Pädagogische Psychologie und der Fachgruppe Entwicklungspsychologie, Münster, September 2017. (Vortrag)
3. When and how does space perception get started? (M. Kavšek). Seminar of the International Research Training Group "The brain in action", University of Gießen, July 2017. (eingeladener Vortrag)
4. The habituation-dishabituation paradigm. (M. Kavšek). SPP 1646 Summer School 2016 of the DFG Priority Programme „Education as a lifelong process”: Competence Development and Educational Inequalities – Theoretical concepts and methodological implementations, Leibniz Institute for Educational Trajectories, Bamberg, July 2016. (eingeladener Vortrag)
5. Infants perceive stereoscopic illusory contours. (M. Kavšek & S. Braun). XX Biennial International Conference on Infant Studies, New Orleans, LA, May 2016. (Poster)

6. The onset of sensitivity to uncrossed horizontal disparity in infancy. (S. Braun & M. Kavšek). XX Biennial International Conference on Infant Studies, New Orleans, LA, May 2016. (Poster)
7. „Die Wahrnehmung dreidimensionaler subjektiver Konturen durch Säuglinge“ (M. Kavšek & S. Braun). 22. Tagung der Fachgruppe Entwicklungspsychologie, Saarbrücken, September 2015. (Vortrag)
8. „Die Genese der Sensitivität für ungekreuzte horizontale Disparität im Säuglingsalter“ (S. Braun & M. Kavšek). 22. Tagung der Fachgruppe Entwicklungspsychologie, Saarbrücken, September 2015. (Vortrag)
9. „Infant perception of 3D illusory contours as occluding surfaces“ (M. Kavšek & E. Marks). XIX Biennial International Conference on Infant Studies, Berlin, July 2014. (Poster)

Öffentlichkeitsarbeit:

Am 29. Juli 2014 erschien in der Bonner Tageszeitschrift „General-Anzeiger“ (S. 10) eine kurze Darstellung unseres Forschungsprojekts mit einem Aufruf zur Studienteilnahme.

Am 7. September 2015 fand im Baby-Labor ein Fernsehdreh der Firma Taglicht-Media statt. Es wurde mit einzelnen Kindern eine experimentelle Untersuchung nachgestellt und es wurde ein Interview über die Wahrnehmung von Säuglingen geführt. Ausgestrahlt wurde die Sendung am 12.03.2016 auf RTL unter dem Titel „Loop – Wissen Hautnah“.

In der Juli-Ausgabe 2016 der Zeitschrift „Eltern“ (S. 100-102) erschien ein Artikel über die visuelle Wahrnehmung von Säuglingen, insbesondere die Entwicklung der 3D-Wahrnehmung, die wir im Projekt untersucht haben.

Am 13. September 2016 erschien in der Bonner Tageszeitschrift „General-Anzeiger“ (S. 12) unter der Rubrik „Ich forsche gerade ...“ eine Beschreibung unserer Studien mit Säuglingen.

2. Arbeits- und Ergebnisbericht

Ausgangsfragen und Zielsetzung des Projekts

a) Experiment 1: Die Entstehung der Sensitivität für ungekreuzte horizontale Disparität:

In dem Forschungsprojekt ging es zunächst um die **Entstehung der Sensitivität für horizontale Disparität**, also um eine Bestimmung des Zeitpunktes im ersten Lebensjahr, ab dem Säuglinge auf stereoskopische Tiefe reagieren. Im Anschluss an frühere Arbeiten (z.B. Fox, Aslin, Shea & Dumais, 1980; Held, Birch & Gwiazda, 1980; Wattam-Bell, 2003) wurde untersucht, ab wann Babys auf *ungekreuzte horizontale Disparität* reagieren. Ein Objekt, das hinter der gerade fixierten Ebene liegt, erzeugt relativ zu den Bildern, die die Fixationsebene auf die Netzhäute unserer Augen projiziert, eine *ungekreuzte* Verschiebung der beiden Bilder des Objektes auf den Netzhäuten.

Konkret wurde die Fähigkeit getestet, ein Quadrat, das durch ungekreuzte horizontale Disparität definiert war, von einem Quadrat zu unterscheiden, das durch vertikale Disparität spezifiziert war. Damit sollte sichergestellt werden, dass die Probanden (Pbn) eine visuelle Präferenz für *ungekreuzte horizontale* Disparität produzieren anstatt auf Disparitätsinformationen *an sich* zu reagieren. In letzterem Fall ist zu erwarten, dass die Pbn nicht zwischen den experimentellen Reizen differenzieren und eine Gleichverteilung ihrer Aufmerksamkeit auf beide Reize aufweisen. Die Säuglinge wurden wöchentlich getestet. Bei funktionierendem stereoskopischem Sehen wird das Quadrat mit horizontaler Disparität als hinter dem Hintergrund liegend wahrgenommen, während das Quadrat mit vertikaler Disparität keinen Tiefenunterschied zum Hintergrund aufweist und als verschwommene Form erscheint. Beide Quadrate waren in Zufallspunktstereogramme („random dot stereograms/RDS“) eingebettet, also in Reizaufbauten, die keine anderen als stereoskopische Tiefeninformationen enthalten. Die Disparität wurde in dieser sowie in den anderen Experimenten auf 0.5° festgesetzt, da Säuglinge auf eine gekreuzte horizontale Disparität mit diesem Wert schon ab 8 Lebenswochen reagieren (Kavšek, 2013a).

Das Experiment zur Wahrnehmung von ungekreuzten Disparitätsinformationen war als Kurzzeit-Längsschnittstudie angelegt, denn die Pbn wurden im Abstand von 1 Woche getestet. Zu jedem Messzeitpunkt wurden zwei Konkretisierungen der sog. **Präferenztechnik** eingesetzt, das „*forced-choice preferential looking (FPL)*“-Paradigma (z.B. Teller, 1979) und die „*classical natural preference (CNP)*“-Methode (z.B. Fantz, 1958). Bei der FPL-Methode werden die beiden zu vergleichenden Reize vielmals für jeweils wenige Sekunden vorgelegt und der das Blickverhalten des Säuglings beobachtende Experimentator beurteilt jedes Mal, ob der linke oder der rechte Reiz präferiert wurde. Anschließend wird ausgezählt, wie oft der Experimentator die tatsächliche Lage des kritischen Zielobjektes identifiziert hat. Diese Anzahl wird durch die Gesamtmenge der von dem Experimentator abgegebenen Urteile dividiert. Dies ergibt ein visuelles Präferenzmaß, das den prozentualen Anteil an korrekten Identifikationen der Position des kritischen Reizes wiedergibt. Die CNP-Methode besteht darin, zwei Reize in nur einigen wenigen Versuchsdurchgängen zu präsentieren, die jedoch länger als nur wenige Sekunden andauern. Der Experimentator hält fest, wie lange das Baby jeden der beiden Reize während der Durchgänge angeblickt hat. Daraus wird ein Präferenzwert errechnet, der zum Ausdruck bringt, wie lange der kritische Reiz relativ zur Gesamtanblickzeit fixiert wurde. Jeder Pb wurde mit beiden Methoden getestet, wobei die eine Hälfte der Pbn zuerst mit der FPL-Methode, die andere Hälfte der Pbn zuerst mit der CNP-Methode untersucht wurde, um Reihenfolgeeffekte zu kontrollieren. Derart war ein direkter Vergleich der Ergebnisse der beiden Methoden möglich.

b) Experiment 2: Die Wahrnehmung stereoskopisch definierter zweidimensionaler Formen:

Wenn Säuglinge auf horizontale Disparität ansprechen, bedeutet dies nicht zwingend, dass sie zugleich zusätzlich zu der Disparität die mit dieser einhergehenden räumlichen Informationen, d.h. Tiefe und Objektform, extrahiert haben. Daher haben wir zum einen die Fähigkeit untersucht, gekreuzte von ungekreuzter Disparität zu unterscheiden (Kavšek, 2014). Diese Leistung gelingt mit 5 bis 6 Lebensmonaten. Da sich die zugehörigen visuellen Reize in dieser Studie nur in der relativen Position der beiden Halbbilder unterscheiden, ist das Ergebnis ein starkes Indiz dafür, dass die Pbn die Reize auf der Grundlage der **kontrastierenden Tiefenrelationen** diskriminiert haben. Zum zweiten haben wir eine Studie zur **Unterscheidung einfacher, durch gekreuzte horizontale Disparität definierte Formen** durchgeführt. Hierzu wurden dynamische RDS konstruiert, die zwei durch ge-

kreuzte Querdisparation spezifizierte Formen enthalten (siehe Abb. 1). Da Bewegung die Aufmerksamkeit von Säuglingen anzieht (z.B. Wattam-Bell, 1996), vollzogen die beiden Formen in den RDS eine kontinuierliche laterale Hin- und Herbewegung. Es wurde ein Habituation-Dishabituationsexperiment durchgeführt, in welchem die Säuglinge an eine der beiden Formen habituiert wurden, um in der anschließenden Dishabituationsphase auf ihre Fähigkeit hin getestet zu werden, die Form aus der Habituationsphase von der zweiten Form zu unterscheiden. Eine Neuheitsreaktion (Dishabituation) auf die neue, ungewohnte Form hin indiziert die Fähigkeit, stereoskopisch definierte Formen erkennen zu können.

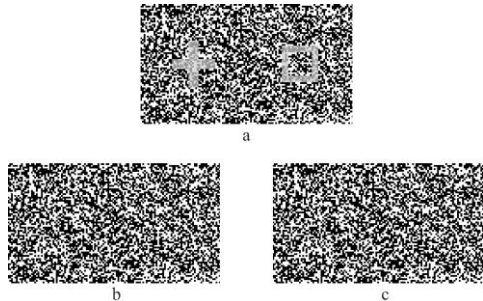


Abb. 1. Das RDS a hebt die beiden experimentellen Formen durch Schattierung hervor. Eine gekreuzte Fusionierung von b und c bringt ein Kreuz auf der linken Seite und den Umriss eines Quadrates auf der rechten Seite zum Vorschein. Beide Formen schweben über dem Hintergrund.

Die übrigen Experimente thematisierten die Wahrnehmung subjektiver Konturen bei Säuglingen. Zu den in unseren Experimenten aufgegriffenen Aspekten der Wahrnehmung stereoskopisch generierter subjektiver Konturen gibt es nach unserem Wissensstand noch keine Studien mit Säuglingen.

Die populärste statische, bildhafte subjektive Kontur ist die aus Teilkreisen bestehende Kanizsa-Figur. Durch die Abbildung 2a, eine spezielle Variante dieser Figur, beispielsweise entsteht die Wahrnehmung eines vertikal ausgerichteten Rechtecks, das auf zwei schwarze Kreise aufgelegt ist. Das Quadrat ist ein subjektives Phänomen, da Teile seiner Kontur, nämlich der Bereich zwischen den beiden Teilkreisen, nicht sichtbar sind, sondern durch unser visuelles System ergänzt werden (z.B. Dresch & Grossberg, 1997). Die Kanizsa-Figur enthält zwei subjektive Phänomene: Eine illusionäre Aufhellung des durch die Teilkreise induzierten Rechtecks und die illusionäre Wahrnehmung einer rechteckigen Kontur. In Bezug auf die illusionäre Kontur spricht man auch von einer *modalen Komplettierung*, d.i. die Ergänzung fehlender Teile eines Objektes durch das visuelle System. Die Kanizsa-Figur enthält neben der modalen noch eine **amodale Komplettierung**, d.i. konkret die durch unseren Wahrnehmungsapparat vorgenommene Ergänzung der durch die illusionäre Kontur vermeintlich teilweise verdeckten (induzierenden) Kreise zu vollständigen Kreisen. Eine amodale Komplettierung kann auch darin bestehen, ein durch eine illusionäre Kontur teilweise abgedecktes weiteres (nicht induzierendes) Objekt zu einem kompletten, zusammenhängenden Ganzen zu ergänzen (siehe Abb. 4a oder 4b). Dies ist das Paradigma der Wahrnehmung von **Objekteinheit**. Um eine amodale Komplettierung zu leisten, muss die subjektive Kontur als über den induzierenden Elementen sowie dem Hintergrund liegend wahrgenommen werden. Erst dann wird sie zu einer Oberfläche, die potentiell andere Flächen verdecken kann.

Mehrere Studien haben nachgewiesen, dass eine **modale Komplettierung statischer** (zweidimensionaler) **subjektiver Konturen** ab 4 Lebensmonaten gelingt (z.B. Bulf, Valenza & Simion, 2009; Kavšek, 2002). Andere Säuglingsstudien haben die Wahrnehmung *dynamischer* subjektiver Konturen untersucht, also die Wahrnehmung von Konturen, die in eine Bewegung eingebettet sind. Solche Konturen werden ab 2 Monaten (z.B. Curran, Braddick, Atkinson, Wattam-Bell & Andrew, 1999) und nach einer neueren Studie sogar bereits ab dem Neugeborenenalter (Valenza & Bulf, 2007) wahrgenommen. Subjektive Konturen, die nicht nur eine Bewegung vollziehen, sondern durch eine Bewegung erst generiert werden, das sind *kinetische* subjektive Konturen, werden nach einigen Arbeiten ab einem Alter von 2 bis 3 Lebensmonaten extrahiert (z.B. Johnson & Mason, 2002). Nach Valenza und Bulf (2007) wird diese Leistung schon im Neugeborenenalter erbracht.

c) Experiment 3: Die Wahrnehmung dreidimensionaler subjektiver Konturen

Das Experiment 3 testete die Fähigkeit von Säuglingen, eine durch gekreuzte Disparität in den Vordergrund geschobene subjektive Kontur (Abb. 2a und 2b) von einer durch ungekreuzte Disparität in den Hintergrund versetzten subjektiven Kontur (Abb. 2b und 2c) zu unterscheiden. In den Konturen wird also die illusionäre Fläche durch die Hinzufügung von horizontaler Disparität vor oder hinter die

induzierenden Elemente verschoben (z.B. Heider, Spillmann & Peterhans, 2002). Die Disparitätsinformationen führen in diesen Figuren zu einer Verstärkung/Betonung der illusionären Kontur. Konkret erzeugt eine durch Konvergenz der beiden Augen (Innenschielen/Kreuzblick) hergestellte Fusion der Halbbilder a und b in der Abbildung 2 ein subjektives Rechteck, das über den schwarzen Teilkreisen zu schweben scheint (Reiz mit gekreuzter Disparität), während die Fusion der Bilder b und c zum Perzept eines subjektiven Rechtecks führt, das unter den induzierenden Teilkreisen liegt und dessen Endstücke durch Öffnungen in diesen Kreisen zu sehen sind (Reiz mit ungekreuzter Disparität).

Eine weitere Teilstudie ging der Frage nach, ob Säuglingen zwei- und dreidimensionale subjektive Konturen voneinander unterscheiden können. Ein positives Resultat ist ein weiterer Hinweis darauf, dass die Hinzufügung von horizontaler Disparität zu einer zweidimensionalen subjektiven Kontur zu einer veränderten Wahrnehmung der subjektiven Kontur führt.

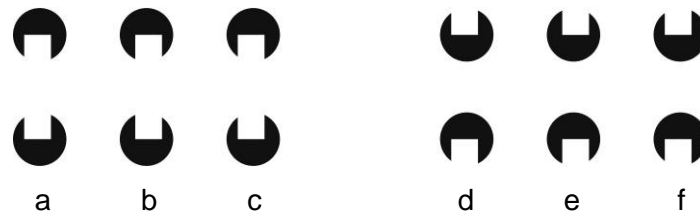


Abb. 2. Durch Fusionierung resultiert aus a und b die Wahrnehmung eines Rechtecks, das vor den induzierenden Teilkreisen schwebt; aus b und c der Eindruck, dass das illusionäre Rechteck durch Öffnungen in den Teilkreisen gesehen wird; aus d und e eine Figur, bei der die nach außen gerichteten Aussparungen der induzierenden Elemente im Vordergrund schweben; aus e und f eine Figur, bei der die Aussparungen der Teilkreise in den Hintergrund verschoben erscheinen.

d) Experiment 4: Die Wahrnehmung (amodaler) Objekteinheit

Die Fähigkeit zur **amodalen Komplettierung** der induzierenden Elemente in einer statischen zweidimensionalen subjektiven Kontur ist nach Condry, Smith und Spelke (2001) mit 7, nicht aber mit 4 Lebensmonaten vorhanden. Studien zum Paradigma der **Objekteinheit** indizieren, dass junge Säuglinge, d.h. Babys mit einem Alter von unter ca. 4 Lebensmonaten und sogar Neugeborene nur dann in der Lage sind, die Objekteinheitlichkeit eines durch ein anderes Objekt teilweise verdeckten Gegenstandes wahrzunehmen, wenn sich der partiell verdeckte Gegenstand bewegt (z.B. Kawabata, Gyoba, Inoue & Ohtsubo, 1999; Valenza, Leo, Gava & Simion, 2006). Eine Studie mit einer dynamischen Szenerie, in der das okkludierende Element eine subjektive Kontur war, haben Valenza und Bulf (2011) durchgeführt. In dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, dass Neugeborene prinzipiell in der Lage sind, Objekteinheit zu extrahieren, d.h. einen durch eine subjektive Kontur teilweise okkludierten Stab als vollständigen Stab und nicht als zwei nicht miteinander verbundene Teilstücke wahrzunehmen. In einer weiteren Studie zu amodalen Wahrnehmungsaspekten sind wir im Ansatz der **Wahrnehmung von Objektkontinuität** der Frage nachgegangen, ob eine subjektive Kontur als Oberfläche wahrgenommen werden kann, die ein sich bewegendes Objekt temporär verdecken kann (Kavšek & Marks, 2015; vgl. auch Csibra, 2001). Die Studie zeigt, dass 7, nicht aber 5 Monate alte Säuglinge eine Kanizsa-Figur als eine ein Objekt zeitweise verdeckende Fläche wahrnehmen, wenn entweder die Fläche mit Hilfe gekreuzter horizontaler Disparität in den Vordergrund verschoben oder aber das sich bewegendes Objekt durch ungekreuzte horizontale Disparität in den Hintergrund versetzt wird.

Craton (1996) stellte fest, dass Objekteinheit in einer 3D Szenerie mit wirklichen (und nicht auf einem Bildschirm gezeigten) okkludierenden und okkludierten Objekten von 6.5, nicht aber von 5.5 Monate alten Säuglingen wahrgenommen wird. Da unklar ist, ob Cratons Altersangaben auf Anordnungen mit dreidimensionalen subjektiven Konturen ausgeweitet werden können, untersuchten wir die **Wahrnehmung von (amodaler) Objekteinheit**, wenn die Verdeckung nicht durch eine tatsächliche, sondern durch eine subjektive Fläche erfolgt.

In unserem Experiment haben wir sowohl eine rein bildhafte subjektive Kontur als auch eine durch gekreuzte Disparität in den Vordergrund geschobene subjektive Kontur eingesetzt. Die Abbildungen 3a und 3b zeigen eine Situation, in der ein stabförmiges Objekt durch eine subjektive Kontur teilweise okkludiert ist. Durch Innenschielen ergeben die beiden Halbbilder a und b eine in den Vorder-

grund gehobene subjektive Kontur, d.h. der bildhafte wird durch einen stereoskopischen Okklusionseffekt verstärkt. Ziel der Studie war herauszufinden, ob Säuglinge den durch die subjektive Kontur vermeintlich okkludierten Stab als vollständiges Objekt (Abb. 3d) oder als zwei Teilobjekte (Abb. 3c) wahrnehmen. In den Abbildungen 3e und 3f ist das Reizmaterial der Kontrollbedingung aufgeführt. Hier sollte keine amodale Komplettierung des querstehenden Stabes stattfinden, da die Figur aufgrund der Rotation der induzierenden Elemente keine den Stab teilweise verdeckende subjektive Kontur generiert.

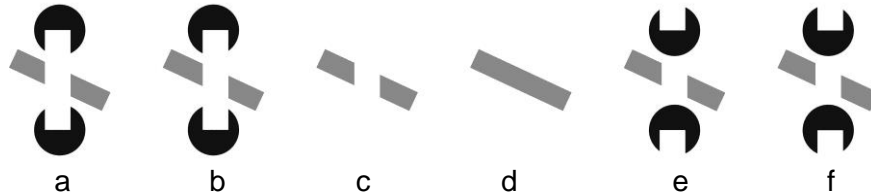


Abb. 3. Durch Fusion/Innenschließen resultiert aus: a und b die Wahrnehmung eines illusionären Rechtecks, das über den induzierenden Teilkreisen schwebt und einen grauen Stab teilweise verdeckt; e und f eine Figur, bei der die Aussparungen der Teilkreise in den Vordergrund verschoben erscheinen und bei der keine okkludierende subjektive Kontur vorliegt. Die Zeichnungen c und d bilden zwei stabförmige Objekte und einen kompletten Stab ab.

e) Die Wahrnehmung stereoskopischer subjektiver Konturen

Die Verwendung von Zufallspunktstereogrammen isoliert den Faktor der horizontalen Disparität. Das binokulare Sehen umfasst jedoch noch ein weiteres Tiefensignal, die sog. *ungepaarten Regionen* oder *Halbokklusionen* (z.B. Harris & Wilcox, 2009). Nach Anderson (1994) liefert horizontale Disparität relative Tiefeninformationen über Flächen, die von beiden Augen gesehen werden. Halbokklusionen tragen zur Wahrnehmung von Tiefe und kohärenter Objekte bei. Halbokklusionen treten in Situationen auf, in denen eine Fläche eine andere partiell überlagert. Ein Teil der entfernteren Fläche ist für das linke Auge, nicht aber für das rechte Auge sichtbar und umgekehrt. Diese monokularen Regionen liefern also keine Disparitätssignale.

Einen besonderen Fall solcher *Halbokklusionen* bzw. *monokularer Regionen* hat **von Szily** (1921; vgl. auch Gillam, 2011) beschrieben. Die Wahrnehmung von Tiefe und zweier disjunkter Formen in den Stereogrammen in der Abbildung 4 kommt durch horizontale Disparität sowie durch zwei unterschiedliche Arten von Halbokklusionen zustande (z.B. Anderson & Julesz, 1995). Die gekreuzte Fusionierung von a und b generiert den Eindruck eines vertikalen Balkens, der vor einer horizontal ausgerichteten Ellipse liegt. Diese Situation enthält *halbokkludierte* Bereiche, das sind Regionen der hinteren Fläche, die nur für das jeweils ipsilaterale, nicht aber für das jeweils kontralaterale Auge sichtbar sind. Die gekreuzte Fusionierung von b und c verschiebt die Ellipse vor den Balken. Hierdurch entstehen auf der vorderen Form *halbokkludierende* Regionen. Da die vordere und die hintere Fläche dieselbe Farbe und Helligkeit besitzen, ist eine Region innerhalb des linken Teils der vorderen Fläche mit dem linken Auge nicht von der hinteren Fläche zu unterscheiden, während sie für das rechte Auge gut sichtbar bzw. eindeutig der vorderen Fläche zuweisbar ist (siehe Abb. 4). Analoges gilt für eine Region auf der rechten Seite der vorne liegenden Fläche.

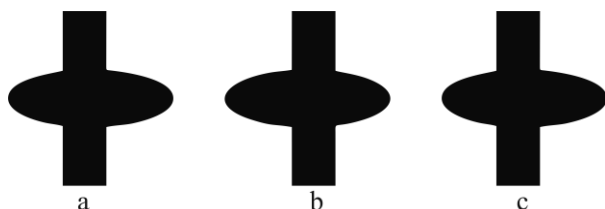


Abb. 4. Stereoskopische subjektive Konturen nach von Szily (1921). Gekreuzte Fusionierung (Innenschließen) von a und b erzeugt den Eindruck eines vertikalen Balkens vor einer horizontalen Ellipse. Die gekreuzte Fusionierung von b und c kehrt die Tiefenrelation der beiden Formen um.

Entwicklung der durchgeführten Arbeiten inkl. Abweichungen / Darstellung der Ergebnisse und Diskussion:

Der von uns verwendete autostereoskopische Monitor mit der Modellbezeichnung „SF3D-230CR“ hat sich als zuverlässiges Gerät zur Untersuchung des stereoskopischen Sehens bei Säuglingen erwiesen. Allerdings verursachte eine Verzögerung in der Auslieferung des Monitors bzw. der zugehörigen Software durch die Fa. SeeFront Probleme in der geplanten Erhebung der Daten. Das Forschungsprojekt hat am 1. Mai 2014 begonnen. Der Monitor stand jedoch erst mehrere Wochen später zur Verfügung, sodass die ersten Daten erst im Juli 2014 erhoben werden konnten.

Die Pbn wurden – wie auch in den früheren Forschungsprojekten – über Geburtslisten der Bundesstadt Bonn rekrutiert. Die Pbn bzw. ihre Eltern erhielten für die Teilnahme an einem Untersuchungstermin eine Aufwandsentschädigung von 5 Euro.

a) Experiment 1: Die Entstehung der Sensitivität für ungekreuzte horizontale Disparität:

Der Erhebungszeitraum der Längsschnittstudie wurde ursprünglich auf 6 bis 18 Lebenswochen festgelegt, da Säuglinge nach den Studien von Birch, Gwiazda und Held (1982) und Held et al. (1980) auf ungekreuzte Disparität erst ab 17 Lebenswochen, auf gekreuzte Disparität hingegen schon ab 12 bis 15 Wochen ansprechen. Da sich im Verlaufe der Studie andeutete, dass die älteren Säuglinge in den CNP-Durchgängen Schwierigkeiten in der Wahrnehmung der Disparitätsinformationen hatten (siehe Abb. 1 rechts), wurde der Alterszeitraum auf 20 Lebenswochen erweitert.

Die in der Abb. 5 dargestellten Ergebnisse der Studie zeigen, dass Säuglinge nach der FPL-Methode ab 13 Wochen und nach der CNP-Methode ab 15 Wochen auf ein durch ungekreuzte horizontale Disparität spezifiziertes Quadrat reagieren (Kavšek & Braun, 2016). Die Abbildungen belegen für beide Methoden einen kontinuierlichen Anstieg der mittleren relativen Präferenzen für das durch ungekreuzte Disparität hervorgehobene Quadrat.

Unsere Ergebnisse indizieren insgesamt gesehen ein früheres Auftauchen der Sensitivität für gekreuzte denn für ungekreuzte horizontale Disparität (vgl. Kavšek, 2013a). Diese Divergenz repliziert frühere Befunde (Birch et al., 1982; Held et al., 1980). Das in der Entwicklung frühere Auftreten der Wahrnehmung ungekreuzter Querdparität könnte darauf beruhen, dass diese Wahrnehmung generell schwieriger ist als die Wahrnehmung gekreuzter Querdparität. Tatsächlich belegen mehrere Studien bei erwachsenen Pbn kürzere Reaktionszeiten und Fehlerraten im Umgang mit gekreuzten im Vergleich zum Umgang mit ungekreuzten horizontalen Disparitäten (z.B. Becker, Bowd, Shorter, King & Patterson, 1999). Dieser generelle Unterschied könnte vor dem Hintergrund der noch begrenzten Fähigkeit von Säuglingen im Umgang mit stereoskopischen Tiefeninformationen zu dem beschriebenen Bild einer Verzögerung in der Entwicklung der Sensitivität für ungekreuzte Querdparität geführt haben.

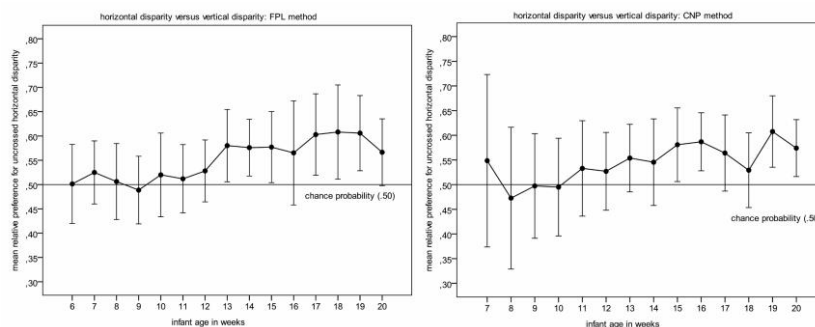


Abb 5. links: Mittlere relative FPL-Präferenzen für ein durch ungekreuzte horizontale Disparität definiertes Quadrat vor einem durch vertikale Disparität definiertem Quadrat.
rechts: Mittlere relative CNP-Präferenzen.

Der mit der FPL-Methode erzielte Befund eines Auftauchens signifikanter Reaktionen auf ungekreuzte Disparität mit 13 Lebenswochen korrigiert frühere Studien, die diesen Zeitpunkt auf 4 bis 6 Lebensmonaten datieren (z.B. Birch et al. 1982; Fox et al., 1980). Diese Divergenz beruht mutmaßlich auf unterschiedlichen Kriterien der Datenauswertung und unterschiedlichem Reizmaterial. Fox et al. (1980) beispielsweise beobachteten die Fähigkeit von Säuglingen, einen sich bewegenden stereoskopisch spezifizierten Reiz mit den Augen zu verfolgen. Diese Vorgehensweise könnte im Vergleich zu der von uns gewählten Prozedur eine weniger präzise Messung und damit eine Unterschätzung der kindlichen Wahrnehmungsfähigkeiten beinhalten.

Die Beobachtung, dass sich die CNP-Methode als weniger sensitiv als die FPL-Methode erweist, repliziert unsere früheren Befunde zur Entstehung der Wahrnehmung gekreuzter horizontaler Disparität (Kavšek, 2013a) sowie zur Extraktion binokularer Rivalität (Kavšek, 2013b). So fanden wir in der Studie zur Entstehung der Fähigkeit, auf gekreuzte Disparität zu reagieren, dass die mittleren relativen Präferenzen für den Zielreiz mit horizontaler Disparität in den *FPL-Experimenten* ab 8 Wochen signifikant wurden. In den *CNP-Experimenten* hingegen wurde mit 12 bis 15 Wochen ein späteres Einsetzen der Sensitivität für horizontale Disparität angezeigt. Die FPL-Methode könnte generell geeigneter zur Erfassung basaler sensorischer Fähigkeiten sein, wohingegen die CNP-Methode angemessener zur Messung perzeptueller und kognitiver Leistungen sein könnte, da hier die Entdeckung der wesentlichen Reizmerkmale mutmaßlich längere Anblickzeiten erfordert.

b) Experiment 2: Die Wahrnehmung stereoskopische definierter zweidimensionaler Formen

In der Studie zur **Wahrnehmung zweidimensionaler Formen** testeten wir in einem ersten Schritt, ob Säuglinge eine quadratische von einer kreuzförmigen Figur unterscheiden können. Es wurden zu jeder Altersgruppe zwei Säuglingsgruppen gebildet: Eine Gruppe wurde an die erste Form, die andere Gruppe an die zweite Form habituiert. Zunächst wurden Säuglinge mit einem Alter von 5 Monaten untersucht, also Säuglinge in einem Altersbereich, in dem nach den bisherigen Studien zur Wahrnehmung horizontaler Disparität eine Extraktion auch von stereoskopischer Objektform plausibel ist. Da die 5 Monate alten Pbn verlangte Unterscheidungsleistung nicht erbringen konnten, wurde eine mit 7 Lebensmonaten etwas ältere Gruppe getestet. Auch diese Gruppe ließ jedoch nicht erkennen, dass sie die beiden Stimuli auseinanderhalten konnte. Deshalb haben wir eine Veränderung der quadratischen Form vorgenommen, um die beiden Reize disjunkter zu gestalten. In dem veränderten quadratischen Reiz wurde nur noch die Umrandung eines Quadrates dargeboten, d.h. man erkannte zwar die Begrenzungslinien des Quadrats, sah aber in dessen Innenbereich den Hintergrund (s. Abb. 1). Die quadratische und die kreuzförmige Figur waren dabei so ausgeführt, dass ihre durch die horizontale Disparität in den Vordergrund gehobenen Flächen gleich groß waren. Damit wurde einer Diskrimination der beiden Formen auf der Grundlage unterschiedlicher Flächeninhalte vorgebeugt.

Die mit dem veränderten Reizmaterial zunächst getesteten 5 Monate alten Säuglinge präferierten sowohl nach Habituation an den kreuzförmigen Reiz als auch nach Habituation an den quadratischen Reiz im Dishabituationstest den jeweils alternativen, neuen Stimulus. Die von uns anschließend untersuchten 4 Monate alten Pbn zeigten keine signifikanten Reizunterscheidungsleistungen (Braun & Kavšek, submitted). Dieses Resultat impliziert, dass 5 Monate alten Babys zweidimensionale Formen, die durch gekreuzte horizontale Disparität definiert sind, wahrnehmen. Ob sie zusätzlich auch die durch die Disparitätsinformationen spezifizierten Tiefeninformationen extrahieren können, wird durch die Ergebnisse allerdings nicht eindeutig impliziert. Das Vorhandensein dieser Fähigkeit liegt jedoch nahe, da mehrere Studien zeigen konnten, dass Säuglinge ab dem Alter von 3 bis 4 Lebensmonaten binokulare Signale nutzen, um ihr Greifverhalten an die Variation von Gegenständen in der Tiefe anzupassen (z.B. Ekberg et al., 2013). Die Beobachtung, dass weder 5 noch 7 Monate alte Babys eine Unterscheidungsleistung des ursprünglichen Reizmaterials aufwiesen, übrigens indiziert, dass die Fähigkeit von Säuglingen, zweidimensionale Formen mit Hilfe von Disparitätsinformationen wahrzunehmen, noch sehr fragil ist.

c) Experiment 3: Die Wahrnehmung dreidimensionaler subjektiver Konturen

In dem Experiment zur Extraktion **dreidimensionaler subjektiver Konturen** wurde zunächst die Fähigkeit getestet, eine durch gekreuzte Disparität in den Vordergrund geschobene subjektive Kontur (Abb. 2a und 2b) von einer durch ungekreuzte Disparität in den Hintergrund versetzten subjektiven Kontur (Abb. 2b und 2c) zu unterscheiden. Zwei Gruppen von Säuglingen wurden an je eine der Figuren habituiert. Im Dishabituationstest wurden beide Figuren nebeneinander dargeboten. Eine Dishabituationsreaktion auf die jeweils neue, nicht aus der Habituationsphase stammende Kontur indiziert die Fähigkeit, die beiden Typen von Konturen zu unterscheiden. Die Testung von 5 Monate alten Babys ergab signifikante Dishabituationsreaktionen in der erwarteten Richtung. Anschließend getestete Säuglinge mit einem Alter von 4 Monaten hingegen zeigten zwar nach Habituation an den Reiz mit ungekreuzter, nicht aber nach Habituation an den Reiz mit gekreuzter Disparität eine signifikante Dishabituationsreaktion gegenüber dem jeweils neuen Testreiz, also dem Reiz mit der jeweils alternativen Disparität (vgl. auch Erdogmus, 2015). Sieben Monate alte Babys schließlich ließen nach Habituation an die Figur mit gekreuzter Disparität eine knapp die Signifikanz verfehlende Dishabituationsreaktion gegenüber dem Testreiz mit ungekreuzter Disparität erkennen ($p = .057$). Nach Habituation an den Reiz mit ungekreuzter Disparität ergab sich keine signifikante Dishabituationsleistung.

Gegen die Hauptbedingung kann eingewendet werden, dass sie nicht die Fähigkeit abfragt, dreidimensionale Konturen wahrzunehmen, sondern bloß die Fähigkeit, unterschiedliche lokale 3D Effekte (gekreuzte versus ungekreuzte horizontale Disparität) innerhalb der Aussparungen der induzierenden Elemente zu bemerken. Daher haben wir eine Kontrollbedingung mit zwei weiteren Gruppen von Säuglingen durchgeführt, die analog zu der Hauptbedingung verlief. Die induzierenden Elemente waren unter Beibehaltung der Disparitätsinformationen um 180° rotiert (Abb. 2d und 2e; Abb.

2e und 2f). Die Figuren sind gleichfalls mit Hilfe des Unterschiedes zwischen gekreuzter und ungekreuzter Disparität diskriminierbar. Eine (globale) subjektive Kontur wird jedoch durch keine der Figuren induziert. Fünf Monate alte Säuglinge ließen weder nach Habituation an den Kontrollreiz mit gekreuzter noch nach Habituation an den Kontrollreiz mit ungekreuzter Disparitätsinformation eine signifikante Dishabituationsreaktion erkennen. Bei den 7 Monate alten Pbn hingegen waren die Dishabituationseffekte für beide Habituationsgruppen signifikant. Ein statistischer Vergleich zwischen der Haupt- und der Kontrollbedingung ergab bei den 5 sowie auch bei den 7 Monate alten Pbn über beide Habituationsgruppen hinweg für die Dishabituationsdaten einen signifikanten Haupteffekt in Richtung auf eine Bevorzugung der jeweils nicht vertrauten Disparität. Jedoch zeigten die Analysen nicht an, dass die Dishabituationswerte der Hauptbedingungen statistisch bedeutsam von denen der Kontrollbedingungen abwichen. Dieser Unterschied wäre zu erwarten, wenn die Pbn zusätzlich zu den in beiden Bedingungen vorhandenen lokalen Disparitätsunterschieden in der Hauptbedingung die von diesen lokalen Unterschieden evozierten globalen Differenzen in der Lokation der subjektiven Kontur extrahiert hätten. Das faktische Fehlen dieses Bedingungsunterschiedes führt daher zur Zurückweisung der Hypothese, dass die Leistung der Pbn in der Hauptbedingung (eindeutig) die Fertigkeit indiziert, auf das Vorhandensein unterschiedlicher dreidimensionaler subjektiver Konturen differentiell anzusprechen. Es ist vielmehr möglich, dass die Pbn in beiden Bedingungen nur eine Unterscheidung zwischen (lokaler) gekreuzter und ungekreuzter Disparität vorgenommen haben. Bei den 4 Monate alten Säuglingen wurde die Kontrollbedingung für die Gruppe derjenigen Hauptbedingung erhoben, die eine signifikante Dishabituation erkennen ließ, d.i. die Gruppe, die an den Reiz mit ungekreuzter Disparität habituiert wurde. Auch hier war der Unterschied zwischen Haupt- und Kontrollbedingung nicht signifikant, d.h. auch hier kann demnach nicht ausgeschlossen werden, dass die Pbn in beiden Bedingungen nur die lokalen Disparitätsdifferenzen wahrnahmen. Auffällig war, dass die 5 und die 7 Monate alten Pbn der Kontrollbedingungen eine Tendenz in Richtung auf eine Präferenz des jeweils neuen Testreizes zeigten. Bei den 7 Monate alten Pbn wurden diese Tendenzen sogar signifikant. Dies zeigt Fortschritte in der Fähigkeit an, gekreuzte von ungekreuzter Disparität zu unterscheiden.

Eine weitere Teilstudie war darauf angelegt zu testen, ob Säuglinge mit einem Alter von 5 Monaten 2D und 3D subjektive Konturen voneinander unterscheiden können. Ein positives Resultat wäre ein alternativer Hinweis darauf, dass die Hinzufügung von horizontaler Disparität zu einer zweidimensionalen subjektiven Kontur zu einer veränderten Wahrnehmung der subjektiven Kontur führt. Getestet wurden 5 Monate alte Babys, da diese Altersgruppe in der eben geschilderten Teilstudie konsistente Neuheitseffekte aufgewiesen hatte. In der Hauptbedingung wurden die Pbn entweder an eine subjektive Kontur mit gekreuzter horizontaler Disparität oder an eine 2D subjektive Kontur habituiert. In der Dishabituationsphase wurden beide Figuren dargeboten, um festzustellen, ob es eine Dishabituation gegenüber der jeweils neuen, in der Habituationsphase nicht gezeigten Figur gibt. Zusätzlich wurden zwei Kontrollgruppen mit Reizen untersucht, deren induzierende Elemente um 180° rotiert waren. Auch diese Kontrollgruppen dienten der Überprüfung dessen, ob die Pbn der Hauptbedingung nur lokale oder aber zusätzlich globale Reizunterschiede wahrnehmen.

Für die Gruppen der Hauptbedingung ergab sich nach Habituation an die 2D subjektive Figur im Dishabituationstest eine signifikante Präferenz für die 3D subjektive Figur mit gekreuzter Disparität. Umgekehrt bevorzugten die Pbn nach Habituation an die 3D subjektive Figur den 2D Testreiz. In der Kontrollbedingung, also in der Bedingung, in der Figuren mit nach außen gewendeten induzierenden Elementen benutzt wurden, hingegen resultierten für beide Habituationsgruppen keine signifikanten Haupteffekte des jeweils neuen Testreizes. In der Gegenüberstellung der Versuchsgruppen schließlich zeigte sich, dass sich die Haupt- von der Kontrollbedingung zwar derart unterschied, dass die Dishabituationseffekte der Haupt- deskriptiv stärker als die der Kontrollbedingung waren. Diese Effekte verfehlten jedoch sowohl für die Gruppen, die an die dreidimensionalen Figuren habituiert worden waren ($p = .089$) als auch für die Gruppen, die an die zweidimensionalen Figuren habituiert wurden ($p = .085$), knapp die statistische Signifikanz. Es ergab sich also auch für diese Teilstudie kein eindeutiger Beleg für die Wahrnehmung zwei- und dreidimensionaler subjektiver Konturen.

d) Experiment 4: Die Wahrnehmung (amodaler) Objekteinheit

Das Experiment 4 prüfte **amodale Komplettierungsprozesse**. Vorgesehen war folgende Vorgehensweise: Eine erste Gruppe (Hauptbedingung 3D) von Pbn wird an eine subjektive Kontur habituieren, die durch gekreuzte Disparität in Richtung auf den Betrachter verschoben ist. Auf beiden Seiten der subjektiven Kontur befinden sich zwei dunkle Teillinien. Bei erwachsenen Betrachtern erwecken sie den Eindruck eines einheitlichen stabförmigen Objekts, das durch die subjektive Kontur teilweise abgedeckt wird (Abb. 3a und 3b). Im Dishabituationstest sehen die Pbn die beiden Teilstücke des Stabes aus der Habituationsphase (Abb. 3c) und einen vollständigen Stab (Abb. 3d). Falls sie in der Habituationsphase eine amodale Komplettierung vornehmen, sollten sie die beiden stabförmigen Teilstücke länger fixieren, da diese gegenüber einem amodal komplettierten Stab neu sind und da das alternative Testobjekt, der durchgehende Stab, als aus der Habituationsphase vertraut eingestuft wird. Gelingt den Säuglingen keine amodale Komplettierung, d.h. sehen sie in der Habituationsphase zwei voneinander unabhängige stabförmige Elemente, sollte sich entsprechend eine Dishabituationsreaktion auf den vollständigen Teststab hin einstellen, da nun dieser als unvertraut wahrgenommen wird. Eine weitere Versuchsbedingung sollte die beschriebene Gruppe mit dem Unterschied replizieren, dass nun die induzierenden Elemente des Habituationsreizes um 180° rotiert sind (Abb. 3e und 3f), um die subjektive Kontur und damit Okklusionssignale zu entfernen. Erwartet wird, dass die Pbn im Dishabituationstest den vollständigen Stab länger fixieren als den aus zwei unverbundenen Stäben bestehenden Reiz, da letzterer, nicht aber ersterer als aus der Habituationsphase stammend wiedererkannt werden sollte. Ein solches Blickmuster untermauert, dass die Wahrnehmung von Objekteinheit durch die Pbn der Hauptbedingung ein Effekt der spezifischen Reizanordnung ist, die dieser Gruppe präsentiert wird. Zwei weitere Gruppen sollten nicht mit drei-, sondern zweidimensionalen subjektiven Konturen konfrontiert werden. Wiederum sollte die Reaktion auf die Testreize (z.B. Abb. 3c) nach Habituation an die subjektive Kontur (z.B. Abb. 3a; Hauptbedingung 2D/bildhaft) bzw. die Figur mit nach aussen rotierten induzierenden Elementen (z.B. Abb. 3e) erfasst werden. Die Daten der bildhaften Hauptbedingung (2D subjektive Kontur) sollten den Daten der dreidimensionalen Hauptbedingung (3D subjektive Kontur) gegenübergestellt werden, um zu eruieren, ob die Hinzufügung von drei- zu zweidimensionalen Okklusionssignalen zu einer Verbesserung der amodalen Komplettierungsleistung führt. Zudem wurden natürliche Präferenztests mit den beiden Testreizen (Abb. 3c und 3d) durchgeführt. Aus einem Ausbleiben einer natürlichen Präferenz für einen der beiden Testreize kann man schließen, dass das Ergebnis der anderen experimentellen Gruppen nicht durch eine solche Präferenz beeinflusst ist.

Da eine amodale Komplettierung bei statischem Reizmaterial jüngeren Säuglingen schwerfällt (z.B. Craton, 1996), testeten wir nicht nur 5, sondern auch 7 Monate alte Babys sowohl mit den drei- als auch den zweidimensionalen Stimuli. Die Pbn wurden wie oben beschrieben sowohl in der 3D als auch in der bildhaften Hauptbedingung an eine Okklusionsszene, d.i. ein von einer (subjektiven) Fläche partiell verdecktes stabförmiges Objekt, habituieren (Abb. 3a und 3b). Im Dishabituationstest wurden als Testreize ein vollständiger (Abb. 3d) und ein unterbrochener Stab (Abb. 3c) gezeigt. Auch die zugehörigen Kontrollbedingungen (mit zwei- bzw. dreidimensionalen Reizen), in der die induzierenden Elemente so rotiert waren, dass keine subjektive Fläche entsteht (Abb. 3e und 3f), wurden durchgeführt. Zudem wurden Tests zur Überprüfung des Bestehens natürlicher Präferenzen realisiert, in welchem nur die Testobjekte (Abb. 3c und 3d) dargeboten wurden (Präferenzbedingung). Die von uns getesteten 5 und 7 Monate alten Pbn zeigten über *alle* Bedingungen hinweg eine ausgeprägte, signifikante Tendenz zur Bevorzugung des unterbrochenen Testobjektes. Da dieser Effekt tatsächlich also nicht nur in den (drei- und zweidimensionalen) Habituations-Dishabituationsbedingungen, sondern auch in den Präferenztestungen auftrat, sind aus dem Experiment keine sinnvollen Aussagen zur amodalen Objektvervollständigung ablesbar.

Alternativ könnte man ein Experiment im Paradigma der **Objektkontinuität** durchführen (z.B. Bremner et al., 2012). Konkret könnte man testen, ob Säuglinge in der Lage sind zu erkennen, dass ein sich bewegendes Gegenstand, der zeitweise unter einer durch horizontale Disparität in den Vordergrund gehobenen subjektiven Kontur verschwindet, auch dann weiter existiert, wenn er nicht mehr sichtbar ist (vgl. auch Kavšek & Marks, 2015).

e) Die Wahrnehmung stereoskopischer subjektiver Konturen

In dem **Experiment zur Wahrnehmung** der von **von Szily** (1921) eingeführten **stereoskopischen subjektiven Kontur** sollten die Pbn der Hauptbedingung in einer Habituations-Dishabituationsstestung darauf hin untersucht werden, ob sie die beiden in der Abb. 4 aufgeführten 3D-Figuren unterscheiden können. Die Pbn sollten entweder an an die den Balken vor der Ellipse (Abb. 4a und 4b) oder an die Ellipse vor dem Balken (Abb. 4b und 4c) habituiert werden. Im Dishabituationsstest sollten die Pbn beide Reize sehen. Unter der Fähigkeit, den stereoskopischen Effekt der Figuren wahrzunehmen, sollten die Pbn eine Dishabituationsreaktion auf die in der Habituationsphase nicht gezeigte Figur hin aufweisen.

In dem Habituations-Dishabituationsexperiment konnten wir zeigen, dass 5 und in schwächerer Ausprägung auch 4 Monate alte Säuglinge die beiden von Szily-Figuren voneinander unterscheiden können. Die 5 Monate alten Pbn zeigten nach Habituation an jede der beiden von Szily-Figuren eine signifikante Dishabituationsreaktion auf die jeweils andere Figur hin. Auch 4 Monate alten Pbn bevorzugten nach Habituation an die Figur, in der die Ellipse vorne liegt, im Dishabituationsstest in signifikanter Weise die Figur mit dem vorne liegenden Balken. Die Pbn jedoch, die an die Figur mit dem im Vordergrund schwebenden Balken habituiert wurden, zeigten keine signifikante Präferenz des alternativen Reizes. Dieses Ergebnis indiziert die Fähigkeit, den Tiefenunterschied innerhalb der von Szily-Figuren wahrzunehmen. Es lässt allerdings offen, ob Säuglinge in der Lage sind, zusätzlich die Formen der beiden Flächen zu erkennen.

Daher wurde in einem weiteren Experiment das Vorhandensein **modaler Komplettierungsprozesse** überprüft, d.h. es wurde getestet, ob Säuglinge die im Vordergrund liegende Fläche als einheitliche Form ansehen oder ob sie davon ausgehen, dass im Vordergrund zwei voneinander getrennte Teilflächen liegen, zwischen denen die Hintergrundfläche zu sehen ist. Die Pbn wurden in der zugehörigen Hauptbedingung an eine der beiden von Szily-Figuren habituiert und in der Dishabituationsphase mit vollständigen und unvollständigen Versionen der vorderen Fläche der jeweiligen von Szily-Figur konfrontiert. In den unvollständigen Figurversionen wurde der Überlappungsbereich der sich kreuzenden Flächen der von Szily-Figuren einfach weggelassen, sodass nur zwei unverbundene Teilstücke der jeweiligen (vorderen) Form zu sehen waren. Eine Neuheitspräferenz für die unterbrochene Form bedeutet, dass die Pbn die vollständige Form als aus der Habituationsphase bekannt ansehen und ihre Aufmerksamkeit auf die ihnen unbekannt unterbrochene Form richten. Das umgekehrte Blickmuster hingegen lässt darauf schließen, dass sie in der Habituationsphase nur zwei miteinander unverbundene Teilflächen vor einem Hintergrund gesehen haben. Unsere Ergebnisse indizieren das Vorliegen modaler Komplettierung bei 5 Monate alten Säuglingen, da diese das erstgenannte Verhaltensmuster zeigten. Eine zusätzliche Kontrollgruppe stellte sicher, dass das Resultat nicht auf eine natürliche Präferenz für die unterbrochenen Formen zurückgeführt werden kann. Vier Monate alte Säuglinge zeigten sowohl Haupt- als auch in der Präferenz-/Kontrollbedingung eine Präferenz des inkompletten Testreizes. Für diese Altersgruppe kann somit keine klare Aussage über das Vorhandensein modaler Komplettierung getroffen werden.

Ursprünglich geplant war die Verwendung von von Szily-Figuren, die aus einem Kreuz und einem Quadrat zusammengesetzt sind. Selbst Säuglinge mit einem Alter von 7 Monaten waren nicht in der Lage, diese Figuren zu unterscheiden. Daher haben wir eine Modifikation der Reize in der beschriebenen Form vorgenommen.

Eine zweite Veränderung haben wir in Bezug auf die Teilstudie zur modalen Komplettierung vorgenommen. Sie ersetzte eine ursprüngliche Teilstudie, bei der sich bei Verwendung der für diese Studie vorgesehenen Stimuli bei 5 Monate alten Babys tendentiell Familiaritätspräferenzen ergaben. Die Testreize in dieser ursprünglichen Studie waren zweidimensionale Abbildungen eines Rechtecks vor einer Ellipse und einer Ellipse vor einem Rechteck. Die beiden Formen waren dadurch voneinander abgehoben, dass sie unterschiedlich ausgefärbt waren. Insbesondere war so die vorne platzierte Form leicht zu erkennen, da sie vollständig ausgeführt war. Habituiert wurden die Pbn wieder an eine der beiden von Szily-Figuren aus der Abbildung 4. Reagieren die Säuglinge in der Habituationsphase auf die stereoskopischen Tiefenhinweise und nehmen sie die Form der im Vordergrund liegenden Figur wahr, so die Hypothese, dann sollten sie eine Neuheitsreaktion auf den (zweidimensionalen) Testreiz hin aufweisen, bei dem die jeweils alternative Form vorne liegt. Es

resultierten Nullergebnisse bzw. eine Tendenz dahingehend, den Testreiz zu bevorzugen, der die Tiefenrelation des Habituationsreizes replizierte.

Eine Nachfolgeuntersuchung, in denen die Fähigkeit zur **amodalen Komplettierung** der hinteren Fläche in von Szily-Figuren thematisiert wird, könnte das geschilderte Experiment vervollständigen. Zudem steht eine Untersuchung aus, in der Säuglinge mit stereoskopischen Stimuli konfrontiert werden, die keinerlei binokulare Disparität, sondern **nur Halbokklusionen** enthalten.

Literaturverzeichnis

- Anderson, B. L. (1994). The role of partial occlusion in stereopsis. *Nature*, *367*, 365–368. doi:10.1038/367365a0.
- Anderson, B. L., & Julesz, B. (1995). A theoretical analysis of illusory contour formation in stereopsis. *Psychological Review*, *102*, 705–743. doi:10.1037/0033-295X.102.4.705.
- Aslin, R. N., & Dumais, S. T. (1980). Binocular vision in infants: A review and theoretical framework. In H.W.Reese & L.P.Lipsitt (Eds.), *Advances in child development and behavior*, Vol. 15 (pp. 53–94). New York: Academic Press.
- Becker, S., Bowd, C., Shorter, S., King, K., & Patterson, R. (1999). Occlusion contributes to temporal processing differences between crossed and uncrossed stereopsis in random-dot displays. *Vision Research*, *39*, 331–339. doi:10.1016/S0042-6989(98)00110-2.
- Birch, E. E., Gwiazda, J., & Held, R. (1982). Stereoacuity development for crossed and uncrossed disparities in human infants. *Vision Research*, *22*, 507–513. doi:10.1016/0042-6989(82)90108-0.
- Braun, S. & Kavšek, M. (submitted). Infants perceive two-dimensional shape from horizontal disparity.
- Bulf, H., Valenza, E., & Simion, F. (2009). The visual search of an illusory figure: A comparison between 6-month-old infants and adults. *Perception*, *38*, 1313–1327. doi:10.1068/p6272.
- Craton, L. G. (1996). The development of perceptual completion abilities: Infants' perception of stationary, partially occluded objects. *Child Development*, *67*, 890–904. doi:10.2307/1131868.
- Csibra, G. (2001). Illusory contour figures are perceived as occluding surfaces by 8-month-old infants. *Developmental Science*, *4*, F7-F11. doi:10.1111/1467-7687.00179.
- Curran, W., Braddick, O. J., Atkinson, J., Wattam-Bell, J., & Andrew, R. (1999). Development of illusory-contour perception in infants. *Perception*, *28*, 527–538. doi:10.1068/p2845.
- Dresp, B., & Grossberg, S. (1997). Contour integration across polarities and spatial gaps: From local contrast filtering to global grouping. *Vision Research*, *37*, 913–924. doi:10.1016/S0042-6989(96)00227-1.
- Ekberg, T. L., Rosander, K., Hofsten, C. von, Olsson, U., Soska, K. C., & Adolph, K. E. (2013). Dynamic reaching in infants during binocular and monocular viewing. *Experimental Brain Research*, *229*, 1–12. doi:10.1007/s00221-013-3588-z.
- Erdogmus, N. (2015). *Die Wahrnehmung dreidimensionaler subjektiver Konturen im Säuglingsalter*. Unveröffentlichte Masterarbeit, Universität Bonn.
- Fantz, R. L. (1958). Pattern vision in young infants. *Psychological Record*, *8*, 43–47. doi:10.1007/BF03393306
- Fox, R., Aslin, R. N., Shea, S. L., & Dumais, S. T. (1980). Stereopsis in human infants. *Science*, *207*, 323–324. doi:10.1126/science.7350666
- Gillam, B. (2011). The influence of monocular regions on the binocular perception of spatial layout. In L. R. Harris & Jenkin, M. R. M. (Eds.), *Vision in 3D environments* (pp. 46–69). Cambridge: Cambridge University Press.
- Harris, J. M., & Wilcox, L. M. (2009). The role of monocularly visible regions in depth and surface perception. *Vision Research*, *49*, 2666–2685. doi:10.1016/j.visres.2009.06.021.
- Heider, B., Spillmann, L., & Peterhans, E. (2002). Stereoscopic illusory contours – cortical neuron responses and human perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*, 1018–1029. doi:10.1162/089892902320474472.

- Held, R., Birch, E. E., & Gwiazda, J. (1980). Stereoacuity of human infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, *77*, 5572–5574.
- Johnson, S. P., Bremner, J. G., Slater, A. M., Shuwairi, S. M., Mason, U., Spring, J., & Usherwood, B. (2012). Young infants' perception of the trajectories of two- and three-dimensional objects. *Journal of Experimental Child Psychology*, *113*, 177–185. doi:10.1016/j.jecp.2012.04.011.
- Johnson, S. P., & Mason, U. (2002). Perception of kinetic illusory contours by two-month-old infants. *Child Development*, *73*, 22–34. doi:10.1111/1467-8624.00389.
- Kavšek, M. J. (2002). The perception of static subjective contours in infancy. *Child Development*, *73*, 331–666. doi:10.1111/1467-8624.00410
- Kavšek, M. (2013a). The onset of sensitivity to horizontal disparity in infancy: A short-term longitudinal study. *Infant Behavior & Development*, *36*, 329–343. doi:10.1016/j.infbeh.2013.02.002.
- Kavšek, M. (2013b). Infants' responsiveness to rivalrous gratings. *Vision Research*, *76*, 50–59. doi:10.1016/j.visres.2012.10.011.
- Kavšek, M. (2014). Infants' discrimination of crossed and uncrossed horizontal disparity. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *76*(5), 1429–1436. doi:10.3758/s13414-014-0665-8.
- Kavšek, M., & Braun, S. K. (2016). Binocular vision in infancy: Responsiveness to uncrossed horizontal disparity. *Infant Behavior & Development*, *44*, 219–226. doi:10.1016/j.infbeh.2016.07.001.
- Kavšek, M., & Marks, E. (2015). Infants perceive three-dimensional illusory contours as occluding surfaces. *Child Development*, *86*, 1865–1876. doi:10.11112/cdev.12419.
- Kawabata, H., Gyoba, J., Inoue, H., & Ohtsubo, H. (1999). Visual completion of partly occluded grating in infants under 1 month of age. *Vision Research*, *39*, 3586–3591. doi:10.1016/S0042-6989(99)00060-7.
- Szily, A. von. (1921). Stereoskopische Versuche mit Schattenrissen. *Albrecht von Graefers Archiv für Ophthalmologie*, *105*, 964–972. doi:10.1007/BF01927318.
- Teller, D. Y. (1979). The forced-choice preferential looking procedure: A psychophysical technique for use with human infants. *Infant Behavior and Development*, *2*, 135–153. doi:10.1016/S0163-6383(79)80016-8.
- Valenza, E., & Bulf, H. (2007). The role of kinetic information in newborns' perception of illusory contours. *Developmental Science*, *10* 492–501. doi:10.1111/j.1467-7687.2007.00602.x.
- Valenza, E., Leo, I., Gava, L., & Simion, F. (2006). Perceptual completion in newborn human infants. *Child Development*, *77*, 1810–1821. doi:10.1111/j.1467-8624.2006.00975.x.
- Wattam-Bell, J. R. B. (1996). Development of visual motion processing. In F. Vital-Durand, J. Atkinson, & O. Braddick (Eds.), *Infant vision* (pp. 79–94). Oxford: Oxford University Press.
- Wattam-Bell, J. (2003). Motion processing asymmetries and stereopsis in infants. *Vision Research*, *43*, 1961–1968. doi:10.1016/S0042-6989(03)00282-7.

Wirtschaftliche Verwertbarkeit

Eine wirtschaftliche Verwertbarkeit dieser Grundlagenstudien zeichnet sich derzeit nicht ab.

Der autostereoskopische Monitor hat sich als brauchbares Instrument zur Induzierung stereoskopischer Tiefeneindrücke erwiesen. Es wäre denkbar, ihn auch in der Diagnostik der frühen Funktionalität des stereoskopischen Sehens einzusetzen.

Wer hat zu den Ergebnissen des Projekts beigetragen?

Da das stereoskopische Sehen im Säuglingsalter nur sehr sporadisch untersucht wird, habe ich keine Kooperationspartner im In- oder Ausland. Mitgewirkt an der Studie haben Frau M. Sc. Stephanie Braun, die als Mitarbeiterin beschäftigt war und die Studentischen Hilfskräfte, die im Laufe des Projekts angestellt waren: Frau Judith Ratayczak, Frau Sophia Nettersheim, Frau Katja Plappert, Frau Rebekka Schröder, Frau Pauline Sommerlatte, Frau Carolin König, Frau Ronja Müller, Frau Sonja Wenz, Frau Esther Meise und Frau Hannah Hacker.

Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses im Rahmen des Projektes

Es sind folgende Abschlussarbeiten zum Thema des stereoskopischen Sehens im Säuglingsalter angefertigt worden:

- Erdogmus, N. (2015). *Die Wahrnehmung dreidimensionaler subjektiver Konturen im Säuglingsalter*. Unveröffentlichte Masterarbeit, Universität Bonn.
- Nettersheim, S. (2016). *Gesichterunterscheidung im Säuglingsalter. Untersuchung teilebasierter und holistischer Verarbeitung bei dreidimensionaler Verdeckung*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Universität Bonn.
- Plöger, D. (2016). *Gesichterunterscheidung im Säuglingsalter. Untersuchung teilebasierter und holistischer Verarbeitung bei dreidimensionaler Verdeckung*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Universität Bonn.

3. Zusammenfassung

In dem Vorhaben zum stereoskopischen Sehen im ersten Lebensjahr wurden die Genese der Sensitivität für ungekreuzte horizontale Disparität, die Wahrnehmung stereoskopisch definierter zweidimensionaler Formen sowie der Einfluss stereoskopischer Tiefeninformationen auf die Wahrnehmung subjektiver Konturen behandelt. Als Methoden wurden das Habituations-Dishabituationsparadigma sowie die Präferenztechnik verwendet. Alle Testungen erfolgten mit Hilfe eines autostereoskopischen Monitors.

Die Entstehung der **Sensitivität für ungekreuzte horizontale Disparität** wurde längsschnittartig untersucht. Eine Stichprobe von Säuglingen wurde im Zeitraum zwischen 6 bis 20 Lebenswochen wöchentlich sowohl mit der klassischen Präferenzmethode, in der Blickdauern erhoben werden (CNP-Methode) als auch mit der „forced-choice preferential looking (FPL)“-Technik auf ihre Fähigkeit hin getestet, ein durch gekreuzte horizontale Disparität von einem durch vertikale Disparität definierten Quadrat zu unterscheiden. Unsere Ergebnisse zeigen, dass Säuglinge nach der FPL-Methode ab 13 Lebenswochen und nach der CNP-Methode ab 15 Wochen in statistisch signifikanter Weise das durch ungekreuzte horizontale Disparität spezifiziertes Quadrat präferieren (Kavšek & Braun, 2016).

Das zweite Experiment testete, ob Säuglinge in der Lage sind, **zweidimensionale Forminformationen** zu extrahieren, die durch horizontale Disparität definiert sind. Fünf, nicht aber 4 Monate alte Babys wiesen die Fähigkeit auf, zwei in Zufallspunktestereogramme eingebettete Formen zu unterscheiden. Diese Leistung ist allerdings fragil, da wir festgestellt haben, dass die verwendeten Formen sehr disjunkt sein müssen, um den Pbn eine Unterscheidungsleistung zu ermöglichen.

Drittens ging es um die Fähigkeit zur Extraktion **dreidimensionaler Kanizsa-Figuren**, also von Figuren, deren subjektive Kontur durch Disparitätsinformationen entweder in den Hintergrund oder in den Vordergrund verschoben war. Zwar zeichnete sich bei 4, 5 und 7 Monate alten Säuglingen ab, dass sie die beiden Arten von dreidimensionalen Kanizsa-Figuren unterscheiden konnten. Allerdings gab es keine signifikanten Unterschiede dieser Hauptbedingung zu einer Kontrollbedingung, in der zwar die subjektive Kontur, nicht aber die binokularen Tiefenunterschiede aus den Reizfiguren eliminiert waren. Daher bleibt unklar, ob die Pbn der Hauptbedingung die globalen Differenzen in der Lokation der subjektiven Kontur erkennen konnten. Auch eine weitere Studie, in der die Fähigkeit zur Unterscheidung einer bildhaften, zweidimensionalen Kanizsa-Figur von einer Kanizsa-Figur getestet wurde, deren subjektive Kontur durch gekreuzte horizontale Disparität in den Vordergrund verschoben war, ließ keine eindeutigen Schlussfolgerungen in Bezug auf die Wahrnehmung zwei- und dreidimensionaler subjektiver Konturen zu.

Eine nächste Fragestellung befasste sich mit **amodalen Komplettierungsprozessen** bzw. **amodaler Objekteinheit**. Wir wollten feststellen, ob Säuglinge ein von einer durch gekreuzte horizontale Disparität verstärkten subjektiven Kontur teilweise verdecktes Objekt als vollständig bzw. als sich hinter der subjektiven Kontur erstreckend wahrnehmen. Die von uns untersuchten 5 und 7 Monate alten Babys zeigten in allen Versuchsbedingungen, d.h. auch in den Präferenztests, in denen kontrolliert wurde, ob die Pbn eine natürliche Bevorzugung für einen der Testreize besitzen, überraschenderweise eine Präferenz für einen der experimentellen Testreize. Daher sind aus dem Experiment keine klaren Aussagen zur amodalen Objektvollständigkeit ablesbar.

In dem letzten Experiment ging es um die Fähigkeit, auf **stereoskopische subjektive Figuren nach von Szily** zu reagieren, in denen subjektive Konturen sowohl durch horizontale Disparität als auch durch Halbokklusionen erzeugt werden. In von Szily-Figuren überkreuzen sich zwei gleichfarbige Flächen. Sie können nur durch stereoskopische Tiefeninformationen als voneinander abgehoben und so als eigenständig erkannt werden. Als erstes konstatierten wir, dass sowohl 5 als auch – allerdings in schwächerer Form – 4 Monate alte Babys einen Austausch des relativen Tiefenverhältnisses der beiden Teilflächen einer von Szily-Figur bemerken. Fünf Monate alte Babys nehmen zudem eine **modale Komplettierung** vor, d.h. sie nehmen die vordere Fläche einer von Szily-Figur als zusammenhängende Einheit wahr. Auch in diesem Experiment haben wir Variationen der experimentellen Stimuli vorgenommen, d.h. auch hier stehen die Untersuchungsergebnisse in Abhängigkeit von der konkreten Ausführung des Reizmaterials.

Das Forschungsprojekt ist mehrmals in den Medien erwähnt worden. Insbesondere wurde es im März 2016 auf RTL in der Sendung „Loop – Wissen Hautnah“ vorgestellt.