

Zwischenbericht

Die Entwicklung des binokularen Sehens im ersten Lebensjahr

1. Allgemeine Angaben

- *DFG-Geschäftszeichen:* KA 1123/10-1
- *Antragsteller:* Michael Kavšek, Priv.-Doz. Dr. Dipl.-Psych.
- *Institut:* Universität Bonn, Institut für Psychologie, Abt. Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, Kaiser-Karl-Ring 9, 53111 Bonn
- *Thema des Projekts:* Psychophysikalische Untersuchung der Überlagerungshypothese sowie der Sensitivität für Zufallspunktstereogramme bei Säuglingen
- *Berichtszeitraum:* 1. Januar 2010 bis 31. Januar 2013
- *Liste der wichtigsten Publikationen aus dem Projekt:*
 - a) *Arbeiten aus Publikationsorganen mit wissenschaftlicher Qualitätssicherung:*

Kavšek, M. (2013a). Infants' responsiveness to rivalrous gratings. *Vision Research*, 76, 50-59.

Kavšek, M. (2013b). The development of sensitivity to horizontal disparity in infancy: A short-term longitudinal study. *Infant Behavior and Development*, 36, 329-343

Kavšek, M. (in press). The comparator model of infant visual habituation and dishabituation: Recent insights. *Developmental Psychobiology*.

2. Arbeits- und Ergebnisbericht

2.1 Ausgangsfragen und Zielsetzungen des Projekts

2.1.1 Die Überlagerungshypothese

Ein Ziel des Forschungsprojektes bestand in einer **Überprüfung der Überlagerungshypothese** und der **Genese binokularer Rivalität**. Diese Hypothese geht auf die Arbeiten von Birch, Shimojo und Held (1985), Gwiazda, Bauer und Held (1989), Shimojo (1993), Shimojo, Bauer, O'Connell und Held (1986) sowie Thorn, Gwiazda, Cruz, Bauer und Held (1994) zurück. In der paradigmatischen Längsschnittstudie von Gwiazda et al. (1989) wurden Säuglinge im Altersbereich zwischen 3 und 13 Wochen mit interokular orthogonalen (dichoptischen) Gittern und interokular identischen Gittern konfrontiert. In dem dichoptischen Reiz wurde ein vertikales Streifenmusters in das eine Auge und ein horizontales Streifenmuster in das andere Auge gelenkt. Bei Erwachsenen erzeugt dieser Reiz *binokulare Rivalität*: Die Wahrnehmung alterniert in kurzzeitigen Intervallen zwischen den Bildern der beiden Augen. Außerdem kommt es zu instabilen Kompositionen der beiden Halbbilder. In dem anderen Reiz wurde dasselbe vertikale Gittermuster in beide Augen gelenkt. Hier wird entsprechend keine Rivalität provoziert. Gwiazda et al. (1989) stellten fest, dass die Pbn zunächst die interokular orthogonalen Gitter vor den interokular identischen Gittern präferierten, dann aber mit im Durchschnitt 12.4 Wochen zu einer relativen Präferenz der interokular identischen Gitter überwechselten. Zudem tauchte ein Geschlechtsunterschied auf, denn die weiblichen Babys präferierten die interokular identischen Gitter ab 9.9 Wochen, die männlichen Babys hingegen erst ab 13.8 Wochen.

Der beschriebene Übergang in der relativen visuellen Präferenz um 3 Lebensmonate zeigt nach allgemeiner Auffassung die Reifung der neurophysiologischen Mechanismen an, die dem binokularen Sehen zugrunde liegen. Um 3 Monate erreichen diese Mechanismen einen Grad an Funktionalität, welcher die Extraktion von Rivalität ermöglicht. Unter dem Postulat, dass Rivalität für Säuglinge unangenehm ist, resultiert eine visuelle Vermeidung interokular orthogonaler Gitter bzw. eine relative visuelle Präferenz interokular identischer Gitter.

Die relative visuelle Präferenz der interokular identischen Gitter bei jüngeren Säuglingen wird von Held (z.B., 1993) mit der **Überlagerungshypothese** erklärt: Während der ersten Lebenswochen werden die Inputs aus korrespondierenden Orten der beiden Retinae nonselektiv in eine einheitliche Repräsentation überführt, da die thalamokortikalen Axone aus jedem Auge in der Schicht IV des primären visuellen Cortex (V1) auf dieselben Zellen konvergieren. Infolge dieser Konvergenz kommt es zu einer Aufsummierung (Überlagerung) der Informationen aus den beiden Augen. Interokular orthogonale Gitter werden daher von jungen Säuglingen als einziges, vollständiges und komplexes Gittermuster wahrgenommen. Da, so Held, Säuglinge eine Tendenz dahin gehend zeigen, komplexere vor einfacheren Mustern, also auch ein komplexes Gittermuster vor einfachen (vertikalen oder horizontalen) Streifen zu präferieren (z.B. Karmel, 1969), zeigt eine Bevorzugung der interokular orthogonalen Gitter durch junge Säuglinge folglich an, dass eine Aufsummierung der Signale aus den beiden Augen stattgefunden hat. Mit ca. 3 Monaten ist die Trennung der okularen Dominanzsäulen in der Schicht IV von V1 und damit die Separierung der von den beiden Augen ankommenden Signale abgeschlossen. Nun besteht Disparitätsselektivität. Erkennbar ist dieser Schritt im visuellen Verhalten von Säuglingen daran, dass sie anfangen, das interokular orthogonale Gitter zugunsten des einfachen interokular identischen Streifenmusters zu vermeiden.

Kritik an der Überlagerungshypothese: Mittlerweile existieren mehrere Argumente gegen die Überlagerungshypothese (z.B. Braddick, 1996; Brown & Miracle, 2003; Tyler, 1993). Insbesondere *neuroanatomische Befunde* sprechen gegen die in der Überlagerungshypothese angenommene Konvergenz der Inputs aus den beiden Augen auf dieselben Zellen in den ersten Lebenswochen. Bei Affen sind disparitätssensitive anatomische Strukturen in den Arealen V1 und V2 bereits ab einem sehr frühen Lebensalter vorhanden und funktional (z.B. Chino, Smith, Hatta & Cheng, 1997; Endo, Kaas, Jain, Smith & Chino, 2000; Maruko et al., 2008). Die Reagibilität dieser Strukturen ist bei jungen Affen allerdings herabgesetzt.

Zielsetzung: Das primäre Anliegen der Studie zur Überlagerungshypothese war zu überprüfen, ob es den von Gwiazda et al. (1989) und anderen Forschern im Altersbereich zwischen 12 und 14 Wochen postulierten Entwicklungsübergang von einer relativen Bevorzugung des Rivalitätsreizes hin zu einer relativen Bevorzugung des interokular identischen Stimulus gibt. Die **Testung der Überlagerungshypothese** bzw. die Nachverfolgung der Entwicklung der Wahrnehmung interokular orthogonaler Gitter versus interokular identischer Gitter (vgl. Abb. 1) geschah *längsschnittlich*, indem Säuglingen in wöchentlichem Abstand im Altersbereich von 6 bis 16 Wochen untersucht wurden. Weitere Säuglinge wurden einem *Komplexitätstest* unterzogen. Dieser Test überprüfte, ob es bei Säuglingen tatsächlich eine natürliche Präferenz komplexer vor einfachen Gittermustern gibt (Abb. 1). Diese Annahme ist der Behauptung der Überlagerungshypothese inhärent, dass junge Säuglinge, die noch nicht dem Phänomen der Rivalität unterliegen, eine Bevorzugung des interokular orthogonalen Reizes zeigen, weil sie hier ein vollständiges, komplexes Gitter sehen.



Abbildung 1. In den *Rivalitätsexperimenten* sahen die Pbn einen fusionierbaren und einen nicht-fusionierbaren Reiz, in dem ein horizontales Gitter in das eine Auge und ein vertikales Gitter in das andere Auge geschickt wurde. In den *Komplexitätsexperimenten* sahen die Pbn ein horizontales Streifengitter und ein komplexes Gittermuster.

2.1.2 Stereoskopische Wahrnehmung / Wahrnehmung horizontaler Disparität

Das zweite Anliegen des Forschungsvorhabens war, die frühe **Genese des stereoskopischen Sehens** nachzuverfolgen. Das stereoskopische Sehen von Säuglingen ist in den bisherigen Untersuchungen meist mit Hilfe der FPL-Methodik untersucht worden. In den klassischen Studien hierzu wurden **Linienstereogramme** verwendet, in denen ein Teil der Linien durch die Hinzufügung gekreuzter oder ungekreuzter Disparitätsinformation scheinbar hinter oder vor die übrigen Linien verschoben wird (z.B. Birch, Gwiazda & Held, 1982; Birch, Shimojo & Held, 1985; Gwiazda et al., 1989; Held, Birch & Gwiazda, 1980). Konkret wurde den Pbn ein Linienstereogramm mit und eines ohne binokulare Disparität vorgelegt. Sobald, so der Grundgedanke, ein Säugling das disparate von dem nicht-disparaten Linienstereogramm zu unterscheiden vermag, wird er das disparate Stereogramm präferieren. Nach den Ergebnissen der Studien taucht eine Bevorzugung gekreuzter Disparität ab 3 bis 4 Lebensmonaten auf. Außerdem wird ein Geschlechtsunterschied zugunsten der weiblichen Säuglinge berichtet. So konstatierten Gwiazda et al. (1989) einen Entstehungszeitpunkt von 9.1 Wochen bei ihren weiblichen Pbn und von 12.1 Wochen bei ihren männlichen Pbn.

Der Nachteil von Linienstereogrammen (und analog auch von statischen Zufallspunktstereogrammen) besteht darin, dass man die retinale Disparität, d.h. die relative Verschiebung einer oder mehrerer Linien, leicht entdeckt, wenn man die Augen abwechselnd schließt und öffnet. Die Unterscheidung zwischen einem Linienstereogramm mit und einem ohne binokulare Disparität könnte also prinzipiell auch auf der Extraktion von Differenzen in den monokularen Mustern hinsichtlich der Abstände zwischen den Linien basieren. Dieses Problem wird in dynamischen Zufallspunkte-Stereogramme („random dot stereograms“/RDS) vermieden.

Fox, Aslin, Shea und Dumais (1980) und Shea, Fox, Aslin und Dumais (1980) haben die Eigenschaft von dynamischen RDS ausgenutzt, die Bewegung einer durch horizontale Disparität definierten Region zu kaschieren. Die Säuglinge in den beiden FPL-Studien sahen eine entweder nach rechts oder nach links laufende Bewegung einer stereoskopischen Kontur. Gemessen wurde, ob die Pbn die Richtung der Bewegung entdecken konnten. Die Leistung der Säuglinge überstieg in der Studie von Fox et al. (1980) ab 3.5 Monaten das Zufallsniveau.

Brown, Lindsey, Satgunam und Miracle (2007) sowie Wattam-Bell (2003) kontrollierten, ob tatsächlich eine Reaktion auf horizontale statt bloß auf Disparität an sich vorliegt, durch eine simultane Vorgabe von horizontaler Disparität und einem spezifischen Kontrollreiz. Brown et al. (2007) z.B. kombinierten genau wie wir in ihrer RDS-Studie horizontale mit vertikaler Dis-

parität. Nach ihren Ergebnissen war im Alter ab 14 Wochen eine Entdeckung horizontaler Disparität zu verzeichnen.

Zielsetzung: Zur Klärung der Frage, ab wann Säuglinge *horizontale* Disparität wahrnehmen, wurden RDS konstruiert, in denen ein durch horizontale Disparität (1° und 0.5°) definiertes Quadrat gegen ein durch vertikale Disparität (1° und 0.5°) spezifiziertes Quadrat getestet wurde (siehe Abb. 2). Die RDS waren dynamisch. Zudem bewegten sich die beiden quadratischen Regionen in einer ständigen Bewegung von links nach rechts und wieder zurück. Diese Bewegung wurde eingebaut, da die Aufmerksamkeit von Säuglingen leicht auf Bewegung gelenkt werden kann (z.B. Wattam-Bell, 1996). Die Stimuli wurden in Längsschnitten verwendet, in denen Säuglinge im Altersbereich zwischen 6 und 16 Wochen in einem wöchentlichen Abstand einbestellt wurden.



Abbildung 2. Ausschnitt aus einem der verwendeten Zufallspunktstereogramme. Durch Innenschielung wird das linke Bild in das rechte Auge und das rechte Bild in das linke Auge geschickt. Man nimmt dann in der linken Hälfte des Bildes ein Quadrat wahr, das über dem Hintergrund schwebt. Rechts erkennt man ein verschwommenes Quadrat ohne Tiefeneffekt.

Es wurden zwei unterschiedliche Längsschnittuntersuchungen durchgeführt, einer mit einer horizontalen bzw. vertikalen Disparität von 1° und einer mit Disparitäten von 0.5° . Diese Disparitäten wurden in früheren Untersuchungen häufig verwendet (z.B. Birch et al., 1982; Brown et al., 2007). Die Disparitäten waren gekreuzt, da die Fähigkeit, auf gekreuzte Disparität zu reagieren, früher beobachtet worden ist als die Reagibilität auf ungekreuzte Disparität (z.B. Held et al., 1980).

2.1.3 Visuelle Präferenzmethoden

Visuelle Präferenzmethoden dienen der Eruierung natürlicher, spontaner Bevorzungen im Blickverhalten, die Säuglinge aufweisen, wenn sie mit Paaren von Stimuli konfrontiert werden. In der Forschungsliteratur finden sich zwei Implementierungen des *visuellen Präferenzparadigmas*, die Messung von Blickzeiten („classical natural preference (CNP)“-Methode) und die Erfassung der Anzahl von Blickzuwendungen über viele Versuchsdurchgänge hinweg („forced-choice preferential looking (FPL)“-Methode).

Im **klassischen Verfahren der Messung von Blickzeiten** werden die beiden vom Säugling zu vergleichenden visuellen Stimuli für eine relativ lange Zeitdauer präsentiert, die bei bis zu einer Minute und länger liegt, und es wird festgehalten, *wie lange* jeder der beiden Reize fixiert wird (z.B. Fantz, 1958). Für jeden Pbn wird ein relativer Präferenzwert bestimmt, indem die Anblickzeit gegenüber einem der beiden Reize durch die Gesamtanblickzeit gegenüber beiden Reizen dividiert wird.

Im „**forced-choice preferential looking**“-Verfahren wird ein Reizpaar nur solange dargeboten, bis der das Baby beobachtende Experimentator ein Urteil darüber abgegeben hat, welcher der Reize bevorzugt wird. Dieser Vorgang dauert nur jeweils einige wenige Sekunden, wird aber vielfach wiederholt, um herauszufinden, ob einer der beiden Reize signifikant *öfter* fixiert wird als der andere. Aus den Urteilen des Experimentators wird ein relativer Präferenzwert berechnet, der indiziert, wie oft die Urteile über die Blickrichtung mit der tatsächlichen Lage eines der beiden Stimuli übereinstimmt (z.B. Teller, 1997).

Zielsetzung: Die FPL-Methode prävaliert in Untersuchungen zur Entwicklung binokularer Funktionen. Es fehlen Studien, in denen die CNP-Methode verwendet wird. Außerdem liegen keine systematischen Vergleiche der aus der Anwendung der beiden Methoden resultierenden Ergebnisse vor. Dieses Forschungsmanko greift die vorliegende Studie auf, indem beide Verfahren sowohl zur Erfassung des Blickverhaltens gegenüber Rivalitätsreizen als auch gegenüber Zufallspunktstereogrammen zum Einsatz kommen.

2.1.4 Vorbereitende Querschnittanalysen

Vor Durchführung der Längsschnitte wurden querschnittliche Untersuchungen mit jüngeren (6 bis 8 Wochen alten) und älteren (16 bis 18 Wochen alten) Säuglingen durchgeführt, um die konkrete Implementierung der FPL- und der CNP-Methode festzulegen und um das Reizmaterial auszutesten. Die Ergebnisse der Querschnitte haben wir in Form von zwei Vorträgen und 5 Postern auf nationalen und internationalen Kongressen vorgestellt.

2.1.5 Einsatz eines autostereoskopischen Monitors

In den bisherigen Studien zum binokularen Sehen wurden Brillen eingesetzt, um die beiden Halbbilder des 3D-Reizes getrennt in die beiden Augen zu leiten. Dies kann sich störend auf die Untersuchung von Babys auswirken. Daher wurden die experimentellen Reize in der vorliegenden Studie mit einem autostereoskopischen 3D Monitor dargeboten. Der verwendete Monitor vom Typ „Seefront SF 2223“ ist ein System, das die beiden Halbbilder mit Hilfe einer „face tracking“-Vorrichtung adäquat an die Lage und Entfernung des Betrachters anpasst. Es wird keine die beiden Halbbilder trennende Brille benötigt.

2.2 Entwicklung der durchgeführten Arbeiten und Abweichungen vom ursprünglichen Konzept

Längsschnitte: Ursprünglich war vorgesehen, die **Wahrnehmung von Rivalität** und die **Wahrnehmung von Komplexität** nicht an zwei getrennten Stichproben zu erheben, sondern an denselben Pbn. Die Pbn sollten sowohl Versuchsdurchgänge mit Rivalitätsreizen als auch Durchgänge mit Komplexitätsreizen erhalten. In einer ersten Längsschnittstudie stellte sich allerdings heraus, dass es Reihenfolgeeffekte gab, d.h. das visuelle Verhalten der Pbn hing davon ab, welches Stimuluspaar (Rivalitätsreize oder Komplexitätsreize) an erster Stelle präsentiert wurde. Dieses Problem zeigte sich nicht nur für die Überprüfung der Überlagerungshypothese, sondern auch für die Testung der **stereoskopischen Wahrnehmung**. Hier war vorgesehen, sowohl das stereoskopische Sehen als auch die Wahrnehmung eines tatsächlichen Quadrates an denselben Pbn zu überprüfen. Aufgrund der Reihenfolgeeffekte wurde eine Änderung des Versuchsplans vorgenommen.

Ursprünglich geplant waren vier Längsschnittstudien. In zwei Studien sollten die Überlagerungshypothese und die Wahrnehmung von Komplexität zum einen mit dem der Methode des „forced-choice preferential looking (FPL)“-Paradigma und zum anderen mit der CNP-Methode untersucht werden. In zwei weiteren Studien sollten das stereoskopische Sehen und die Erkennung eines tatsächlichen Quadrates gleichfalls mit den beiden Präferenzverfahren getestet werden.

Stattdessen wurden fünf Datensätze längsschnittlich erhoben. In einer Studie wurden die Pbn einem FPL-Test zum stereoskopischen Sehen und einem CNP-Test zur Wahrnehmung von Rivalität unterzogen. In der zweiten Studie wurden Säuglinge einem FPL-Test zur Rivalitätswahrnehmung und einem CNP-Test zum stereoskopischen Sehen unterworfen. Der Grad an Disparität wurde auf 1° (60 min) festgesetzt. Da bei der Begutachtung des zugehörigen Artikels beanstandet wurde, dass dieser Wert zu nahe an dem maximalen Wert (D-max) von 85 min läge, auf den Säuglinge im Altersbereich zwischen 14 und 20 Wochen reagieren (Brown, Lindsey, Satgunam & Miracle, 2007), wurde eine weitere, dritte Längsschnittstudie mit einem Wert von 0.5° (30 min) realisiert. Hier machten die Pbn sowohl einen FPL- als auch einen CNP-Test zum stereoskopischen Sehen mit. In den übrigen beiden Studien wurde die Wahrnehmung von Komplexität überprüft. Dies geschah in einer Studie mittels des FPL-Paradigmas, in der anderen Studie hingegen mit dem CNP-Ansatz. Während die Stichprobengrößen bei den ersten drei Studien bei $n = 24$ lagen, waren sie in den beiden Komplexitätsstudien auf $n = 14$ heruntersgesetzt. Die Wahrnehmung eines tatsächlichen Quadrates wurde nicht getestet, da die Pbn in den Studien zum stereoskopischen Sehen klare Reaktionen auf horizontale Disparität zeigten.

Umgang mit fehlenden Daten: Ursprünglich war vorgesehen, Datenpunkte, die in einem Längsschnitt fehlten, etwa weil der Pb bzw. dessen Eltern nicht zum vereinbarten Untersuchungstermin erschienen, zu ersetzen, indem ein Säugling desselben Geschlechts und mit dem jeweiligen Alter getestet wurde. Da dies jedoch zu Verzerrungen des Datenmaterials

geführt hätte und da das Problem fehlender Werte nicht allzu gravierend ausfiel, wurde auf diese Vorgehensweise verzichtet. Im Rahmen der Datenauswertung wurden Trendanalysen durchgeführt, die ohne eine Ersetzung fehlender Werte auskommen.

Querschnitte: Nachdem wir mit der Datenerhebung angefangen hatten, stellte sich heraus, dass uns der Hersteller des autostereoskopischen Monitors eine falsche Angabe zu der optimalen Distanz gemacht hatte, den die Säuglinge einzuhalten hatten, um einen optimalen, auf ihren Augenabstand abgestimmten stereoskopischen Eindruck zu erhalten. Dadurch gingen die Daten von 34 Pbn verloren. Zudem mussten wir eine Pause von ca. 3 Wochen einlegen, um zusammen mit dem Hersteller den korrekten optimalen Abstand zu bestimmen.

Zusätzlich zu den Präferenzwerten wurden auch Meilensteine der **motorischen Entwicklung** erhoben. Statistische Analysen zeigten jedoch, dass diese keinen Zusammenhang mit den Präferenzergebnissen aufwiesen.

2.3 Darstellung der erreichten Ergebnisse und Diskussion

2.3.1 Ergebnisse und Diskussion der vorbereitenden Querschnittanalysen

Die **Überlagerungshypothese** wurde an einer Stichprobe von 36 Säuglingen mit einem Alter zwischen 6 und 8 Wochen und 33 Säuglingen mit einem Alter von 16 bis 18 Wochen überprüft. Sowohl nach den FPL- als auch nach den CNP-Ergebnissen zeigte sich für beide Altersgruppen keine signifikante Bevorzugung der interokular orthogonalen Gitter vor den interokular identischen Gittern oder umgekehrt. Weitere Stichproben von 6 bis 8 ($n = 29$) und 16 bis 18 ($n = 33$) Wochen alten Säuglingen ließen eine signifikante Präferenz für ein komplexes Gittermuster vor horizontalen Streifen erkennen. Dieses Resultat stellte sich sowohl für das FPL- als auch für das CNP-Verfahren ein.

Diese Ergebnisse widersprechen der Überlagerungshypothese. Zudem stimmen sie mit den längsschnittlichen Daten zur Komplexitätspräferenz überein (siehe 2.3.2). Im Gegensatz zu den Längsschnittdaten zeigt sich jedoch bei den älteren Pbn keine Vermeidung der interokular orthogonalen Gitter, d.h. keine Rivalität. Die Ursache hierfür ist unklar. Ich gehe davon aus, dass die Längsschnittergebnisse zuverlässiger sind, da sie auf einer höheren Zahl von Messungen beruhen.

Die **Sensitivität für binokulare Disparität** wurde gleichfalls an zwei Stichproben von 6 bis 8 ($n = 34$) und 16 bis 18 ($n = 25$) Monate alten Säuglingen erhoben. Beide Altersgruppen, die mit der CNP-Methode getestet wurden, wiesen eine signifikante ($\alpha = .05$) relative Präferenz für horizontale Disparität (1°) auf. Die Leistung der älteren Pbn war dabei signifikant höher als die der jüngeren Pbn. Auch die Gruppen, die mit der FPL-Methode untersucht wurden, zeigten einen alterskorrelierten Anstieg der relativen Präferenz für horizontale Disparität. Dieser Anstieg war allerdings nicht signifikant. Die jüngeren Pbn bevorzugten die horizontale Disparität tendentiell ($p = .08$, einseitig), während der entsprechende Präferenzwert der älteren Pbn hoch signifikant ausfiel. Diese Ergebnisse stimmen weitgehend mit denen der Längsschnittuntersuchungen überein (siehe 2.3.3).

2.3.2 Ergebnisse und Diskussion der Längsschnitte zur Überlagerungshypothese / zu Rivalität

Die Versuchsergebnisse zur längsschnittartigen Erfassung des visuellen Verhaltens gegenüber einem Rivalität erzeugenden Streifenmuster sind in der (beiliegenden) Schrift von Kavšek (2013a) festgehalten.

Die Abbildung 3 zeigt die mit der **FPL-Methode** erzielten Resultate. Die untere Kurve gibt die relative Bevorzugung eines einfachen horizontalen Streifenmusters vor einem interokular orthogonalen Gittermuster wieder. Die Kurve verdeutlicht, dass die Pbn über alle Messzeitpunkte hinweg, d.h. von 6 bis 16 Wochen, das einfache Streifenmuster bevorzugten. Zu dem Mittelwert jeder Altersstufe ist das B-Y-korrigierte 95%-Konfidenzintervall angegeben. Die Konfidenzintervalle schließen ab 8 Lebenswochen die Zufallswahrscheinlichkeit von 50%, die eine Gleichverteilung der Aufmerksamkeit auf die beiden Testreize zum Ausdruck bringt, nicht mehr ein. Ab 8 Wochen also liegt eine signifikante Vermeidung des Rivalität erzeugenden Gittermusters vor. Die obere Kurve zeigt das Blickverhalten gegenüber dem Reizpaar,

das ein komplexes Gitter und ein einfaches Streifenmuster enthält. Die Kurve zeigt eine relative Bevorzugung des komplexen Gitters an. Diese Präferenz ist über alle Messzeitpunkte hinweg signifikant.

Die **Überlagerungshypothese** sagt einen Wechsel von einer relativen Bevorzugung des Rivalitätsreizes hin zu einer relativen Bevorzugung des einfachen, keine Rivalität erzeugenden Streifenmusters voraus. Dieser Übergang wird durch unsere Ergebnisse nicht bestätigt. Der Grund für diese Diskrepanz in den Forschungsbefunden ist unklar. Möglicherweise spielen Unterschiede in der Beschaffenheit des Reizmaterials eine Rolle (z.B. Tyler, 1993).

Die Ergebnisse indizieren das Vorhandensein der für **Rivalität** sorgenden neurophysiologischen Mechanismen bereits bei jungen Säuglingen. Das relativ frühe Einsetzen des Phänomens der Rivalität widerspricht früheren VEP- und behavioralen Studien (z.B. Shimojo et al., 1986), nach denen Rivalität ab ca. 3 Lebensmonaten wahrgenommen wird. Allerdings sind unsere Beobachtungen kongruent mit neurophysiologischen Befunden bei Affen: Hier zeigt sich eine frühe Funktionalität der neurophysiologischen Strukturen, die an die Extraktion von binokularer Rivalität beteiligt sind (z.B. Endo et al., 2000).

In einer ähnlich angelegten Studie zur Überlagerungshypothese fanden Brown und Miracle (2003) gleichfalls keine Präferenz für den Rivalitätsreiz. Zudem stellten sie einen kontinuierlichen Abfall der relativen Präferenz für Rivalität zwischen dem Alter von 5 bis 6 und ca. 11 Wochen fest. Von 11 bis 16 Wochen blieben die Präferenzwerte relativ stabil. Die Daten unserer Studie wurden *trendanalytisch* analysiert. Das Modell, das am besten zu den Rivalitätsdaten in der unteren Kurve der Abbildung 3 passt, ist das einer **U-förmigen Entwicklung**: Die Vermeidung des Rivalitätsreizes wird bis 11 Wochen stärker und schwächt sich anschließend wieder ab.

Die Überlagerungshypothese postuliert eine natürliche **Präferenz für komplexere vor weniger komplexe Reize**: Junge Säuglinge präferieren den Rivalitätsreiz, da sie ihn als vollständiges Gitter wahrnehmen, der komplexer als ein einfaches Linienmuster ist. Die Forschung zur Präferenz von komplexen Mustern zeigt allerdings, dass das Blickverhalten von Säuglingen durch eine Interaktion zwischen Komplexität und Alter moduliert wird (z.B. Horowitz, Tims & McCluskey, 1974). Daher wurde zusätzlich das Blickverhalten gegenüber einem vollständigen Gitter versus einem einfachen Linienmuster erhoben (s. Abb. 1). Die Ergebnisse der Studie hierzu bilden die obere Kurve in der Abbildung 3. Tatsächlich trat zu allen Messzeitpunkten eine signifikante Bevorzugung des komplexen Gitters auf. Eine Präferenz für das einfache Linienmuster vor dem vollständigen Gitter hätte die Hypothese, dass die Ergebnisse des Rivalitätsexperimentes eine Vermeidung des Rivalitätsreizes abbilden, in Frage gestellt. Stattdessen hätte es sein können, dass das visuelle System von Säuglingen die beiden Halbbilder des Rivalitätsreizes zu einem vollständigen Gitter fusioniert und dass die Rivalitätsdaten dadurch zustande kommen, dass die Babys eine natürliche Präferenz des einfachen Gittermusters vor diesem vollständigen Gitter besitzen. Geplante statistische Einzelvergleiche zwischen den Komplexitäts- und den Rivalitätspräferenzen ergaben, dass die Mittelwerte zu allen Messzeitpunkten signifikant voneinander abwichen. Dies sichert die Interpretation der Rivalitätsdaten als Vermeidung des Rivalitätsreizes ab.

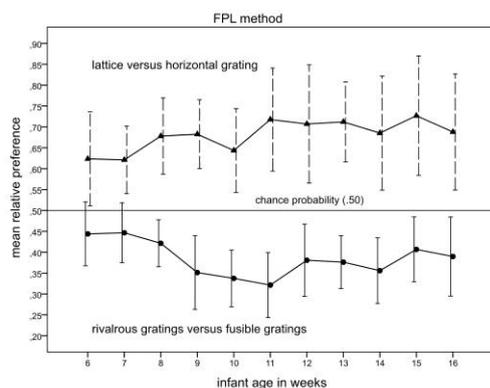


Abbildung 3. Obere Kurve: Mittlere relative FPL-Präferenzen eines vollständigen Gitters vor einem einfachen Linienmuster.

Untere Kurve: Mittlere relative FPL-Präferenzen der interokular orthogonalen Gitter vor den interokular identischen Linien. Die Balken sind B-Y-korrigierte 95%-Konfidenzintervalle.

Die mit der **klassischen natürlichen Präferenzmethode** erhobenen Daten sind in der Abbildung 4 wiedergegeben. Die Ergebnisse dieser Blickzeitendaten validieren die Befunde der FPL-Experimente. Die untere Kurve bildet die mittleren relativen Präferenzen des Rivalitätsreizes vor dem einfachen Linienreiz ab. Erneut zeigt sich, dass der Rivalitätsreiz zu keinem Messzeitpunkt vor dem einfachen Linienmuster präferiert wird. Die Vermeidung des Rivalitätsreizes folgt nach den trendanalytischen Resultaten gleichfalls einem **U-förmigen Verlauf**. Das Minimum liegt bei 11 Lebenswochen. Mit 9, 10 und 12 Wochen weichen die Mittelwerte signifikant von der Zufallswahrscheinlichkeit (.50) ab.

Die obere Kurve zeigt die relativen **Bevorzugen des komplexen Gitters vor dem einfachen Streifenmuster**. Alle Mittelwerte sind größer als der Zufallswert von .50. Signifikant sind die Abweichungen jedoch nur im Altersbereich zwischen 9 und 12 Wochen. Geplante statistische Vergleiche der mittleren relativen Bevorzugen des Rivalitätsreizes mit den mittleren relativen Bevorzugen des komplexen Gittermusters ergaben signifikante (mit 9, 10 und 12 Wochen) oder tendentiell signifikante (mit 11 Wochen) Unterschiede. Dies bestätigt, dass die untere Rivalitätskurve in der Abbildung 4 in dem Altersbereich zwischen 9 und 12 Wochen eine Präferenz des interokular identischen Reizes abbildet, die auf einer Vermeidung des Rivalität erzeugenden Stimulus beruht. Die Mittelwertsunterschiede waren auch mit 13, 14 und 16 Wochen signifikant. Auch dies stützt die Hypothese einer Vermeidung von Rivalität in diesem Altersbereich.

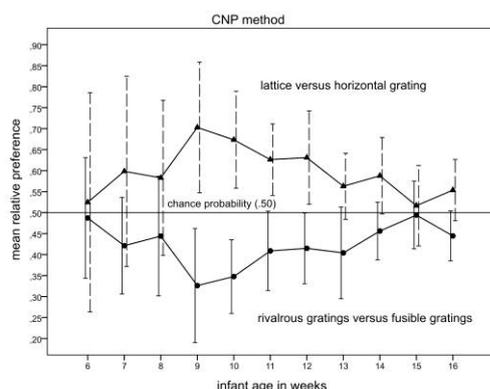


Abbildung 4. Obere Kurve: Mittlere relative CNP-Präferenzen eines vollständigen Gitters vor einem einfachen Linienmuster.

Untere Kurve: Mittlere relative CNP-Präferenzen der interokular orthogonalen Gitter vor den interokular identischen Linien. Die Balken sind B-Y-korrigierte 95%-Konfidenzintervalle.

2.3.3 Ergebnisse und Diskussion der Längsschnitte zum stereoskopischen Sehen

Die Resultate der längsschnittartigen Erfassung der Sensitivität für binokulare Disparität finden sich in der (beiliegenden) Schrift von Kavšek (2013b).

Die Längsschnittdaten für den Disparitätswert von 1° sind in der Abbildung 5, die für den Disparitätswert von 0.5° sind in der Abbildung 6 zusammengefasst. Nach den Kurven zeigen Säuglinge schon in einem frühen Alter eine natürliche Präferenz horizontaler vor vertikaler Disparität. In den **FPL-Studien** schließen die Konfidenzintervalle der mittleren relativen Präferenzen für den Zielreiz mit horizontaler Disparität den Zufallswert von .50 ab 8 Wochen nicht mehr ein. In den **CNP-Studien** wird mit 12 bis 15 Wochen ein späteres Einsetzen der Sensitivität für horizontale Disparität angezeigt. Trendanalysen indizierten für alle Kurven bis auf die CNP-Bedingung mit 0.5° ein Anwachsen der relativen Präferenzen. Diese Trends waren in den FPL-Gruppen steiler als in den CNP-Gruppen. Zudem fielen die mittleren FPL-Werte höher aus als die mittleren CNP-Werte.

Die FPL-Ergebnisse indizieren ein **früheres Auftauchen der Sensitivität für horizontale Disparität als die meisten früheren Studien** (z.B. Brown et al., 2007; Fox et al., 1980; Shea et al., 1980). Sie sind andererseits konsistent mit den ähnlich angelegten Studien von Brown und Miracle (2003) und von Wattam-Bell (2003), die die Entstehung des stereoskopischen Sehens auf 8 bis 9 bzw. 9 bis 10 Lebenswochen datieren.

Ein wichtiges Ergebnis der Experimente mit 0.5° Disparität waren **Geschlechtsunterschiede**. In dem FPL-Experiment mit 0.5° Disparität zeigte die Trendanalyse einen signifikanten Effekt der Geschlechtsvariable an, in dem CNP-Experiment mit 0.5° Disparität eine signifikante Interaktion zwischen Geschlecht und Alter in Wochen. In dem FPL-Experiment hatten die männlichen Babys generell höhere relative Präferenzen als die

weiblichen Babys. Eine detaillierte Analyse der CNP-Daten erbrachte ein Auftauchen der Sensitivität für horizontale Disparität bei den männlichen Pbn ab 12 Wochen, während sich bei den weiblichen Pbn selbst mit 16 Lebenswochen noch keine Signifikanz abzeichnete. Diese Befunde stehen im Gegensatz zu früheren Ergebnissen, nach denen horizontale Disparität von weiblichen Pbn früher als von männlichen Pbn entdeckt wird (z.B. Gwiazda et al., 1989). Die Ursache für diese Diskrepanz ist noch unklar. In den Experimenten mit 1° Disparität tauchten keine Geschlechtseffekte auf. Die Disparität von 0.5° könnte prinzipiell leichter wahrzunehmen sein als die Disparität von 1° und daher sensibler für differentielle Effekte sein, da sie weiter unterhalb von D-max liegt (vgl. Brown et al., 2007).

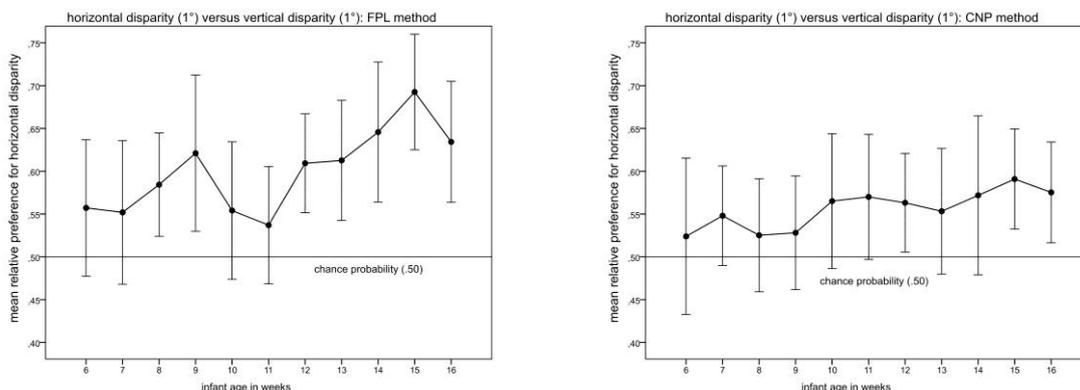


Abbildung 5: Linke Kurve: Mittlere relative FPL-Präferenzen horizontaler vor vertikaler Disparität (1°). Rechte Kurve: Mittlere relative CNP-Präferenzen horizontaler vor vertikaler Disparität (1°). Die Balken sind B-Y-korrigierte 95%-Konfidenzintervalle.

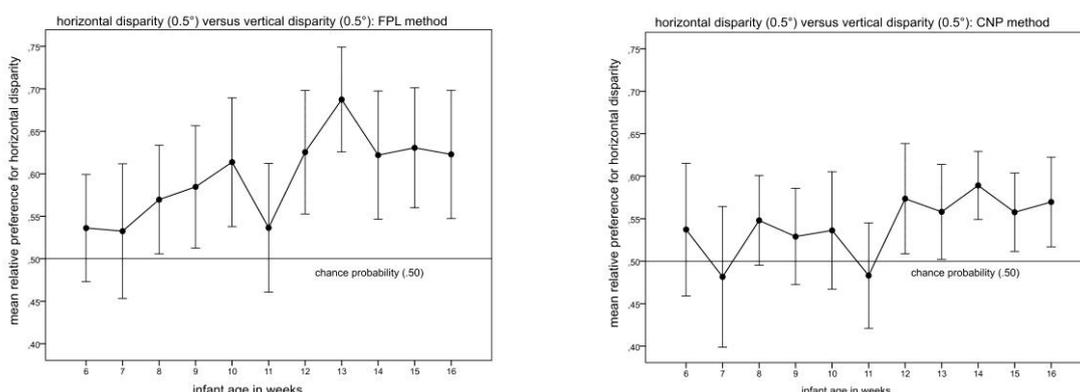


Abbildung 6: Linke Kurve: Mittlere relative FPL-Präferenzen horizontaler vor vertikaler Disparität (0.5°). Rechte Kurve: Mittlere relative CNP-Präferenzen horizontaler vor vertikaler Disparität (0.5°). Die Balken sind B-Y-korrigierte 95%-Konfidenzintervalle.

2.3.4 Vergleich der visuellen Präferenzmethoden

Sowohl in der Studie zur Wahrnehmung von Rivalität als auch in der Studie zum stereoskopischen Sehen resultieren das Präferenzverfahren der Messung von Blickzeiten und das „forced-choice preferential looking“-Paradigma in prinzipiell ähnlichen Ergebnissen. Ein gravierender Unterschied zwischen den Methoden besteht jedoch darin, dass das CNP-Verfahren zu weniger signifikanten Daten führt als das FPL-Verfahren. Dies deutet darauf hin, dass die FPL- sensitiver als die CNP-Methode ist. Ein Grund für diesen Vorteil des FPL-Verfahrens könnte die höhere Anzahl an Versuchsdurchgängen sein: Je mehr Durchgänge durchgeführt werden, desto mehr Gelegenheiten hat der Pb, den kritischen Zielreiz zu entdecken. Zudem erhält der beobachtende Experimentator mehr Gelegenheiten, das Blickverhalten des Babys zu beurteilen. Dies könnte zu mehr „Treffern“ und so zu höheren relativen Präferenzwerten führen.

2.3.5 Mögliche Anwendungsperspektiven und denkbare Folgeuntersuchungen

Rivalität: Die Darbietung interokular orthogonaler Gittermuster erzeugt bruchstückhafte Rivalität, bei der Teile der beiden Halbbilder kurzzeitig simultan gesehen werden. Wenn man komplexe Halbbilder wie z.B. unterschiedliche Gesichter verwendet, stellt sich kohärente Rivalität ein, bei der jedes Halbbild für wenige Sekunden deutlich zu sehen ist, um dann von dem anderen Halbbild in der Wahrnehmung abgelöst zu werden. Es gibt derzeit noch keine Studie zur Wahrnehmung von durch komplexe Stimuli erzeugter Rivalität bei Säuglingen. Wünschenswert wäre in einer solchen Studie der Einsatz eines bildgebenden Verfahrens, um zu eruieren, ab wann die an der Wahrnehmung von Rivalität beteiligten Gehirnareale von Säuglingen in ähnlicher Weise reagieren wie die Gehirnareale von Erwachsenen.

Stereoskopisches Sehen: Es fehlen Untersuchungen, die nicht nur die Sensitivität für horizontale gekreuzte Disparität, sondern auch die Wahrnehmung ungekreuzter Querdisparition, stereoskopisch definierter Tiefe, zweidimensionaler Form, Neigung im Raum, Kurvigkeit und komplexer 3D-Form thematisieren.

Autostereoskopischer Monitor: Der 3D-Monitor hat sich als brauchbares Instrument zur Induzierung stereoskopischer Tiefeneindrücke erwiesen. Es wäre denkbar, ihn auch in der Diagnostik des frühen Funktionierens des stereoskopischen Sehens einzusetzen.

Visuelle Präferenzverfahren: Unsere Studie ist die erste, die einen systematischen Vergleich des „forced-choice preferential looking“-Verfahrens mit der Erfassung von Blickzeiten vorgenommen hat. Das FPL-Paradigma hat sich als sensitiver für die Untersuchung von horizontaler Disparität und Rivalität als die CNP-Technik erwiesen. Das FPL-Verfahren wird häufig zur Untersuchung perzeptueller und visueller Fähigkeiten, z.B. der Farb- und Bewegungswahrnehmung, eingesetzt. Es ist noch offen, ob es auch zur Untersuchung komplexerer Wahrnehmungsleistungen geeignet ist.

Literatur

- Birch, E. E., Gwiazda, J., & Held, R. (1982). Stereoacuity development for crossed and uncrossed disparities in human infants. *Vision Research*, 22, 507-513.
- Birch, E. E., Shimojo, S., & Held, R. (1985). Preferential-looking assessment of fusion and stereopsis in infants aged 1-6 months. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 26, 366-370.
- Braddick, O. (1996). Binocularity in infancy. *Eye*, 10, 182-188.
- Brown, A. M. & Miracle, J. A. (2003). Early binocular vision in human infants: Limitations on the generality of the Superposition Hypothesis. *Vision Research*, 43, 1563-1574.
- Brown, A. M., Lindsey, D. T., Satgunam, P., & Miracle, J. A. (2007). Critical immaturities limiting infant binocular stereopsis. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 48, 1424-1434.
- Chino, Y. M., Smith, E. L. I., Hatta, S., & Cheng, H. (1997). Postnatal development of binocular disparity sensitivity in neurons of the primate visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 17, 296-307.
- Endo, M., Kaas, J. H., Jain, N., Smith, E. L., & Chino, Y. (2000). Binocular cross-orientation suppression in the primary visual cortex (V1) of infant rhesus monkeys. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 41, 4022-4031.
- Fantz, R. L. (1958). Pattern vision in young infants. *Psychological Record*, 8, 43-47.
- Fox, R., Aslin, R. N., Shea, S. L., & Dumais, S. T. (1980). Stereopsis in human infants. *Science*, 207, 323-324.
- Gwiazda, J., Bauer, J., & Held, R. (1989). Binocular function in human infants: Correlation of stereoptic and fusion-rivalry discriminations. *Journal of Pediatric Ophthalmology & Strabismus*, 26, 128-132.
- 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.

- Held, R. (1993). Two stages in the development of binocular vision and eye alignment. In K. Simons (Ed.), *Early visual development. Normal and abnormal* (pp. 250-257). Oxford: Oxford University Press.
- Horowitz, F. D., Tims, S. M., & McCluskey, K. A. (1974). Duration of visual fixation to different black and white checkerboard stimuli. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 39, 116-120.
- Karmel, B. Z. (1969). The effect of age, complexity and amount of contour on pattern preferences in human infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 7, 339-354.
- Kavšek, M. (2013a). Infants' responsiveness to rivalrous gratings. *Vision Research*, 76, 50-59.
- Kavšek, M. (2013b). The development of sensitivity to horizontal disparity in infancy: A short-term longitudinal study. *Infant Behavior and Development*, 36, 329-343.
- Maruko, I., Zhang, B., Tao, X., Tong, J., Smith, E. L., & Chino, Y. M. (2008). Postnatal development of disparity sensitivity in visual area 2 (V2) of macaque monkeys. *Journal of Neurophysiology*, 100, 2486-2495.
- Shea, S. L., Fox, R., Aslin, R. N., & Dumais, S. T. (1980). Assessment of stereopsis in human infants. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 19, 1400-1404.
- Shimojo, S., Bauer, J., O'Connell, K. M., & Held, R. (1986). Pre-stereoptic binocular vision in infants. *Vision Research*, 26, 501-510.
- Shimojo, S. (1993). Development of interocular vision in infants. In K. Simons (Ed.), *Early visual development. Normal and abnormal* (pp. 201-223). Oxford: Oxford University Press.
- Teller, D. Y. (1997). First glances: The vision of infants. The Friedenwald Lecture. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 38, 2183-2203.
- Thorn, F., Gwiazda, J., Cruz, A. A., Bauer, J. A., & Held, R. (1994). The development of eye alignment, convergence, and sensory binocularity in young infants. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 35, 544-553.
- Tyler, C. W. (1993). On the development of the threshold nonlinearity, peripheral acuity, binocularity, and complex stereoscopic processing. In K. Simons (Ed.), *Early visual development. Normal and abnormal* (pp. 258-283). Oxford: Oxford University Press.
- Wattam-Bell, J. (2003). Motion processing asymmetries and stereopsis in infants. *Vision Research*, 43, 1961-1968.
- Wattam-Bell, J. R. B. (1996). Development of visual motion processing. In F. Vital-Durand, J. Atkinson, & O. J. Braddick (Eds.), *Infant vision* (pp. 79-94). Oxford: Oxford University Press.

2.4 Wirtschaftliche Verwertbarkeit der Ergebnisse

Ich sehe derzeit noch keine Möglichkeit, die Ergebnisse des Vorhabens wirtschaftlich zu verwerten.

2.5 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 Dipl.-Psych. Elmira Marks, die als Mitarbeiterin beschäftigt war und die Studentischen Hilfskräfte, die im Laufe des Projekts angestellt waren: Frau Anika Brüchhäuser, Frau Elena Espert, Frau Katrin Jannes, Frau Celina Manasse, Frau Nadezhda Mihaylova, Frau Lisa Quint, Frau Gesa Schlachter, Frau Barbara Schumacher und Frau Julia Taube.

2.6 Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses im Rahmen des Projektes

Frau Dipl.-Psych. Elmira Marks fertigt zurzeit Ihre Dissertation zum Thema „Die Wahrnehmung subjektiver Konturen unter stereoskopischen Bedingungen im Säuglingsalter“ an.

Zudem sind 3 Bachelorarbeiten sowie 6 Diplomarbeiten zu Fragestellungen angefertigt worden, die das 3D-Sehen von Säuglingen behandeln.

3. Zusammenfassung

Zwei Hauptziele des Vorhabens waren (a) eine Überprüfung der Überlagerungshypothese, die eine einfache Aufsummierung der visuellen Bilder, die durch die beiden Augen aufgenommen werden, in den ersten Lebenswochen behauptet, und (b) eine Nachverfolgung der Genese der Fähigkeit zum stereoskopischen Sehen, genauer: der Sensitivität für gekreuzte horizontale Disparität im ersten Lebensjahr. Zu beiden Themen existieren widersprüchliche Forschungsbefunde. Beide Fragestellungen wurden im Längsschnitt an Säuglingen im Altersbereich zwischen ca. 6 und 16 Wochen untersucht. Die Pbn wurden wöchentlich getestet. Ein drittes Anliegen (c) der Studie war ein empirischer Vergleich zwischen der klassischen Präferenzmethode, in der Blickdauern erhoben werden (CNP-Methode), und der „forced-choice preferential looking (FPL)“-Technik. Alle Testungen erfolgten mittels eines autostereoskopischen Monitors mit einem „tracking“-System. Stereoskopische Effekte werden bei diesem Monitor ohne 3D-Brille generiert. Vor den Längsschnitten stellten Querschnittuntersuchungen mit 6 bis 8 und 16 bis 18 Wochen alten Säuglingen sicher, dass der gewählte Altersbereich und die Untersuchungsprozeduren adäquat waren.

In den Längsschnitten Studie zur **Überlagerungshypothese**, die zugleich die **Genese binokularer Rivalität** nachverfolgt, wurde die Fähigkeit von Säuglingen getestet, zwischen interokular identischen horizontalen Linien und interokular orthogonalen Linien zu unterscheiden. Da interokular orthogonale Linien nach der Überlagerungshypothese durch junge Säuglinge als vollständiges Gittermuster wahrgenommen werden und da Säuglinge komplexe vor weniger komplexen Stimuli präferieren, präferieren junge Säuglinge nach der Überlagerungshypothese interokular orthogonale Linien vor einem (weniger komplexen) interokular identischen Linienreiz. Ab ca. 3 Lebensmonaten kommt es zu einem Wechsel der visuellen Präferenz, da der interokular orthogonale Reiz nun **Rivalität** erzeugt. Da Rivalität aversiv wirkt, wird dieser Reiz ab 3 Monaten zugunsten des einfachen Linienreizes vermieden. Sowohl nach den FPL- als auch nach den CNP-Daten wurde der Rivalitätsreiz ab 8 bis 9 Wochen signifikant vermieden, d.h. ab diesem Alter wird binokulare Rivalität wahrgenommen (Kavšek, 2013a). Dieser Befund widerlegt die Überlagerungshypothese und indiziert ein früheres Auftauchen binokularer Rivalität als in der Forschungsliteratur üblicherweise beschrieben. Zusätzliche Stichproben wurden mit einem komplexen Gittermuster und einem einfachen Linienmuster getestet. Sowohl die FPL- als auch die CNP-Ergebnisse indizieren eine Präferenz des komplexen vor dem einfachen Muster. Diese Beobachtung stellt sicher, dass die Ergebnisse der Hauptbedingungen keine Bevorzugung des einfachen Linienmusters indizieren, sondern aus der Vermeidung des Rivalität generierenden Stimulus resultieren.

Die **Sensitivität für horizontale Disparität** wurde durch mehrere Längsschnitte getestet. Die Pbn wurden mit zwei Disparitäten, 1° oder 0.5° , und mit der FPL- oder mit der CNP-Methode untersucht. Um zu kontrollieren, dass die Pbn nicht auf Disparitätsinformation per se reagieren, wurden sie mit einem dynamischen Zufallspunktestereogramm konfrontiert, in dem ein durch gekreuzte horizontale Disparität sowie ein durch vertikale Disparität definiertes Quadrat gezeigt wurden. Nach den FPL-Resultaten wurde die mittlere relative Präferenz für horizontale Disparität ab 8 Lebenswochen signifikant. Nach den CNP-Resultaten wurde sie ab 12 bis 15 Wochen signifikant. Damit bestätigen die CNP-Daten frühere Befunde, nach denen die Fähigkeit, auf horizontale Disparität zu reagieren, ab ca. 3 bis 5 Monaten entsteht. Die FPL-Daten hingegen sprechen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus der Rivalitätsstudie für ein früheres Entstehen des stereoskopischen Sehens. Sowohl die FPL- als auch die CNP-Daten für die Disparität von 0.5° enthielten Geschlechtseffekte. Die männlichen Pbn hatten in der FPL-Studie generell höhere relative Präferenzwerte als die weiblichen Pbn. Die CNP-Werte waren bei den männlichen Babys ab 12 Wochen signifikant, während sich bei den weiblichen Babys nur eine überzufällige mittlere Präferenz mit 14 Wochen zeigte.

Die **FPL-Methode** führt insgesamt gesehen zu höheren Präferenzwerten als die **CNP-Methode** und erscheint damit als das sensitivere Paradigma. Ich vermute, dass dies an der höheren Anzahl an Durchgängen und damit Möglichkeiten der Beurteilung des Blickverhaltens der Babys in der FPL-Methode liegt.