

SENSIBLE PHASEN IN DER KINDLICHEN ENTWICKLUNG

Ergebnisse biopsychologischer Forschung

Prof. Dr. Kirsten Hötting

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

22.04.2026

Lebenslanges Lernen



Abb.: Monkey Business/stock.adobe.com



Abb.: edojob/stock.adobe.com / generiert mit KI

Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmer mehr.
Früh übt sich, was eine Meisterin werden will...



Abb.: Halfpoint/stock.adobe.com



Abb.: YULIYA/stock.adobe.com / generiert mit KI

ÜBERBLICK

1. Definition sensible Phasen
2. Entwicklung des Gehirns
3. Erfahrung und Entwicklung
 - 3.1 Entwicklung des Sehsystems und Auswirkungen visueller Deprivation
 - 3.2. Sprachentwicklung
 - (3.3 *Early Adversity*: belastende Erfahrungen in der frühen Kindheit)
4. Zusammenfassung und Fazit

Aus Copyright-Gründen wurden die meisten Abbildungen aus der Präsentation entfernt.

SENSIBLE PHASE (*SENSITIVE PERIOD*)

Sensible Phase: Begrenzte zeitliche Phase in der Entwicklung, in denen Erfahrungen einen besonders starken Einfluss auf die Entwicklung einer Funktion haben.

Domänenspezifische sensible Phasen

Unterschiedliche Bereiche des Gehirns und damit verbundene Funktionen haben zeitlich distinkte und unterschiedlich lange sensible Phasen.

Verlauf der menschlichen Gehirnentwicklung

Abb. 1 aus Casey et al. (2005). Imaging the developing brain:
What have we learned about cognitive development? *Trends in
Cognitive Sciences*

ENTWICKLUNG DES GEHIRNS

Mensch: sehr **langsame Gehirnentwicklung** im Vergleich zu anderen Spezies (bis Anfang des 20. Lebensjahres)
Die Neurogenese (Bildung von Nervenzellen durch Zellteilung) ist jedoch weitestgehend pränatal abgeschlossen.

Abb. Aufbau Neuron



Abb. Pränatale Hirnentwicklung



Abb. aus Carlson (2004). Physiologische Psychologie Pearson Studium.

ENTWICKLUNG DES GEHIRNS

Neurobiologische Prozesse während der Entwicklung des Gehirns:

- **Neurogenese**: Bildung von Nervenzellen durch Zellteilung
- **Migration und Aggregation**: Wanderung unreifer Zellen zu ihrem Bestimmungsort, Bildung der Struktur des Gehirns
- Bildung von Dendritenbäumen und –ästen (**Arborisierung**)
- Axonwachstum und **Myelinisierung** der Axone
- Bildung von Synapsen (**Synaptogenese**)
- **Elimination** von Synapsen



pränatal

pränatal und postnatal

ENTWICKLUNG DES GEHIRNS

Arborisierung

Dendritisches Wachstum und Verzweigung (Arborisierung) bei der Geburt, im Alter von 6 und 24 Monaten

Abb. 3.18 aus: Siegler et al. (Hrsg.) (2021). Entwicklungspsychologie im Kindes- und Jugendalter.

Synaptogenese und Synapsenelimination

Synapsendichte im Zeitverlauf von der Geburt bis ins Erwachsenenalter, getrennt für auditiven Kortex, visuellen Kortex und präfrontalen Kortex

Abb. aus: Rosenzweig et al., (2002). Biological Psychology. Sinauer Ass.

ENTWICKLUNG DES GEHIRNS

Der Abbau von Synapsen ist ein normaler und wichtiger Bestandteil der neuronalen Entwicklung.

Synapsenneuanordnung mit **selektiveren, stärker fokussierten Verbindungen**.

Erfahrung wirkt auf die Prozesse: „use it or lose it“-Prinzip.

„synaptic blooming and pruning“

Veränderung der Selektivität synaptischer Verbindungen in der Entwicklung

Abb. 10.10 aus Pinel, Barnes & Pauli (2018). Biopsychologie.

ENTWICKLUNG DES GEHIRNS

Gogtay et al. (2004): MRT-Bilder des Gehirns im Längsschnitt von 5 bis 20 Jahren (Messungen im 2-Jahresabstand)

Je blauer der Bereich gefärbt ist, desto gereifter ist der Kortexbereich (relativ weniger graue Substanz).

Wahrscheinlich aufgrund von *synaptic pruning* und *Myelinisierung*.

Entwicklung ist in sensorischen und motorischen Bereichen früher abgeschlossen als in Gebieten, die an komplexeren kognitiven Funktionen beteiligt sind.

Veränderung des Volumens der grauen Substanz vom 5. bis 20. Lebensjahr

Abb. 3 aus Gogtay et al. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*

ZUSAMMENFASSUNG ENTWICKLUNG DES GEHIRNS

- Strukturelle und funktionelle Entwicklung des Gehirns: Zusammenspiel von Reifung und Erfahrung
- Mechanismen können auf neurobiologischer Ebene beschrieben werden (Arborisierung, Synaptogenese, *synaptic pruning*, Myelinisierung)
- Veränderungen finden in verschiedenen Bereichen des Gehirns in unterschiedlichen Phasen der Entwicklung statt und sind unterschiedlich früh abgeschlossen.

Verlauf der menschlichen Gehirnentwicklung

Abb. 1 aus Casey et al. (2005). Imaging the developing brain: What have we learned about cognitive development? *Trends in Cognitive Sciences*

ERFAHRUNG UND ENTWICKLUNG: VISUELLES SYSTEM

Wie prägen frühe visuelle Erfahrungen die Entwicklung der Sehfunktionen?

Wie entwickelt sich das Gehirn, wenn Seherfahrungen fehlen?

ENTWICKLUNG DES SEHSYSTEMS

Sehfähigkeit von Säuglingen von etwa vier Wochen bis zu 8 Monaten

Abb. 5.5 a-d aus: Siegler et al. (Hrsg.) (2021). Entwicklungspsychologie im Kindes- und Jugendalter.

Laterale Ansicht des menschlichen Gehirns mit Hervorhebung visueller Kortextareale.

Abb. aus Pinel, Barnes & Pauli (2018). Biopsychologie. Pearson-Verlag.

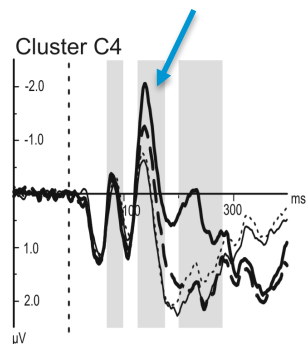
VISUELLER DEPRIVATION UND ENTWICKLUNG SENSORISCHER FUNKTIONEN

Studien mit geburtsblinden Menschen

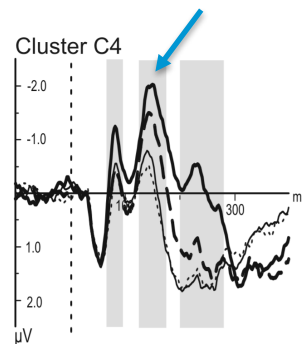
- **Crossmodale Kompensation:** in vielen auditiven und taktilen Aufgaben bessere Leistungen blinder Menschen als sehender Menschen, z.B. Unterscheidung und Lokalisation von Tönen, Sprachwahrnehmung und – verstehen, Gedächtnis (Bedny, 2017, Pavani & Röder, 2012)
- Reorganisationen in auditiven und somatosensorischen Bereichen (**intramodale Plastizität**) sowie in „visuellen“ und multisensorischen Bereichen des Gehirns (**crossmodale Plastizität**)

ERPs to somatosensory stimuli

a) blind



b) sighted



Hötting et al. (2004). Exp Brain Res

Aktivierung des V1-Areals bei blinden Personen während einer Gedächtnisaufgabe

Abb. 6a aus Amedi et al. (2003). Nature Neuroscience: Early „visual“ cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind. *Nature Neuroscience*

Aktivierung okzipitaler Regionen auf sprachl. und nichtsprachl. auditive Reize bei blinden vs. sehenden Kindern und Jugendlichen

Abb. 1 aus Bedny et al. (2015). „Visual“ Cortex Responds to Spoken Language in Blind Children. *The Journal of Neuroscience*:

12

ENTWICKLUNG DER GESICHTERWAHRNEHMUNG

- Neugeborene und wahrscheinlich auch schon Föten zeigen eine Präferenz für Gesichter oder gesichtsähnliche Reize (Macchi Cassia et al., 2004, Reid et al., 2017).
- Weitere Entwicklung wird durch Erfahrung geprägt: immer bessere Differenzierung von Gesichtern, die Säuglinge häufig sehen, dabei jedoch Einengung auf Gesichter der eigenen Spezies und Ethnie (*perceptual narrowing*, Pascalis et al., 2002)
- Vielfältige Erfahrungen mit unterschiedlichen Gesichtern können die Einengung verhindern (Anzures et al., 2012)

Fixationszeit von
Neugeborenen auf ein
aufrechtes im Vergleich
zu einem umgedrehten
menschlichen Gesicht

Abb. 2 aus Macchi Cassia et al.
(2004) Can a Nonspecific Bias
Toward Top-Heavy Patterns Explain
Newborns' Face Preference?
Psychological Science

Zwei menschliche
Gesichter und zwei
Affengesichter

Abb. 1 aus Pascalis et al. (2002)
Is Face Processing Species-
Specific During the First Year of
Life? *Science*

SENSIBLE PHASEN IN DER ENTWICKLUNG DES SEHSYSTEMS

Patient:innen mit **kongenitaler Katarakt**: Angeborene oder frühkindliche Linsentrübung

Seltene Erkrankung: 4,2 von 10.000 Kindern (Wu et al., 2016)

Behandlung: frühe Operation (4.-6. Lebenswoche bei einseitiger kongenitaler Katarakt, bis zur 10. Lebenswoche bei beidseitiger Katarakt, Lagrèze, 2020).

Schnelle Zunahme der Sehschärfe nach der Operation, Erkennung einfacher Objekte und intakte Farbwahrnehmung, jedoch häufig langfristig reduzierte Sehschärfe (Röder & Kekunnaya, 2021).

Cataracta zonularis

Abb. 10.11 aus Grehn.
(2019). Augenheilkunde.

Sehschärfe nach Katarakt-OP in Abhängigkeit des
Lebensalters bei Operation (1-10 Monate)

Abb. 4 aus Stech et al.. (2019). Risk of aphakic glaucoma after pars plana-lensectomy with and without removal of the peripheral lens capsule. *Eye*

SENSIBLE PHASEN IN DER ENTWICKLUNG DES SEHSYSTEMS

Benton Facial Recognition Test

Stimuli aus *Benton Facial Recognition Test*: Gesichter verschiedener Personen unter identischen Bedingungen, mit veränderter Orientierung oder veränderter Beleuchtung

Abb 1. Rossion, B., & Michel, C. (2018). Normative accuracy and response time data for the computerized Benton Facial Recognition Test (BFRT-c). *Behavior Research Methods*

Studien mit Jugendlichen und Erwachsenen, die aufgrund einer frühkindlichen Linsentrübung (kongenitale Katarakt) als Säugling oder Kleinkind operiert wurden und zum Zeitpunkt der Untersuchung jahrelange visuelle Erfahrung hatten:

- einfache Unterscheidung von Gesichtern und anderen Objekten unbeeinträchtigt
- Schwierigkeiten, individuelle Gesichter in unterschiedlichen Orientierungen oder bei wechselnden Beleuchtungen zu erkennen
- Schwierigkeiten, bekannte Gesichter zu erinnern

(de Heering & Maurer, 2014; Putzar, Hötting, Röder, 2010, Röder et al., 2013)

SENSIBLE PHASEN IN DER ENTWICKLUNG DES SEHSYSTEMS

Im EEG: spezifische Komponente, die mit Gesichtserkennung in Verbindung steht, bei behandelter kongenitaler Katarakt nicht ableitbar

Typische Vergleichsbedingungen zur Untersuchung der visuellen
Gesichtsverarbeitung in
neurophysiologischen Studien

Abb. 2A aus Kuefner et al. (2010). Early Visually Evoked Electrophysiological Responses Over the Human Brain (P1, N170) Show Stable Patterns of Face-Sensitivity from 4 years to Adulthood. *Frontiers in Human Neuroscience*:

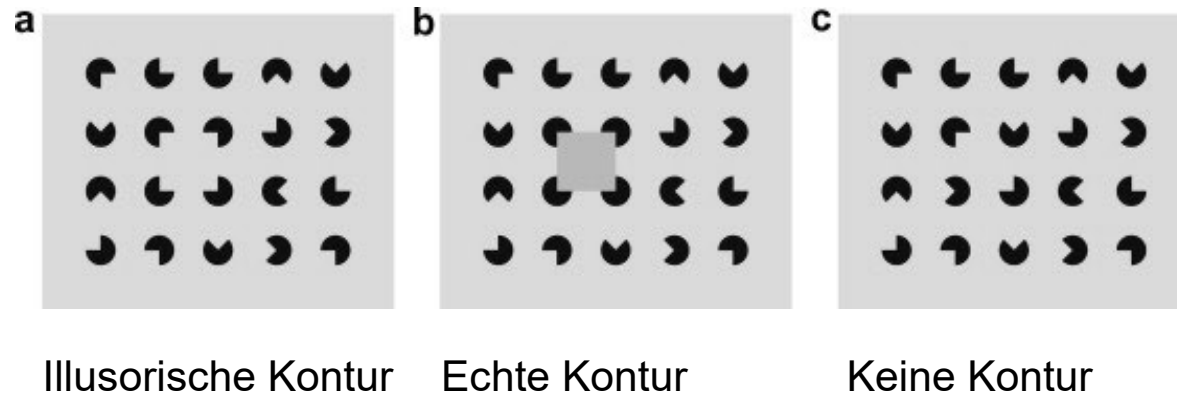
Ereigniskorrelierte Potenziale für vier verschiedene Reizbedingungen (Gesichter, Häuser, verzerrte Versionen von Gesichtern und Häusern) bei angeborener und entwicklungsbedingter Katarakt sowie sehenden Kontrollgruppen

Abb. 1 aus Röder et al. (2013). Sensitive periods for the functional specialization of the neural system for human face processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*

SENSIBLE PHASEN IN DER ENTWICKLUNG DES SEHSYSTEMS

Erkennen von Konturen nach angeborener Katarakt (Linsentrübung)

- Operative Behandlung spätestens mit 17 Monaten
- Testung als Jugendliche oder Erwachsene (> 12 Jahre alt)

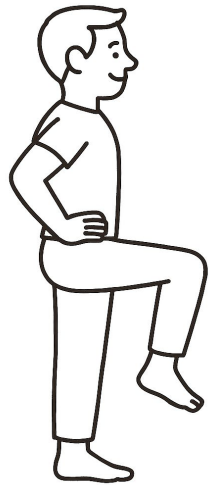


Reaktionszeiten in den drei Versuchsbedingungen für zwei Gruppen von Personen, die aufgrund kogenitaler Katarakt operiert wurden (vor dem 6. Lebensmonat, nach dem 6. Lebensmonat) und zwei Kontrollgruppen (unbeeinträchtigt Sehen, visuell beeinträchtigt, aber nicht seit Geburt). Die Differenz der Reaktionszeiten zwischen „illusorische Kontur“ und „echte Kontur“ ist nur in der Gruppe mit Katarakt-OP nach dem 6. Lebensmonat signifikant größer als in der sehenden Kontrollgruppe

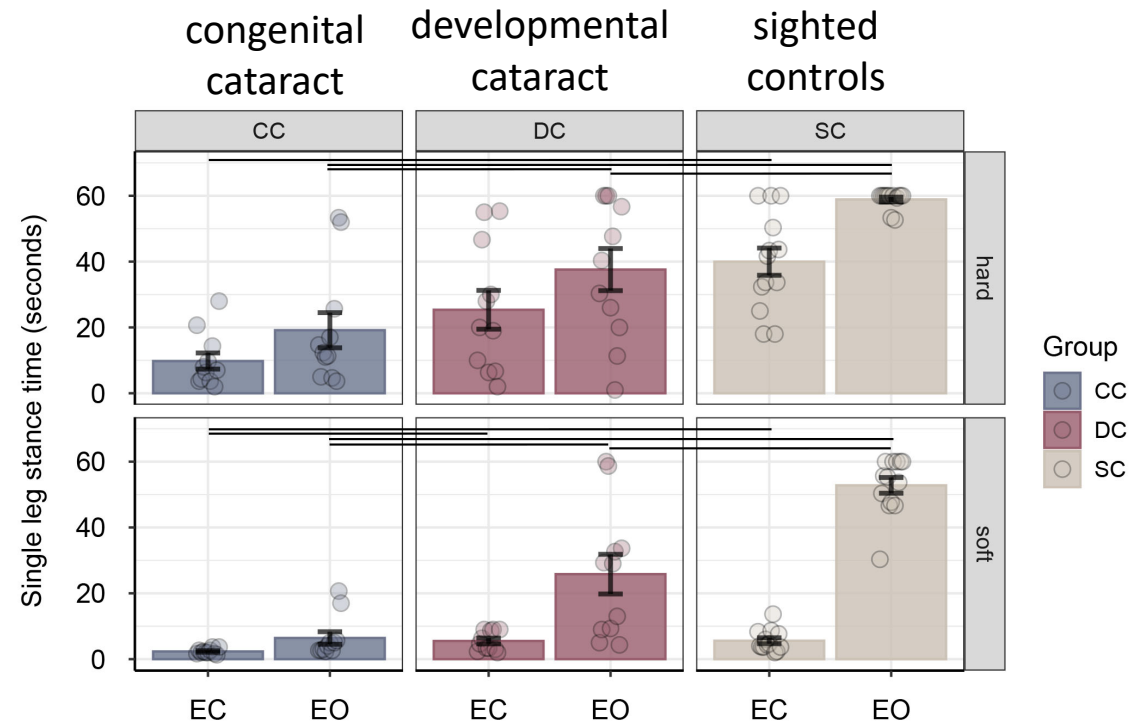
Abb. 2 und 3 aus Putzar, L., et al. (2007). The development of visual feature binding processes after visual deprivation in early infancy. *Vision Research*

SENSIBLE PHASEN IN DER ENTWICKLUNG DES MOTORISCHEN SYSTEMS

Auswirkungen visueller Deprivation auf Motorik und Balance



Einbeinstand
(Bild generiert mit Copilot)



EC: Augen geschlossen
EO: Augen offen

Hötting et al., 2024, J Vision

SENSIBLE PHASEN IN DER ENTWICKLUNG DES SEHSYSTEMS

Strukturelles MRT zur Messung der Dicke und Oberfläche der Hirnrinde

Kinder und Erwachsenen (6-36 Jahre alt), die eine visuelle Deprivation aufgrund **angeborener Katarakt** (Linsentrübung) hatten und deshalb operiert wurden (CC)

Geburtsblinde Menschen (CB)

Sehende Kontrollgruppen (SC)

Unterschiede im visuellen Kortex: geringere Oberfläche und größere Dicke in der Gruppe mit angeborener Katarakt und der Gruppe der geburtsblinden Teilnehmenden als in der sehenden Kontrollgruppe.

Unterschiede in der kortikalen Oberfläche und Dicke des visuellen Kortex zwischen Personen nach operativ behandeltem angeborener Katarakt, geburtsblinden Personen und sehenden Kontrollgruppen

Abb. 1A und 2A aus Hölig et al. (2023). Sight restoration in congenitally blind humans does not restore visual brain structure. *Cerebral Cortex*

ZWISCHENZUSAMMENFASSUNG: FRÜHE SENSIBLE PHASE IN DER SENSORISCHEN ENTWICKLUNG

- Sensible Phase für sensorische Entwicklung sehr früh im Leben
- Sensorische Erfahrung formt neuronale Netzwerke in sensorischen und motorischen kortikalen Arealen
- **Implikationen für die Praxis:** Beeinträchtigungen des Sehens und Hörens früh diagnostizieren, frühe Interventionen essenziell

Zeitliche Darstellung sensibler Phasen für sensorische Entwicklung im visuellen, auditiven ,taktilen, olfaktorischen und gustatorischen System

Abb. 2 (oberste Zeile) aus Nelson et al. (2025). Early adversity alters brain architecture and increases susceptibility to mental health disorders. *Nature Reviews Neuroscience*

SPRACHE

„**Sprache** – unsere gesprochenen, geschriebenen oder durch Gebärden ausgedrückten Wörter und die Art und Weise, wie wir diese miteinander verbinden, um Bedeutungen auszudrücken“ (Myers, 2014, Psychologie, S. 381).

Mensch als einzige Art, die über eine voll ausgebildete Sprache verfügt (ausgedrückte Wörter mitsamt einer komplexen Grammatik).



William H. Calvin, PhD, CC BY-SA 4.0

Sprachverstehen: Das Verstehen dessen, was andere sagen, gebärden oder schreiben. Entwickelt sich schneller als die Sprachproduktion.

Sprachproduktion: Das tatsächliche Sprechen, Gebärden oder Schreiben.

SPRACHENWICKLUNG

Beispiele **früher Sprachkompetenz**:

- Föten können zwischen Musik und Sprache, die in der Nähe des Bauches der Schwangeren gespielt werden, unterscheiden (Granier-Deferre et al. 2011).
- Neugeborene schreien in ihrer Umgebungssprache: französische Babies schreien in einer „Melodie“ mit ansteigender Tonhöhe, deutsche Babys senken zum Ende den Ton ab (Mampe et al., 2009)
- Wenige Tage alte Säuglinge können verschiedene Sprachen (Mehler et al., 1988) und verschiedene Sprachlaute (Cheour-Luhtanen et al., 1995) unterscheiden.

Im **Alter von ca. 5-6 Jahren** hohe Kompetenz im Sprachverstehen und in der gesprochenen Sprache.

Scheinbar **müheloser Erwerb der Sprache** in der Kindheit.

Test zur
Hörpräferenz von
Neugeborenen

Abb. 2.17 aus Siegler et al.
(Hrsg.) (2021).
Entwicklungspsychologie
im Kindes- und Jugendalter.

SENSIBLE PHASEN IN DER SPRACHENTWICKLUNG

Reifung sprachrelevanter Systeme in drei funktionellen Netzwerken bei Säuglingen, 7-Jährigen und Erwachsenen

Abb. Kasten 3-1 aus Nationale Akademie der Wissenschaften - Leopoldina (2014).
Frühkindliche Sozialisation.

Typischen Entwicklungssequenzen, gesteuert durch **Reifungsprozesse** im Gehirn, der Sinnessysteme und Motorik
Erfahrungserwartende Plastizität: **sprachlicher Input und sprachliche Interaktionen in sensiblen Phasen** der Entwicklung
essenziell

Wie und wie viel in der Familie gesprochen wird, beeinflusst Qualität und Quantität der kindlichen Sprachentwicklung
(Hoff, 2006, Huttenlocher et al., 2010, Weisleder et al., 2013).

SENSIBLE PHASEN IN DER SPRACHENTWICKLUNG

- *Perceptual Narrowing*: Säuglinge können zunächst zwischen Lauten aller Sprachen unterscheiden. Die Fähigkeit nimmt ab ca. dem 6 Lebensmonat ab, während gleichzeitig die phonetische Verarbeitung in der/den Erstsprachen besser wird (Werker et al., 1981; Werker & Tees, 1984).
- EEG-Studien: Neuronale Antwort zeigt Diskriminationsfähigkeit für erstsprachliche und nicht-erstsprachliche Laute bis zum 7. Lebensmonat, aber nicht mehr bei 11 Monate alten Kindern (Rivera-Gaxiola et al., 2005; Zhao et al., 2022)
- Bei intensiver interaktiver Spracherfahrung mit einer oder mehreren weiteren Sprachen in der sensiblen Phase ist die Wahrnehmungsverengung reversibel (Kuhl et al., 2003)

MEHRSPRACHIGKEIT UND ZWEITSPRACHERWERB

- Mehrere Erstsprachen: Kinder, die vor dem sechsten Lebensjahr mit **mehreren Sprachen** aufwachsen, können in allen Sprachen **erstsprachliche Kompetenz** erlangen, sofern eine hinreichend umfangreiche **Kommunikation auf Erstsprachniveau** gegeben ist (Nationale Akademie der Wissenschaften – Leopoldina, 2014).
- Zweitspracherwerb:
 - abnehmende Sprachkompetenzen, je später die Sprache erworben wird
 - gilt besonders für Phonologie/Prosodie und Syntax, weniger für das Lernen von Wortbedeutungen (Semantik)

Sprachkompetenz (Semantik und Syntax) in Abhängigkeit vom Alter bei Erwerb einer Zweitsprache im Vergleich zu monolingual aufgewachsenen Personen

Abb. Kasten 3-2 aus Nationale Akademie der Wissenschaften - Leopoldina (2014). Frühkindliche Sozialisation

ZWISCHENZUSAMMENFASSUNG SENSIBLE PHASEN IN DER SPRACHENTWICKLUNG

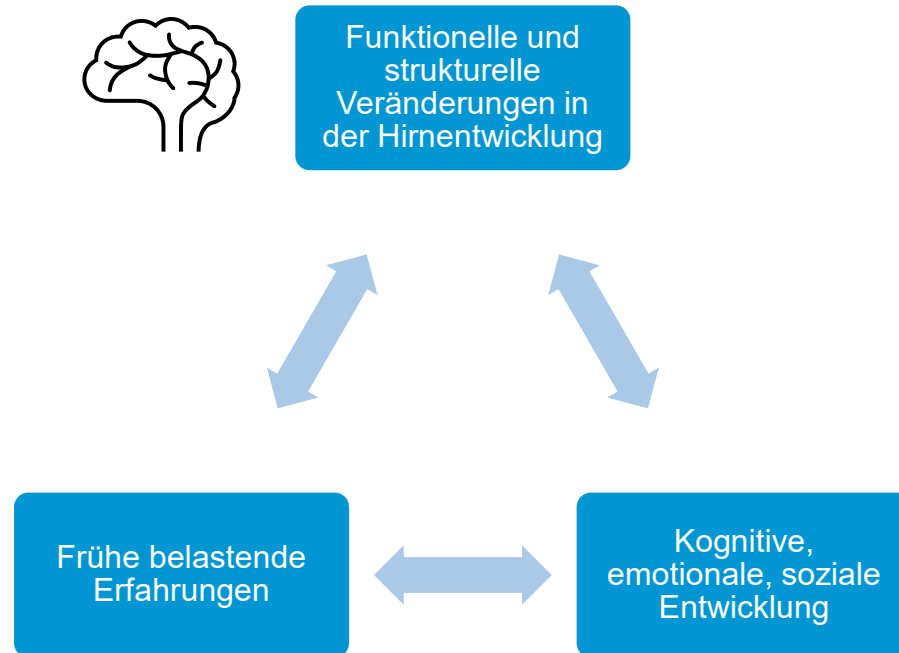
- Sprachentwicklung über einen **langen Zeitraum**: pränatal bis zur Pubertät
- Spracherwerb ist auf **frühen sprachlichen Input** und sprachliche Interaktion **angewiesen** (sensible und kritische Phasen)
- Erwachsene sprechen intuitiv mit Kindern und passen ihr Sprachniveau an die Sprachkompetenz des Kindes an (z.B. „Baby-Talk“, typische Dialogstrukturen mit Kleinkindern...)
- Zeitfenster für **sensible Phasen** differenziert betrachten:
 - Kritische Phase für den Erstspracherwerb: wird häufig mit 6. Lebensjahr angegeben; mehrere Sprachen können auf Erstsprachniveau erworben werden
 - Sensible Phase für Zweitspracherwerb: bis zur Pubertät
 - Weitere Differenzierung für Phonologie/Prosodie, Syntax, Pragmatik, Semantik

Zeitliche Darstellung sensibler Phasen der Sprachentwicklung

Abb. 2 (zweite Zeile) aus Nelson et al. (2025). Early adversity alters brain architecture and increases susceptibility to mental health disorders. *Nature Reviews Neuroscience*

26

EARLY ADVERSITY: FRÜHE BELASTENDE ERFAHRUNGEN



Konzeptuelles Model: von frühen Belastungen Erfahrungen zur Psychopathologie

Abb. 5 aus Nelson et al. (2025). Early adversity alters brain architecture and increases susceptibility to mental health disorders. *Nature Reviews Neuroscience*

ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

- In der kindlichen Entwicklung ist das menschliche Gehirn durch eine **hohe Plastizität** mit **zeitlich begrenzten sensiblen Phasen** gekennzeichnet.
- **Frühe Erfahrungen**, z.B. in sensorischen, sprachlichen und sozialen Domänen, formen die funktionelle Organisation des **Gehirns** nachhaltig.
- Atypische oder eingeschränkte Erfahrung in sensiblen Phasen kann **später schwerer oder nur begrenzt kompensiert** werden, auch wenn **Lernen prinzipiell lebenslang** möglich bleibt.
- **Zweiseitiges Schwert** erhöhter Plastizität in sensiblen Phasen: besondere Lern-/Anpassungsfähigkeit und Vulnerabilität
- Sensible Phasen sind **domänenspezifisch** mit unterschiedlicher zeitlicher Charakteristik.
- **Implikationen** für die Praxis:
 - Frühes Wahrnehmen von Risiken für die Entwicklung
 - Frühe Diagnostik möglicher (sensorischer) Beeinträchtigungen
 - Präventive Maßnahmen: Sensibilisierung der Eltern für Entwicklungsprozesse, Förderung der Eltern-Kind-Interaktion, qualitativ hochwertige Entwicklungsumwelten schaffen

➡ **Interdisziplinäre Aufgaben**

LITERATUR

- Amedi, A., Raz, N., Pianka, P., Malach, R., & Zohary, E. (2003). Early „visual“ cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind. *Nature Neuroscience*, 6(7), 758–766. <https://doi.org/10.1038/nn1072>
- Anzures, G., Wheeler, A., Quinn, P. C., Pascalis, O., Slater, A. M., Heron-Delaney, M., Tanaka, J. W., & Lee, K. (2012). Brief daily exposures to Asian females reverses perceptual narrowing for Asian faces in Caucasian infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 112(4), 484–495. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.04.005>
- Bedny, M. (2017). Evidence from Blindness for a Cognitively Pluripotent Cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(9), 637–648. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.06.003>
- Bedny, M., Richardson, H., & Saxe, R. (2015). „Visual“ Cortex Responds to Spoken Language in Blind Children. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 35(33), 11674–11681. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0634-15.2015>
- Carlson, N. R. (2004). *Physiologische Psychologie*. Pearson-Studium.
- Casey, B. J., Tottenham, N., Liston, C., & Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: What have we learned about cognitive development? *Trends in cognitive sciences*, 9(3), 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.01.011>
- Cheour-Luhtanen, M., Alho, K., Kujala, T., Sainio, K., Reinikainen, K., Renlund, M., Aaltonen, O., Eerola, O., & Näätänen, R. (1995). Mismatch negativity indicates vowel discrimination in newborns. *Hearing Research*, 82(1), 53–58. [https://doi.org/10.1016/0378-5955\(94\)00164-l](https://doi.org/10.1016/0378-5955(94)00164-l)
- de Heering, A., & Maurer, D. (2014). Face memory deficits in patients deprived of early visual input by bilateral congenital cataracts. *Developmental Psychobiology*, 56(1), 96–108. <https://doi.org/10.1002/dev.21094>
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent, T. F., Herman, D. H., Clasen, L. S., Toga, A. W., Rapoport, J. L., & Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(21), 8174–8179. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>

LITERATUR

Granier-Deferre, C., Ribeiro, A., Jacquet, A.-Y., & Bassereau, S. (2011). Near-term fetuses process temporal features of speech. *Developmental science*, 14(2), 336–352. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00978.x>

Grehn, F. (2019). *Augenheilkunde*. Springer.

Hölig, C., Guerreiro, M. J. S., Lingareddy, S., Kekunnaya, R., & Röder, B. (2023). Sight restoration in congenitally blind humans does not restore visual brain structure. *Cerebral Cortex*, 33(5), 2152–2161. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhac197>

Hötting, K., Rösler, F., & Röder, B. (2004). Altered auditory-tactile interactions in congenitally blind humans: An event-related potential study. *Experimental brain research*, 159(3), 370–381. <https://doi.org/10.1007/s00221-004-1965-3>

Hötting, K., Shareef, I., Rogge, A.-K., Hamacher, D., Zech, A., Kekunnaya, R., Christy, B., & Röder, B. (2024). Postural control depends on early visual experience. *Journal of vision*, 24(9), 3. <https://doi.org/10.1167/jov.24.9.3>

Kuefner, D., de Heering, A., Jacques, C., Palmero-Soler, E., & Rossion, B. (2010). Early Visually Evoked Electrophysiological Responses Over the Human Brain (P1, N170) Show Stable Patterns of Face-Sensitivity from 4 years to Adulthood. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3, 67. <https://doi.org/10.3389/neuro.09.067.2009>

Kuhl, P. K., Tsao, F.-M., & Liu, H.-M. (2003). Foreign-language experience in infancy: Effects of short-term exposure and social interaction on phonetic learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(15), 9096–9101. <https://doi.org/10.1073/pnas.1532872100>

Lagrèze, W. A. (2020). Behandlung der kongenitalen und frühkindlichen Katarakt. *Der Ophthalmologe*, 117(10), 1049–1060. <https://doi.org/10.1007/s00347-020-01232-0>

Macchi Cassia, V., Turati, C., & Simion, F. (2004). Can a Nonspecific Bias Toward Top-Heavy Patterns Explain Newborns' Face Preference? *Psychological Science*, 15(6), 379–383. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00688.x>

LITERATUR

- Mackes, N. K., Golm, D., Sarkar, S., Kumsta, R., Rutter, M., Fairchild, G., Mehta, M. A., Sonuga-Barke, E. J. S., & on behalf of the ERA Young Adult Follow-up team. (2020). Early childhood deprivation is associated with alterations in adult brain structure despite subsequent environmental enrichment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(1), 641–649. <https://doi.org/10.1073/pnas.1911264116>
- Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A., & Wermke, K. (2009). Newborns' Cry Melody Is Shaped by Their Native Language. *Current Biology*, 19(23), 1994–1997. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.09.064>
- Mehler, J., Jusczyk, P., Lambertz, G., Halsted, N., Bertoni, J., & Amiel-Tison, C. (1988). A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition*, 29(2), 143–178. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(88\)90035-2](https://doi.org/10.1016/0010-0277(88)90035-2)
- Nationale Akademie der Wissenschaften - Leopoldina. (2014). *Frühkindliche Sozialisation. Biologische, psychologische, linguistische, soziologische und ökonomische Perspektiven*. Halle (Saale): Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
- Nelson, C. A., Sullivan, E. F., & Valdes, V. (2025). Early adversity alters brain architecture and increases susceptibility to mental health disorders. *Nature Reviews Neuroscience*, 26(10), 642–656. <https://doi.org/10.1038/s41583-025-00948-9>
- Pascalis, O., de Haan, M., & Nelson, C. A. (2002). Is Face Processing Species-Specific During the First Year of Life? *Science*, 296(5571), 1321–1323. <https://doi.org/10.1126/science.1070223>
- Pavani, F., & Röder, B. (2012). Cross-Modal Plasticity as a Consequence of Sensory Loss: Insights from Blindness and Deafness. In *The New Handbook of Multisensory Processing* (S. 737–759). MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8466.003.0065> (Ursprünglich erschienen Barry E. Stein)
- Pinel, John P. J., Barnes, Steven, J., & Pauli, Paul (2018). *Biopsychologie*. Pearson-Verlag.

LITERATUR

- Putzar, L., Hötting, K., & Röder, B. (2010). Early visual deprivation affects the development of face recognition and of audio-visual speech perception. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 28(2), 251–257. <https://doi.org/10.3233/RNN-2010-0526>
- Putzar, L., Hötting, K., Rösler, F., & Röder, B. (2007). The development of visual feature binding processes after visual deprivation in early infancy. *Vision Research*, 47(20), 2616–2626. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.07.002>
- Reid, V. M., Dunn, K., Young, R. J., Amu, J., Donovan, T., & Reissland, N. (2017). The Human Fetus Preferentially Engages with Face-like Visual Stimuli. *Current Biology*, 27(12), 1825-1828.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.044>
- Rivera-Gaxiola, M., Silva-Pereyra, J., & Kuhl, P. K. (2005). Brain potentials to native and non-native speech contrasts in 7- and 11-month-old American infants. *Developmental Science*, 8(2), 162–172. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00403.x>
- Röder, B., & Kekunnaya, R. (2021). Visual experience dependent plasticity in humans. *Current Opinion in Neurobiology, Neurobiology of Learning and Plasticity*, 67, 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2020.11.011>
- Röder, B., Kekunnaya, R., & Guerreiro, M. J. S. (2021). Neural mechanisms of visual sensitive periods in humans. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 120, 86–99. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.10.030>
- Röder, B., Ley, P., Shenoy, B. H., Kekunnaya, R., & Bottari, D. (2013). Sensitive periods for the functional specialization of the neural system for human face processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(42), 16760–16765. <https://doi.org/10.1073/pnas.1309963110>
- Rosenzweig, M. R., Breedlove, S. M. & Leiman, A. L.(2002). *Biological Psychology*. Sinauer Ass.
- Rossion, B., & Michel, C. (2018). Normative accuracy and response time data for the computerized Benton Facial Recognition Test (BFRT-c). *Behavior Research Methods*, 50(6), 2442–2460. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1023-x>

- Siegler, Robert, Saffran, Jenny R., Gershoff, Elizabeth T., Eisenberg, Nancy, Pauen, Sabina (Hrsg.) (2021). *Entwicklungspsychologie im Kindes- und Jugendalter*. Springer-Verlag.
- Stech, M., Grundel, B., Daniel, M., Böhringer, D., Joachimsen, L., Gross, N., Wolf, C., Link, H., Gilles, U., & Lagrèze, W. A. (2019). Risk of aphakic glaucoma after pars plana-lensectomy with and without removal of the peripheral lens capsule. *Eye*, 33(9), 1472–1477. <https://doi.org/10.1038/s41433-019-0435-x>
- Werker, J. F., Gilbert, J. H. V., Humphrey, K., & Tees, R. C. (1981). Developmental Aspects of Cross-Language Speech Perception. *Child Development*, 52(1), 349–355. <https://doi.org/10.2307/1129249>
- Werker, J. F., & Tees, R. C. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development*, 7(1), 49–63. [https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(84\)80022-3](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(84)80022-3)
- Wu, X., Long, E., Lin, H., & Liu, Y. (2016). Prevalence and epidemiological characteristics of congenital cataract: A systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 6(1), 28564. <https://doi.org/10.1038/srep28564>
- Zhao, T. C., Llanos, F., Chandrasekaran, B., & Kuhl, P. K. (2022). Language experience during the sensitive period narrows infants' sensory encoding of lexical tones—Music intervention reverses it. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.941853>