Wie Musizieren das Hören formt – und was das mit Legasthenie zu tun hat
Ergebnisse der zwölfjährigen neurowissenschaftlichen AMseL-Langzeitstudie



Univ.-Prof. Dr. Annemarie Seither-Preisler[1,2]
PD Dr. Peter Schneider[1,3]

[1] Arbeitsbereich Musikpsychologie und Gehirnforschung, Institut für Psychologie, Karl Franzens Universität Graz
musikpsychologie.uni-graz.at

[2] BioTechMed Graz

[3] Universitätsklinikum Heidelberg, Abteilung Neuroradiologie und Neurologie, Sektion Biomagnetismus

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

AMseL-Team und

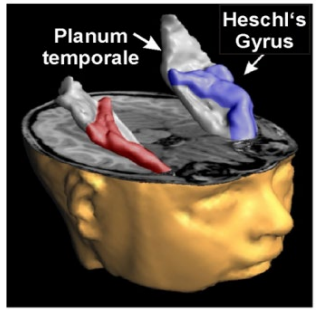
Kooperationspartner:innen

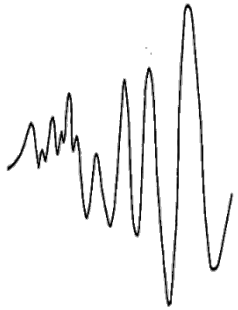


AMseL: Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens

- Internationale Langzeitstudie der Universitäten Heidelberg und Graz (2009–2021) zu den Effekten musikalischen Trainings auf Gehirn und Verhalten
- Projekt als Teil der wissenschaftlichen Begleitforschung zum deutschen kulturellen Bildungsprogramm JeKi („Jedem Kind ein Instrument“), gefördert durch das deutsche BMBF und später DFG.
- 220 Kinder wurden drei- bis fünfmal im Alter von 8 bis 18 Jahren untersucht
- Auditive Fähigkeiten (psychoakustische Testbatterie)
- Neuroanatomie des auditorischen Kortex (MRT)
- Aktivierung des auditorischen Kortex beim Hören musikalischer Klänge (MEG)
- Kognitive Fähigkeiten (Aufmerksamkeit, Differenzierung von Sprachlauten, Lesekompetenz)
- Fokus auf Entwicklungs- und Lernstörungen (ADHS, ADS, Legasthenie)











Stichprobe der longitudinalen AMseL-Analyse

n = 169; Alter 9–15 Jahre

Fokus des Vortrags: Kontrollen und LRS

Kontrollen | LRS

Nicht Musizierende (NON)

Gruppe	n	Geschlecht M/W	Alter MTP_1	Alter MTP_2	Alter MTP_3	I_MP MTP_1	I_MP MTP_2	I_MP MTP_3
Kontrollen	**29**	**16/13**	**8.96 ± 0.74**	**11.48 ± 0.99**	**14.62 ± 1.21**	**1.19 ± 1.36**	**2.28 ± 2.83**	**4.99 ± 6.07**
ADHS	17	16/1	9.09 ± 1.25	11.35 ± 1.97	14.41 ± 2.60	0.72 ± 0.87	2.43 ± 2.39	4.71 ± 4.67
ADS	21	17/4	9.23 ± 1.00	11.52 ± 1.40	14.33 ± 1.88	0.64 ± 0.87	1.61 ± 2.00	3.07 ± 3.17
LRS	**19**	**14/5**	**9.23 ± 1.55**	**11.85 ± 1.71**	**15.10 ± 1.52**	**0.77 ± 0.80**	**1.78 ± 1.94**	**3.68 ± 3.70**

Musizierende (MUS)

Gruppe	n	Geschlecht M/W	Alter MTP_1	Alter MTP_2	Alter MTP_3	I_MP MTP_1	I_MP MTP_2	I_MP MTP_3
Kontrollen	**30**	**13/17**	**9.20 ± 0.89**	**11.60 ± 1.28**	**14.47 ± 1.48**	**9.15 ± 5.33**	**17.25 ± 9.21**	**27.33 ± 17.29**
ADHS	17	13/4	9.48 ± 1.43	11.88 ± 1.58	14.82 ± 1.70	7.16 ± 5.82	13.84 ± 8.14	28.02 ± 17.44
ADS	18	11/7	9.50 ± 1.20	11.94 ± 1.76	14.83 ± 1.69	7.56 ± 4.70	14.69 ± 8.03	27.13 ± 14.32
LRS	**18**	**12/6**	**9.55 ± 1.11**	**12.11 ± 1.45**	**15.00 ± 1.24**	**8.63 ± 5.79**	**15.38 ± 8.94**	**25.98 ± 12.52**

LRS/Dyslexie in der AMseL-Studie: psychologische Diagnostik und Verlaufsmaße

Gruppenzuordnung und longitudinale Outcome-Maße werden getrennt dargestellt

Psychologische LRS-Diagnostik / Gruppenzuordnung

- **Einschluss:** IQ ≥ 80, normales Hörvermögen, keine relevante Komorbidität
- **Psychologische Lesediagnostik** nach Heidelberger LRS-Standards
- nur **eindeutige LRS/DYS-Fälle** eingeschlossen

Leseleistung im Längsschnitt (Outcome)



MTP1 (~9 J.)	MTP2 (~12 J.)	MTP3 (~15 J.)
SLS 1–4 (Mayringer & Wimmer, 2003)	**SLS 1–4 bis Kl. 4 ELFE 1–6 ab Kl. 5**	**ELFE 1–6 (Lenhard & Schneider, 2006)**
basale Leseflüssigkeit	alters-/klassenabhängig	Wort-, Satz- und Textlesen

Auswertung: altersnormierte Perzentilränge

Separater Outcome:

Rechtschreibleistung: HSP 1–10 (May, 2012)

Sprachlautdifferenzierung: H-LAD (Brunner et al., 2008)

Quellen: Serrallach et al. (2016) und aktuelle AMseL-Methods. Die longitudinalen Lese-Outcomes wurden alters-/klassenabhängig mit SLS 1–4 bzw. ELFE 1–6 erhoben.

Vom Dekodieren zur automatisierten Worterkennung

Aktuelles Verständnis des Schriftspracherwerbs: überlappende Prozesse statt starrer Stufen

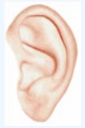
zunehmende Leseerfahrung →

1 Frühe Schrift- und Worterfahrungen

- Buchstaben- und Wortformen werden vertraut
- Visuelle Hinweise helfen bei bekannten Wörtern
- Keine klar abgegrenzte „logographische“ Stufe

2 Alphabetisches Dekodieren

- Sprachlautdifferenzierung (H-LAD)
- Graphem–Phonem-Zuordnung
- Lautierendes Dekodieren neuer Wörter



3 Orthographisches Lernen

Wiederholtes Dekodieren verknüpft:

Schreibweise – Aussprache – Bedeutung

→ Aufbau wortspezifischer orthographischer Repräsentationen

4 Konsolidierte Worterkennung

- Zunehmend schnelle, automatische Worterkennung
- Nutzung größerer Einheiten:
  Silben, Morpheme, häufige Muster und ganze Wörter

Wichtig: Die Prozesse überlappen sich. Lesen entwickelt sich nicht in strikt getrennten Stufen. Mit wachsender Leseerfahrung gewinnen **orthographisches und morphologisches Wissen** sowie automatische Worterkennung an Gewicht.

Für LRS besonders relevant: Effiziente Sprachlautdifferenzierung und Dekodierung unterstützen das orthographische Lernen.

Historischer Ausgangspunkt: Frith (1985). Aktueller Rahmen: Conrad & Deacon (2023); Li & Wang (2023); Deacon et al. (2024).

Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS)

AVWS im Kindesalter: **etwa 0,5–1 %** (Schönweiler et al., 2020).

Auditive Verarbeitungsauffälligkeiten treten **gehäuft bei LRS und ADHS** auf.
Prävalenzangaben variieren je nach diagnostischen Kriterien und Verfahren (Alanazi, 2023; Breadmore et al., 2024).

Schnelle auditive Verarbeitung

Diskrimination sprachlicher Laute, z.B. b–p, d–t, g–k



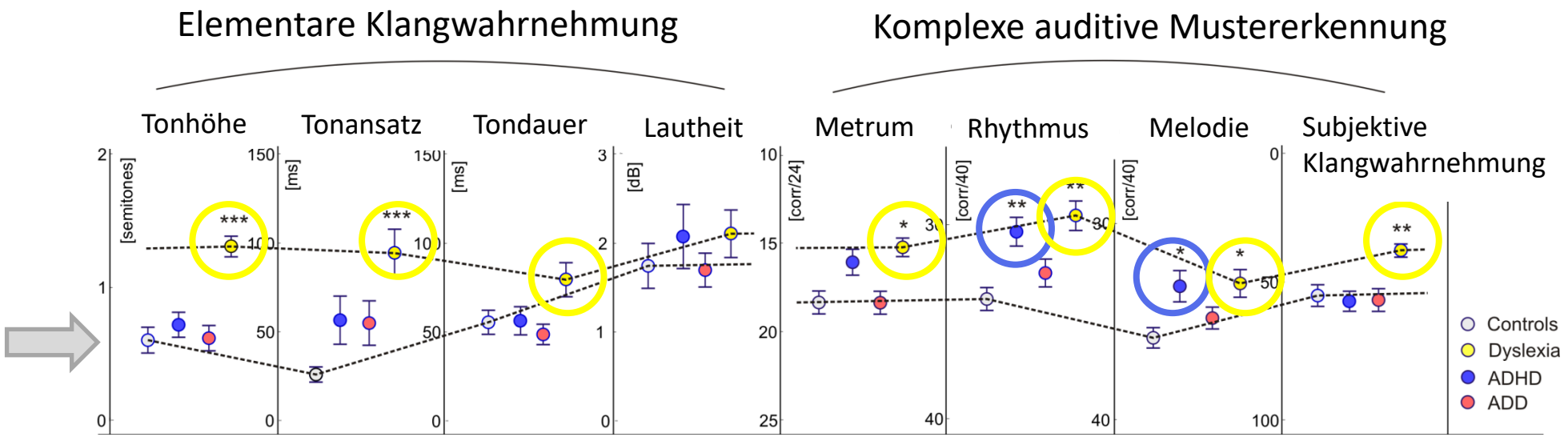
Auditive Aufmerksamkeit

Auditives Arbeitsgedächtnis

Auditive Verarbeitungsauffälligkeiten können **bereits im Kindesalter** auftreten und **überlappen häufig** mit Sprach-, Aufmerksamkeits- und Leseproblemen.

Schönweiler et al., 2020; Alanazi, 2023; Breadmore et al., 2024

Hörwahrnehmung bei typisch entwickelten Kindern und Kindern mit Lern- und Entwicklungsauffälligkeiten



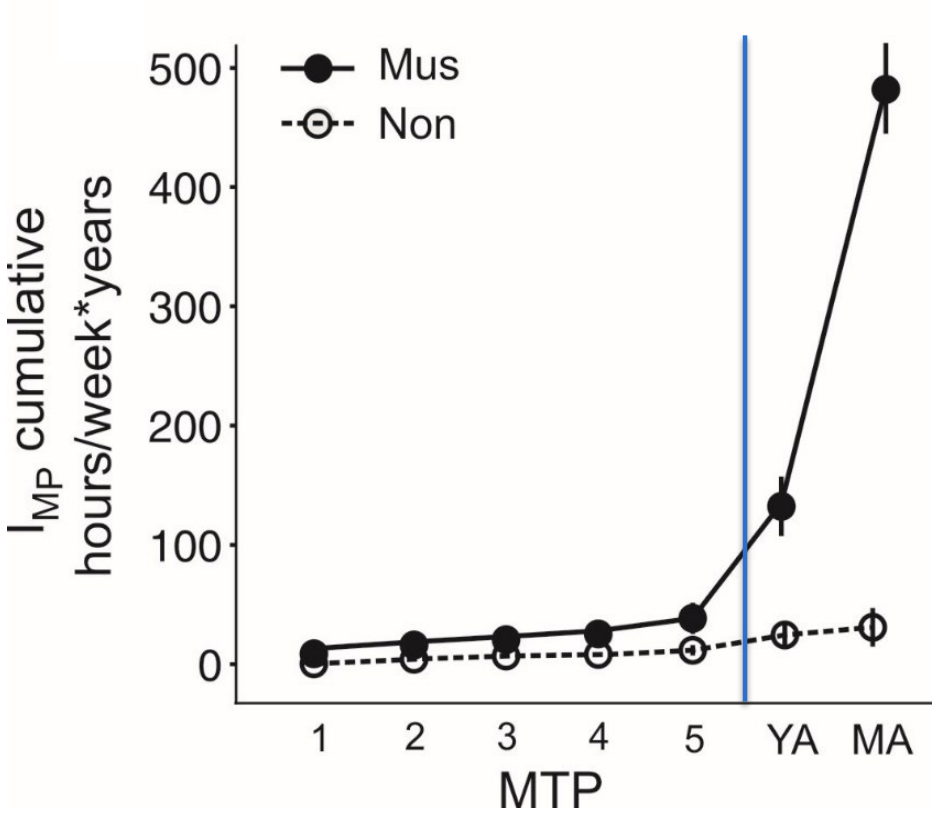
- Unauffällige Kontrollgruppe
- ADHS
- ADS
- LRS

*** $p \leq .001$
** $p \leq .01$
* $p \leq .05$



Serrallach, B., Groß, C., ... Schneider, P. & Seither-Preisler, A. (2016). Neural biomarkers for dyslexia, ADHD, and ADD in the auditory cortex of children. *Frontiers in Neuroscience*, *10*, 324.

Entwicklung des Index musikalischer Praxis (I_{MP})



$$I_{MP} = \sum_p y_p h_p + \sum_j y_j h_j \,,$$

YA und MA:

Querschnittsdaten aus unseren früheren Studien (Bücher et al., 2023) mit folgenden Stichproben:

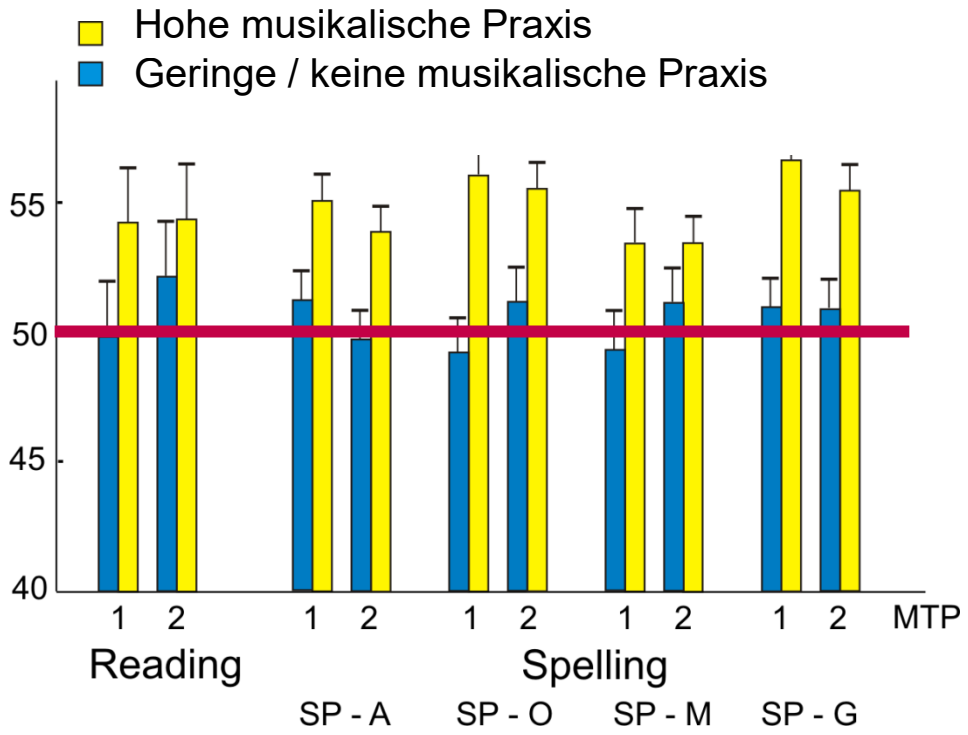
- **43 junge Erwachsene** (19–29 Jahre; 19 Musizierende, 24 Nichtmusizierende)
- **42 Erwachsene mittleren Alters** (30–67 Jahre; 23 Musizierende, 19 Nichtmusizierende)

- Im Vergleich zu jungen Erwachsenen (YA) und mittelalten (MA) Musizierenden verfügten die musikalisch aktiven Teilnehmenden unserer Studie – Kinder und Jugendliche – über vergleichsweise wenig musikalische Erfahrung.

Lese-Rechtschreibkompetenz der Kontrollgruppe im Alter von ~ 9 Jahren (1) und ~ 10 Jahren (2)



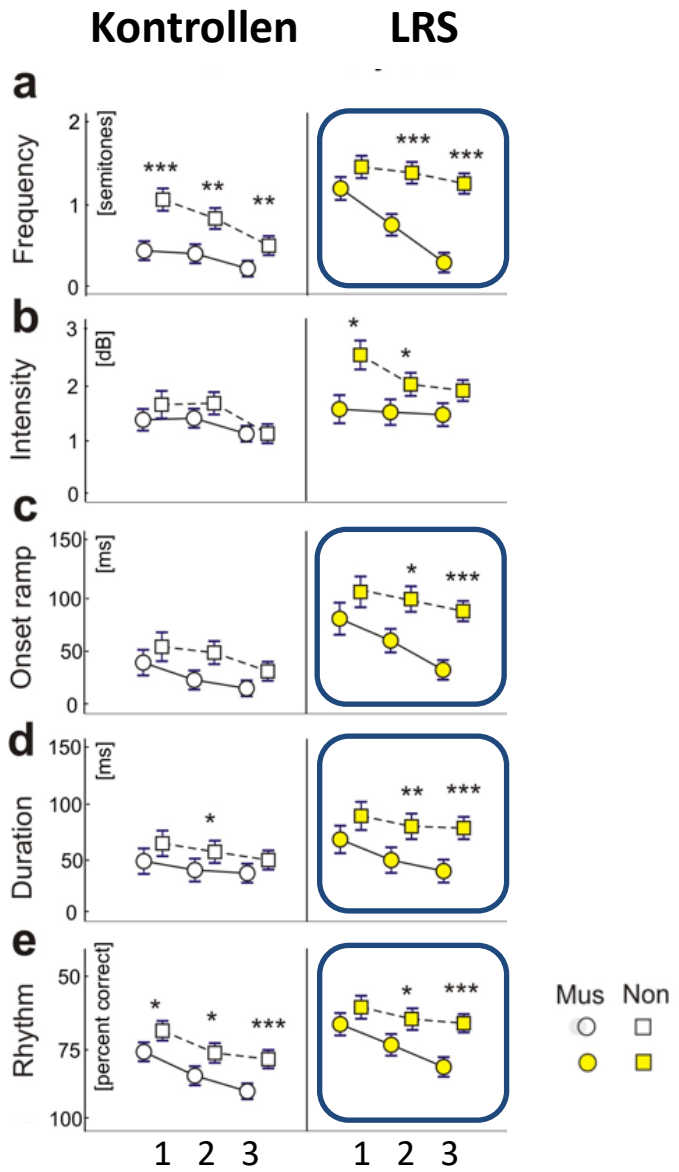
Altersnorm





Seither-Preisler A., Parncutt R. & Schneider, P. *J. Neurosci.* 34(33), 10937-10949 (2014)

Musikalische Erfahrung und Hörwahrnehmung: Kontrollen vs. LRS im Entwicklungsverlauf



- Legastheniker:innen schneiden im Vergleich zur unauffälligen Kontrollgruppe signifikant schlechter ab beim Unterscheiden von



  - Frequenzen (tief - hoch); $p = 1.3 \times 10^{-6}$
  - Intensitäten (leise – laut); p = p = .011
  - Tonansansätzen (weich – hart); $p = 7.2 \times 10^{-5}$
  - Tondauern (kurz – lang); p = .018
  - Rhythmen; $p = 5.4 \times 10^{-5}$

- Langzeitverlauf über Messzeitpunkte:
  - (1) ~ 9 Jahre, (2) ~12 Jahre, (3) 15 Jahre
  - Musizierende Teilnehmende mit LRS zeigen in allen fünf Bereichen an einzelnen Messzeitpunkten bessere Leistungen als Nicht-Musizierende.
  - In den meisten Bereichen vergrößert sich der Unterschied zwischen musizierenden und nicht musizierenden Teilnehmenden mit LRS im Entwicklungsverlauf erheblich.

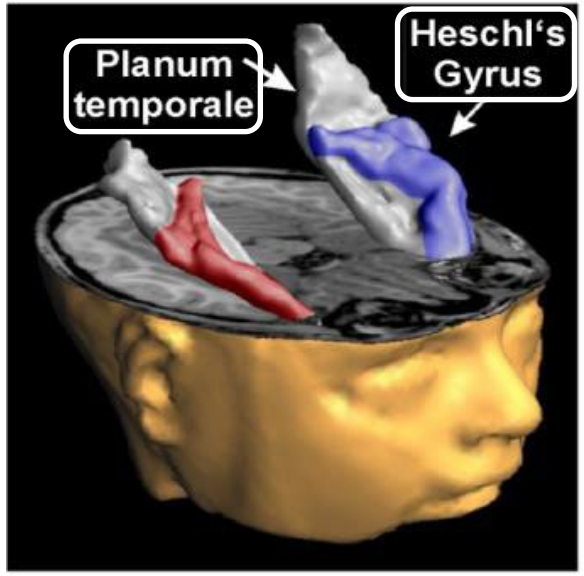
Kernspintomographie (MRT)

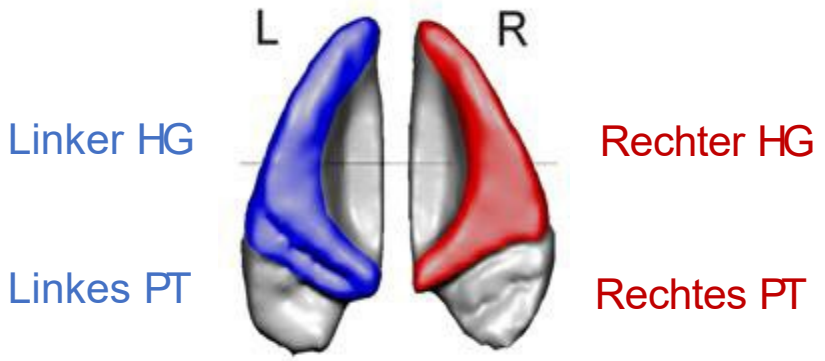
Siemens TrioTim 3 Tesla (Dietmar Hopp Stiftung)



Menschlicher Hörkortex

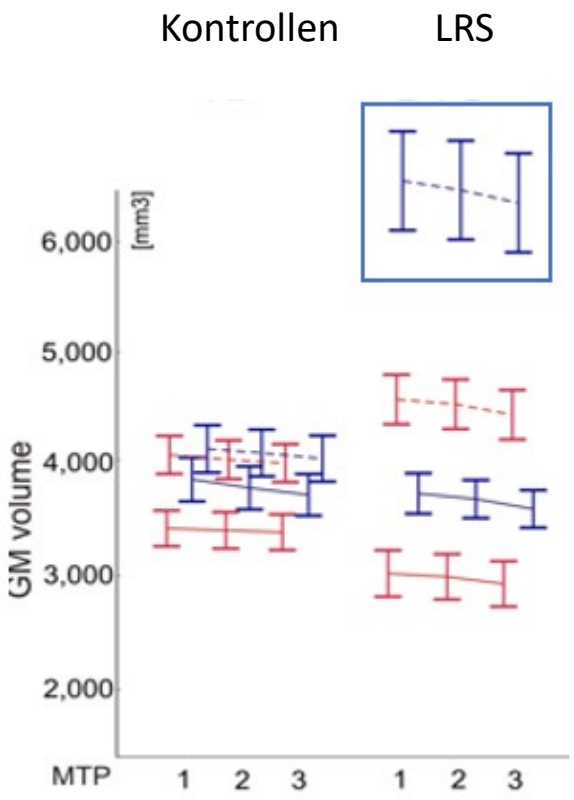
- Der Hörkortex liegt im Temporallappen des Großhirns.
  - Primäre Kernareale auf dem Heschl-Gyrus (HG) zur elementaren Schallverarbeitung
  - Sekundäre Areale einschließlich Planum temporale (PT) zur Verarbeitung komplexerer auditorischer Muster (Schneider et al., 2005; Benner et al., 2023).



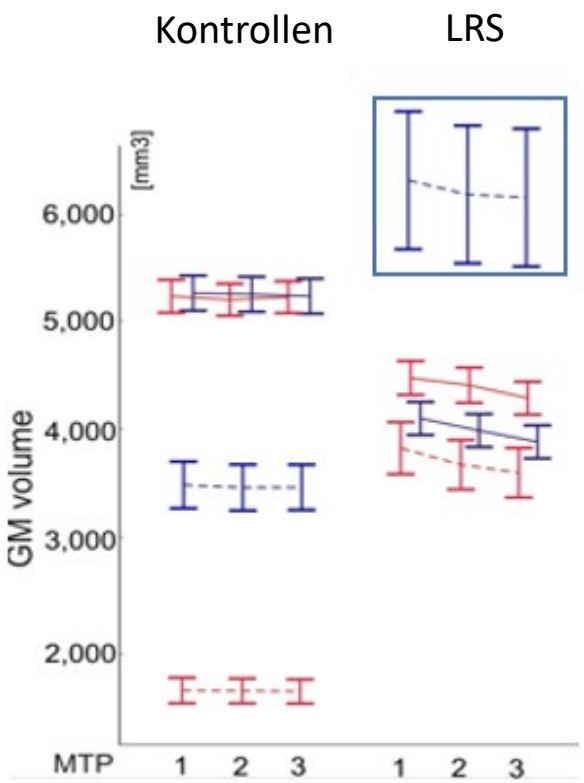


Neuroanatomische Besonderheiten bei LRS

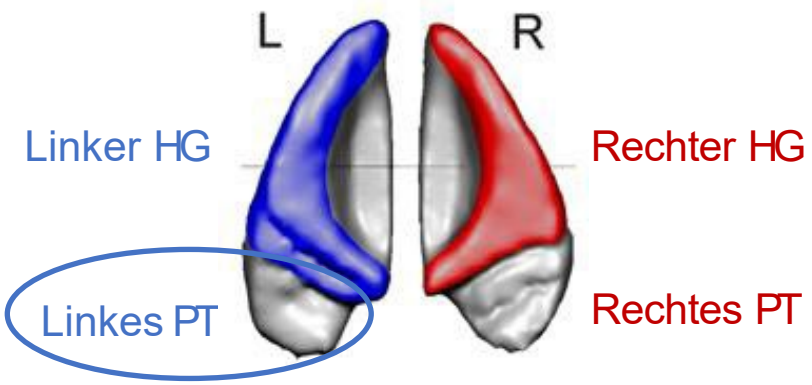
Nicht musizierende



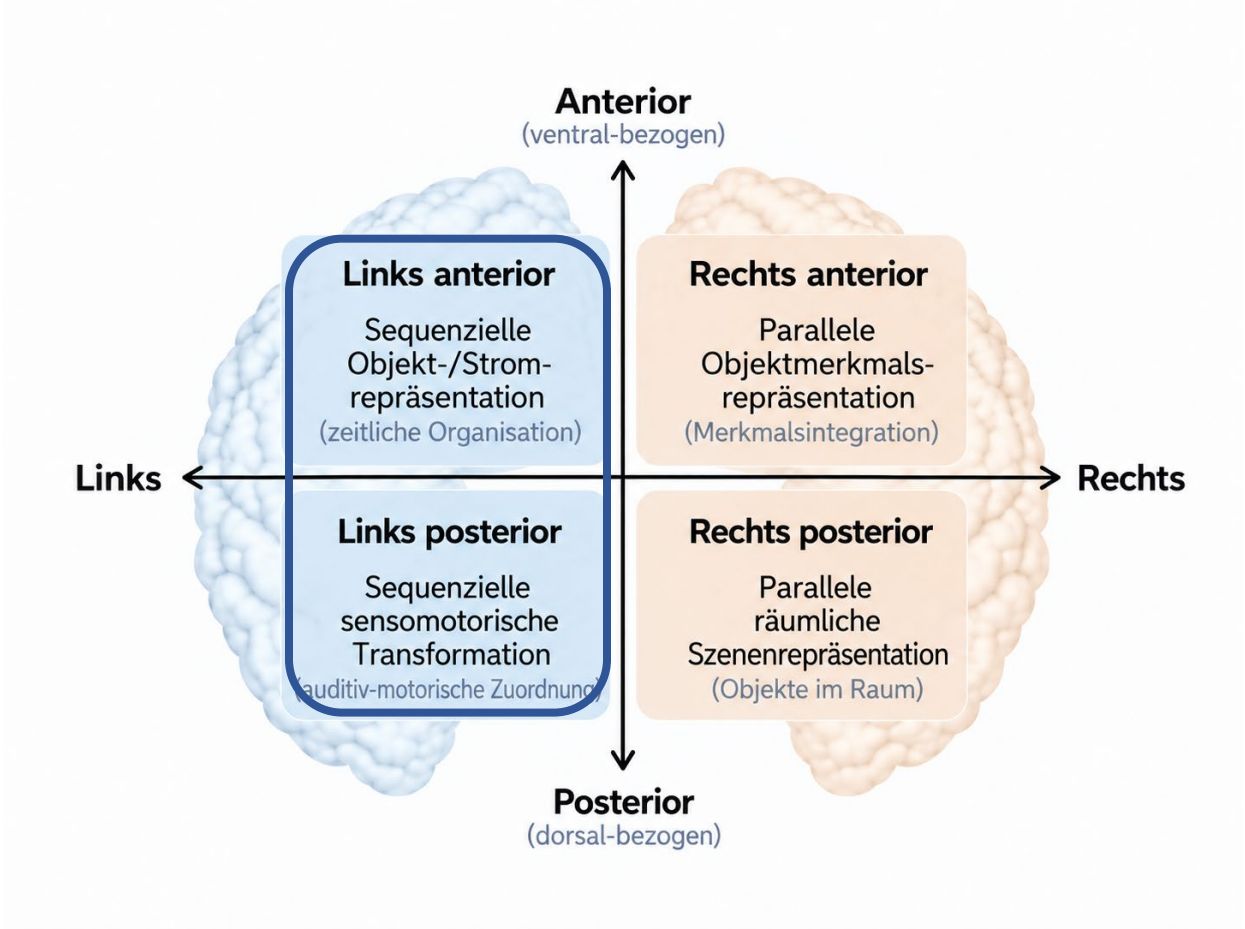
Musizierende



- Bei LRS ist das Volumen der grauen Substanz im linken Planum temporale (PT) gegenüber Kontrollen deutlich erhöht.
- Dieser Unterschied ist bereits bei MTP_1 vorhanden und bleibt über MTP_1–MTP_3 stabil.



Auditive Funktionen des linken und rechten Planum temporale



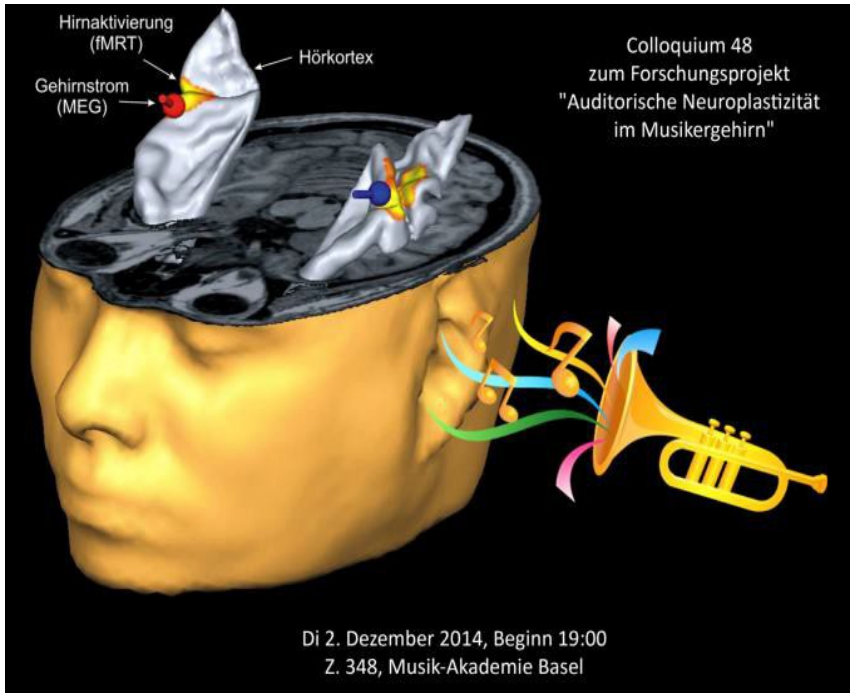
Linkes PT: zentrale sensorisch-motorische Schnittstelle der Sprachverarbeitung *(Hickok et al., 2009)*

Neurologische Messungen, um die Wirkung des musikalischen Lernens zu erfassen:

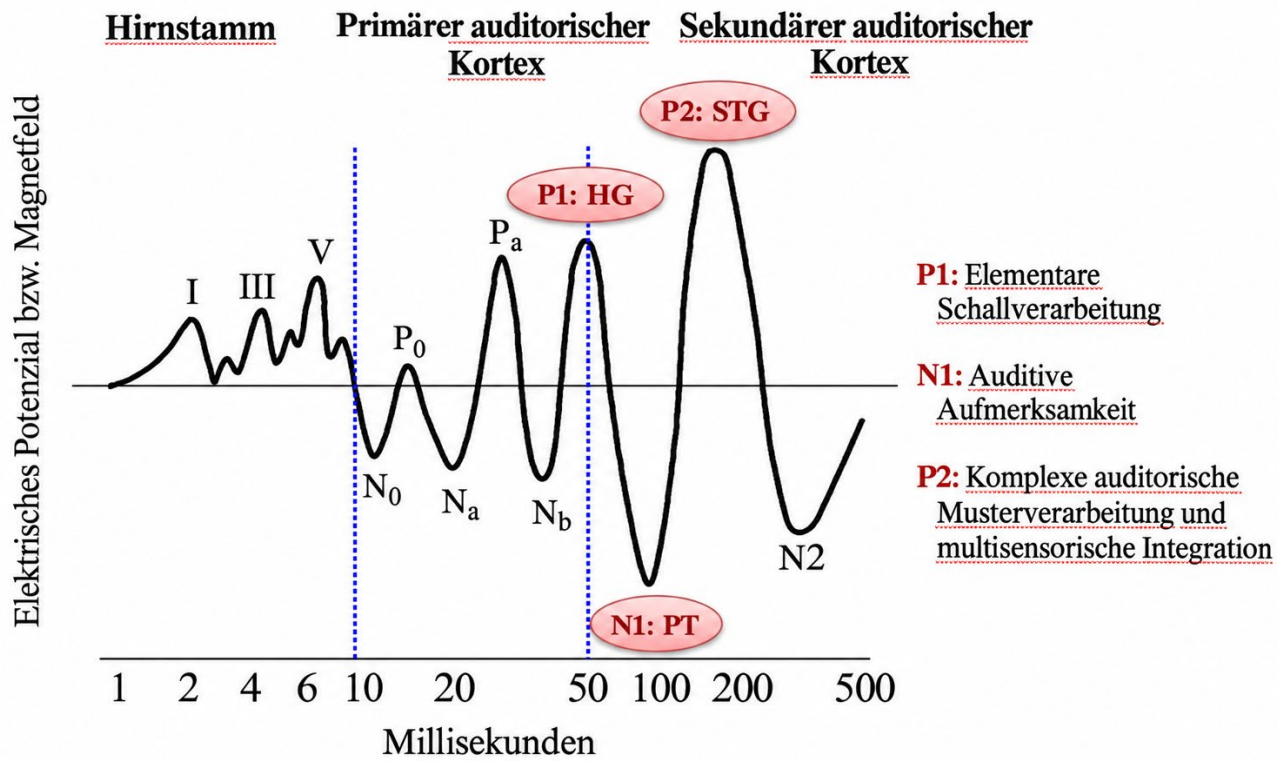
Magnetencephalographie (MEG)



Positionierung einer Hörerin unter den MEG-Helm (122 SQUIDs)



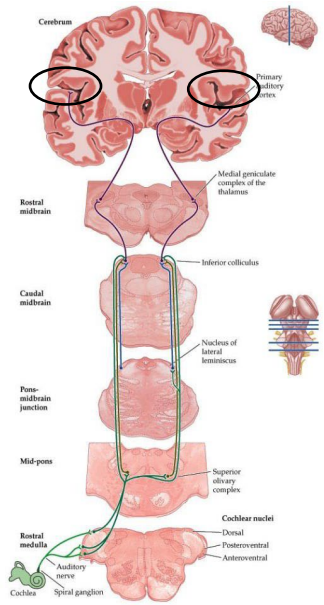
Auditorisch evozierte Antworten



P1: Elementare Schallverarbeitung

N1: Auditive Aufmerksamkeit

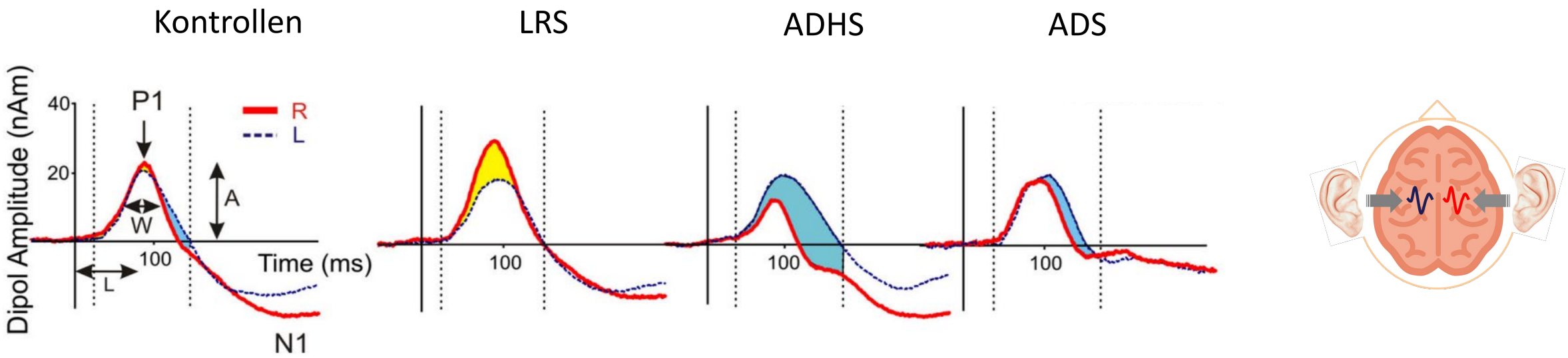
P2: Komplexe auditorische Musterverarbeitung und multisensorische Integration



***Principles of Cognitive Neuroscience*, Figure 6.2**

© 2008 Sinauer Associates, Inc.

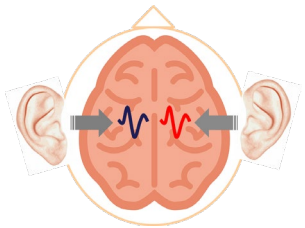
Unterschiedliche bilaterale P1-Muster bei LRS, ADHS und ADS

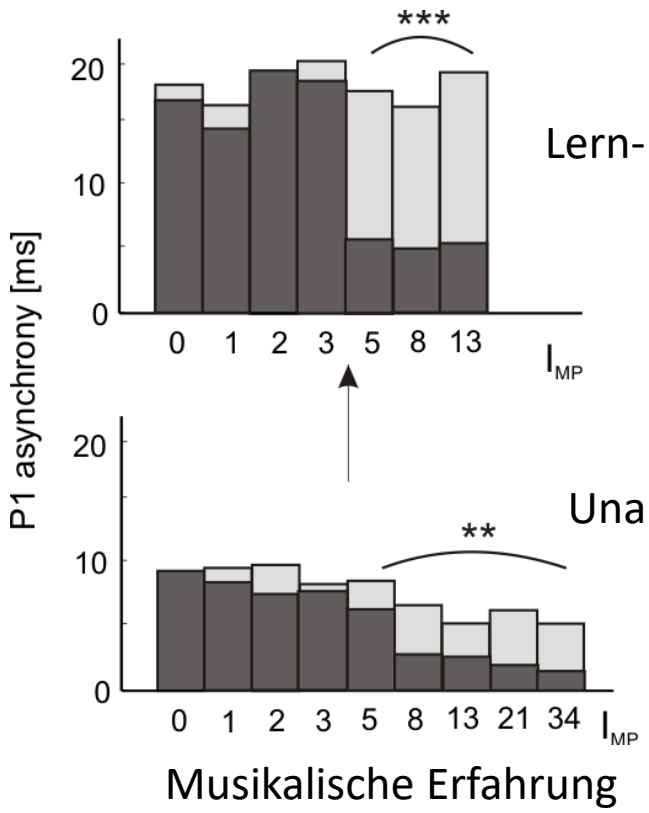


- P1-Asynchronie ist mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits subkortikal vermittelt
- Bilaterale P1-Asynchronie geht einher mit geringerer Sprachlautdifferenzierung und stärkerer AD(H)S-Symptomatik

Serrallach, B., Groß, C., ... Schneider, P. & Seither-Preisler, A. (2016). Neural biomarkers for dyslexia, ADHD, and ADD in the auditory cortex of children. *Frontiers in Neuroscience*, *10*, 324.

Bilaterale P1-Asynchronie in Abhängigkeit von musikalischer Praxis





Lern- und entwicklungsauffällige Kinder(LRS, ADHS, ADS gepoolt)

Unauffällige Kontrollgruppe

→ Deutlich stärkere bilaterale P1-Synchronisation ab einem kumulativen I_{MP} von etwa 5 – z. B. 1 h/Woche über 5 Jahre oder 5 h/Woche über 1 Jahr.

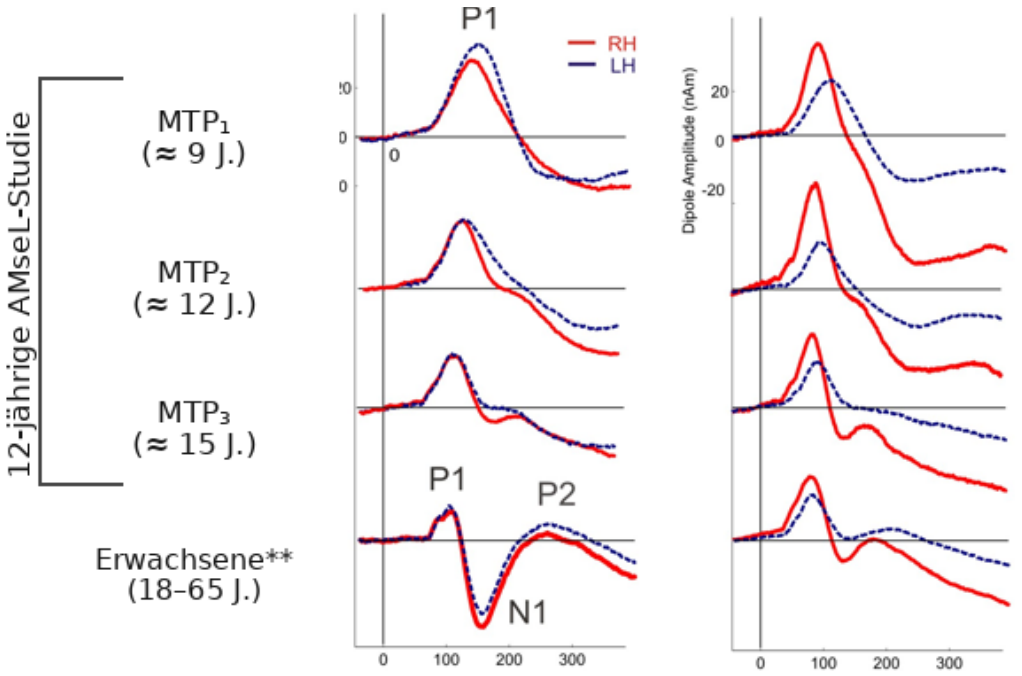
Serrallach, B., Groß, C., ... Schneider, P. & Seither-Preisler, A. (2016). Neural biomarkers for dyslexia, ADHD, and ADD in the auditory cortex of children. *Frontiers in Neuroscience*, *10*, 324.

Musikalische Erfahrung und neurofunktionelle Entwicklung: Kontrollgruppe vs. LRS

Nicht musizierende

Kontrollen

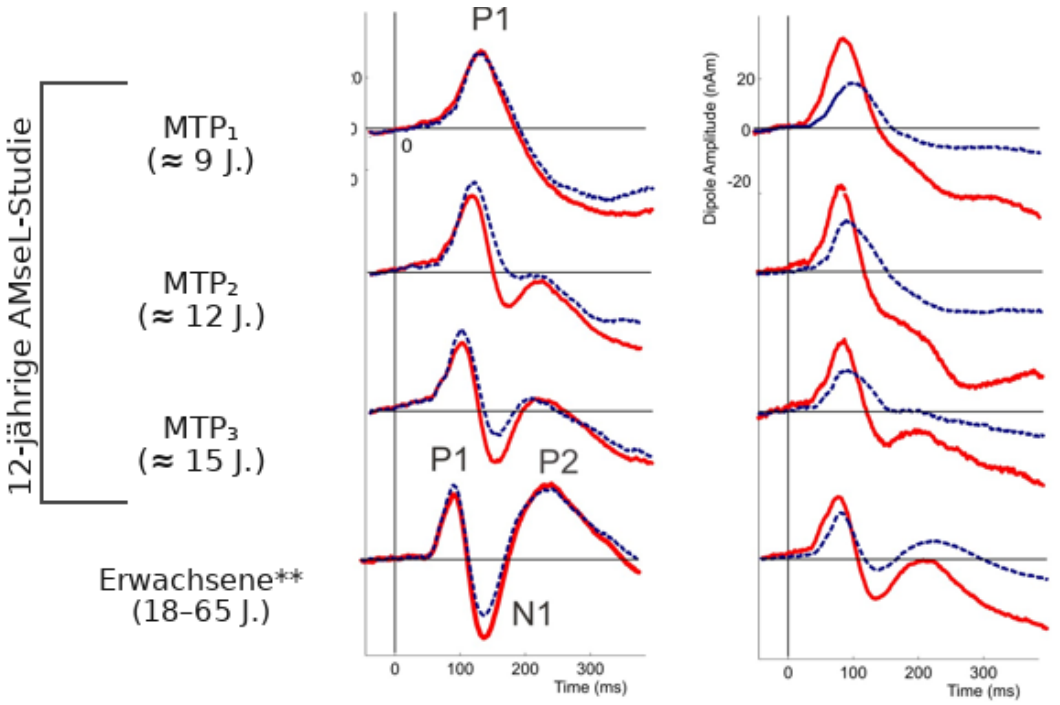
LRS



Musizierende

Kontrollen

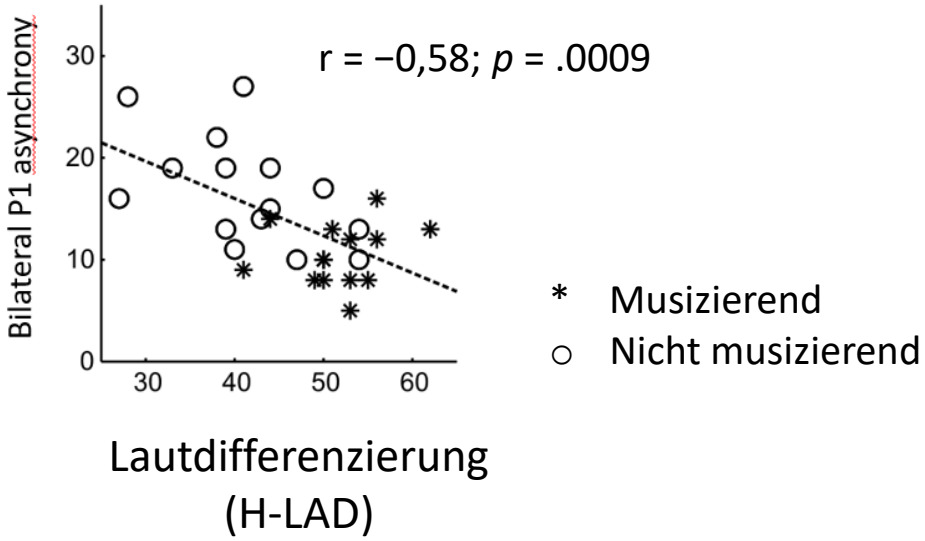
LRS

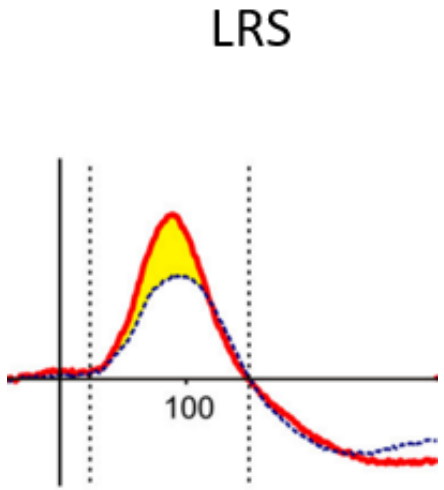


** Unabhängige querschnittliche Erwachsenenstichproben; qualitative Referenz, keine statistischen Vergleiche mit den longitudinalen Kohorten.

Bilaterale P1-Asynchronie und Sprachlautdifferenzierung :

H-LAD-Auswertung innerhalb der LRS-Gruppe

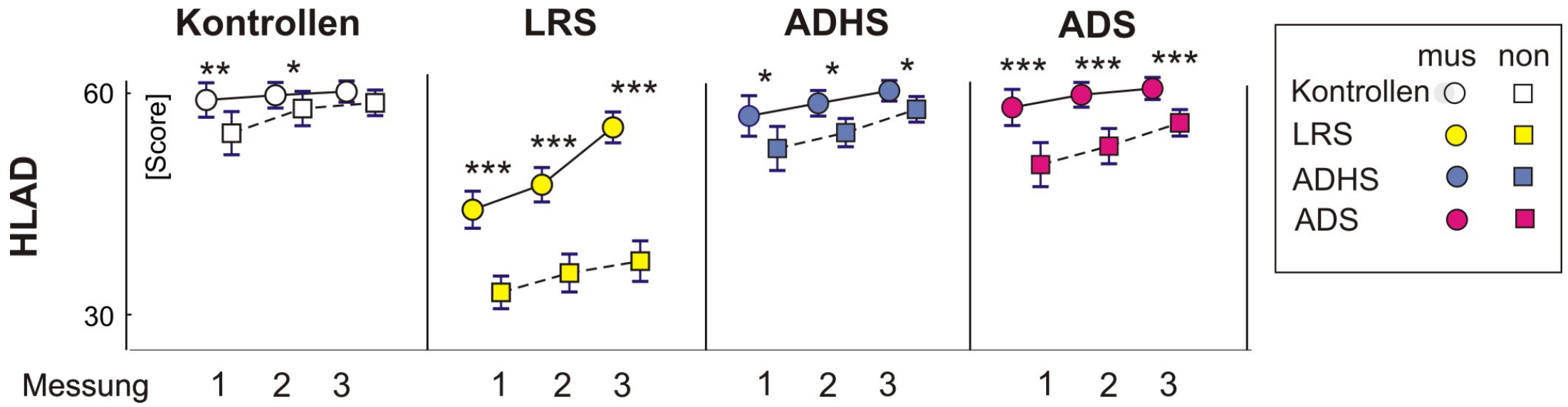




- Je geringer die bilaterale P1-Asynchronie, desto besser die Sprachlautdifferenzierung im H-LAD.
- Die bilaterale P1-Synchronisation nahm bei Musizierenden im Entwicklungsverlauf stärker zu: $F(1{,}9; 298{,}7) = 7{,}1$; $p = 0{,}001$; $\eta p^2 = 0{,}040$)

Serrallach, B., Groß, C., ... Schneider, P. & Seither-Preisler, A. (2016). Neural biomarkers for dyslexia, ADHD, and ADD in the auditory cortex of children. *Frontiers in Neuroscience*, *10*, 324.

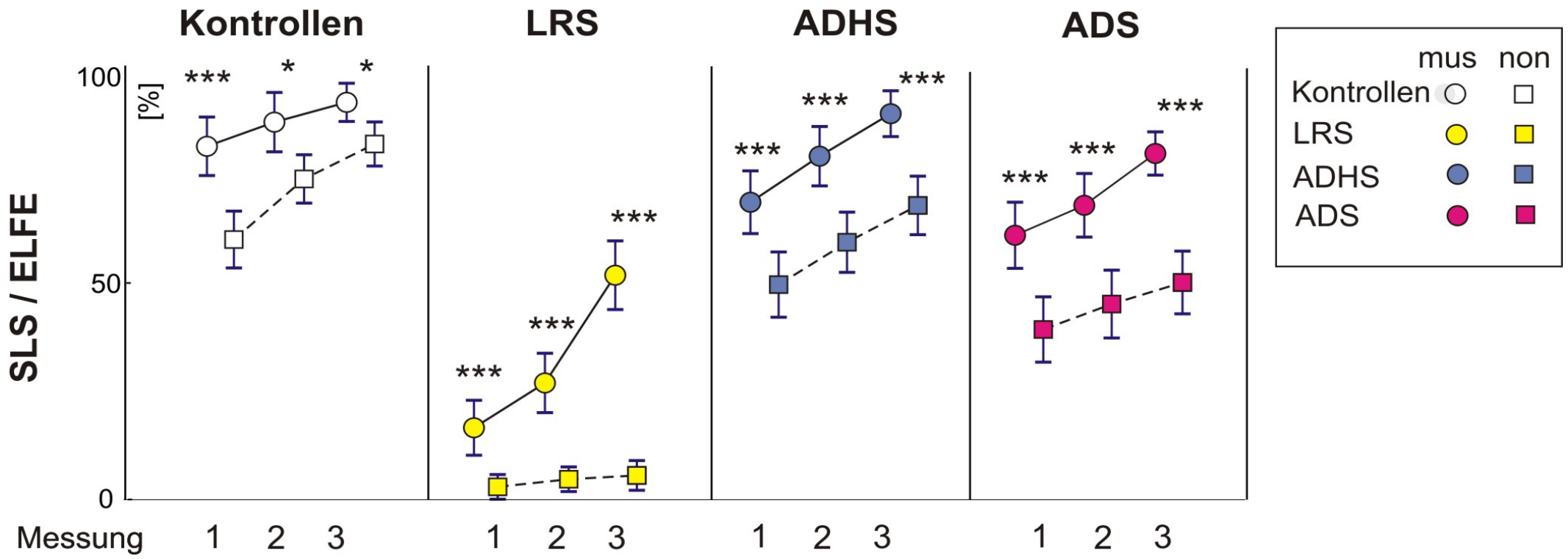
Entwicklung der Sprachlautdifferenzierung (H-LAD) von etwa 9 bis 15 Jahren



MTP_1 (~9 J.) – MTP_2 (~12 J.) – MTP_3 (~15 J.)

- Bei LRS zeigt sich die stärkste Entwicklungsdivergenz: Musizierende verbessern sich deutlich stärker als Nicht-Musizierende ($F(4{,}17;\ 223{,}63) = 25{,}04$; $p = 1{,}2 \times 10^{-17}$; $\eta p^2 = 0{,}318$)
- Musizierende erreichen praktisch das Niveau der unauffälligen Kontrollgruppe

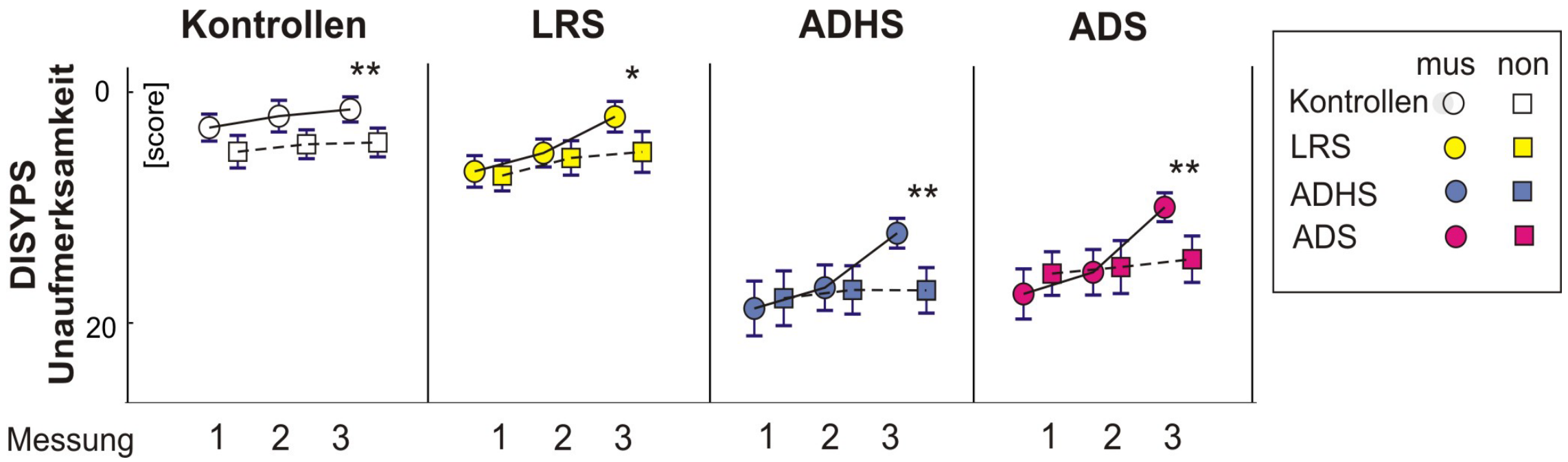
Entwicklung der Lesekompetenz (SLS/ELFE) von etwa 9 bis 15 Jahren



MTP_1 (~9 J.) – MTP_2 (~12 J.) – MTP_3 (~15 J.)

- Bei LRS zeigt sich die stärkste Entwicklungsdivergenz: Musizierende verbessern sich deutlich stärker als Nicht-Musizierende ($F(4{,}7; 252{,}7) = 12{,}5$; $p = 2{,}2 \times 10^{-10}$; $\eta p^2 = 0{,}190$)

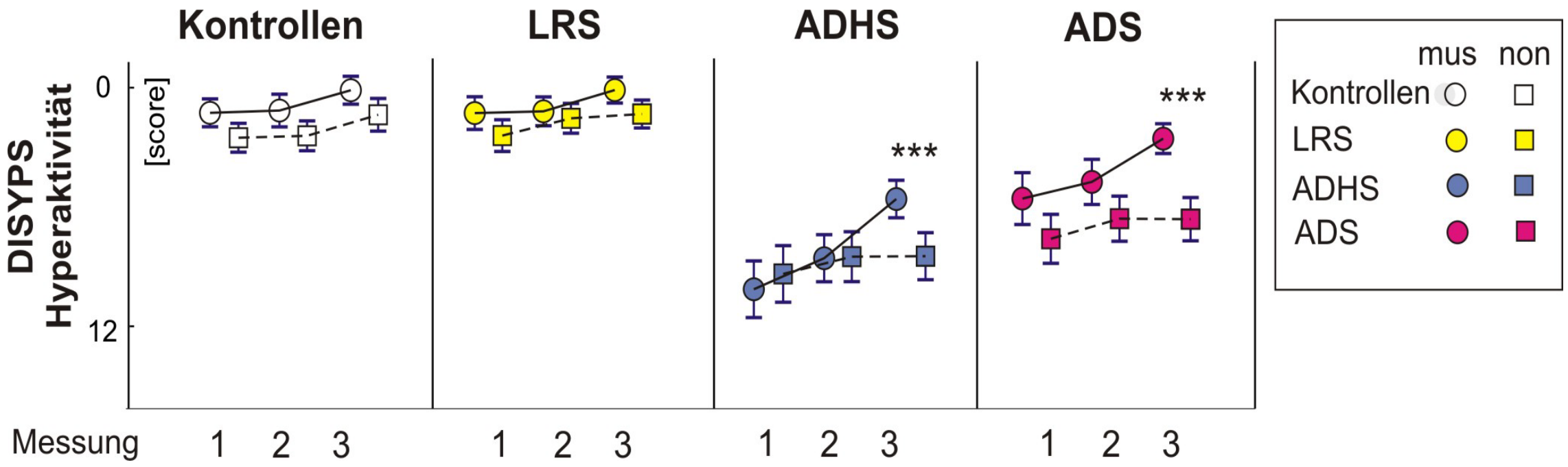
Entwicklung der Unaufmerksamkeit (DISYPS-HKS) von etwa 9 bis 15 Jahren



MTP_1 (~9 J.) – MTP_2 (~12 J.) – MTP_3 (~15 J.)

- Bei ADHS und ADS zeigt sich eine ausgeprägte Entwicklungsdivergenz: Bei Musizierenden nimmt die Unaufmerksamkeit stärker ab als bei Nicht-Musizierenden ($F(6; 322) = 6{,}6$; $p = 1{,}4 \times 10^{-6}$; $\eta p^2 = 0{,}110$)

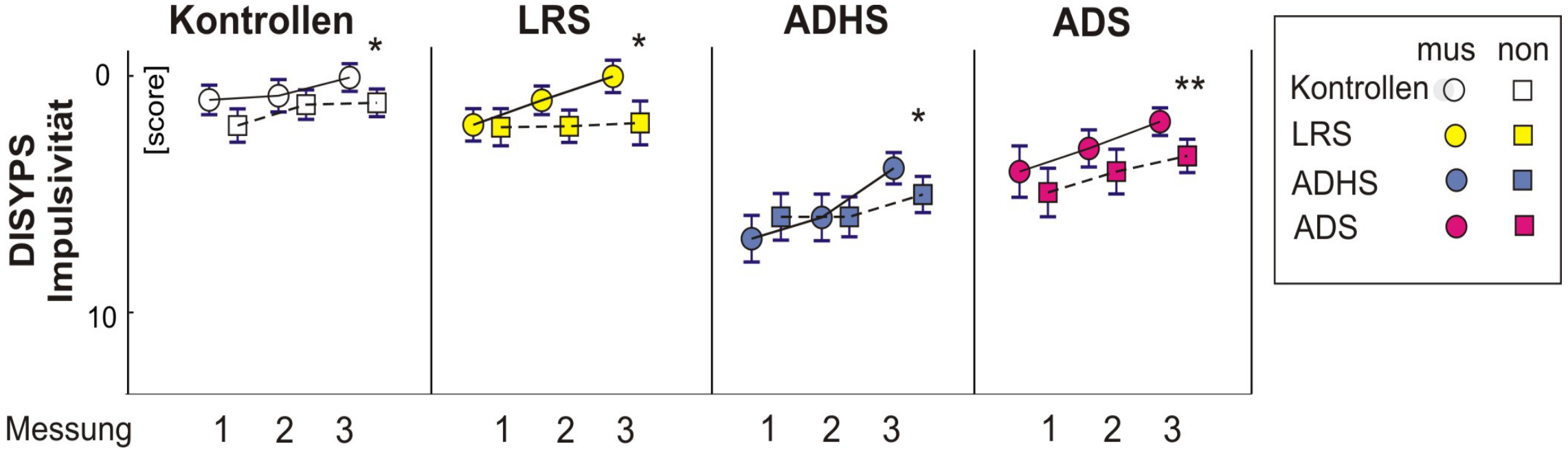
Entwicklung der Hyperaktivität (DISYPS-HKS) von etwa 9 bis 15 Jahren



MTP_1 (~9 J.) – MTP_2 (~12 J.) – MTP_3 (~15 J.)

- Bei ADHS und ADS zeigt sich eine ausgeprägte Entwicklungsdivergenz: Bei Musizierenden nimmt die Hyperaktivität stärker ab als bei Nicht-Musizierenden ($F(5{,}8; 310{,}3) = 6{,}3$; $p = 4{,}1 \times 10^{-6}$; $\eta p^2 = 0{,}120$)

Entwicklung der Impulsivität (DISYPS-HKS) von etwa 9 bis 15 Jahren



MTP_1 (~9 J.) – MTP_2 (~12 J.) – MTP_3 (~15 J.)

- Besonders bei ADHS und ADS zeigt sich eine Entwicklungsdivergenz: Bei Musizierenden nimmt die Impulsivität stärker ab als bei Nicht-Musizierenden ($F(5{,}7; 305{,}2) = 2{,}5$; $p = 0{,}024$; $\eta p^2 = 0{,}050$)

Fazit:

- LRS zeigt eine stabile neuroanatomische Signatur: ein vergrößertes linkes Planum temporale.
- Frühe Funktionsstörung: ausgeprägte bilaterale P1-Desynchronisation – wahrscheinlich bereits durch eine gestörte subkortikale/thalamokortikale zeitliche Koordination.
- Musikalische Praxis ist mit stärkerer funktioneller Plastizität verbunden: bessere P1-Synchronisation und günstigere Hörentwicklung.
- Mehr musikalische Praxis geht bei LRS mit besserer Sprachlautverarbeitung und Lesekompetenz einher.
- Mit etwa 15 Jahren nähern sich musizierende LRS-Teilnehmende beim Lesen dem Normbereich an; Nicht-Musizierende liegen im Mittel nur beim 6. Perzentil.
- Frühes Musizieren ist eine Investition in die Entwicklung und damit in die Zukunft junger Menschen.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen & Diskussion

musikpsychologie.uni-graz.at

Literatur (1/4)

Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. In K. E. Patterson, J. C. Marshall & M. Coltheart (Eds.), Surface dyslexia: Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading (pp. 301–330). Erlbaum.

Conrad, N. J. & Deacon, S. H. (2023). Print learning: A theoretical framework for the role of children's learning about the orthography in the development of reading skill. Reading Research Quarterly, 58(1), 113–125.

Li, Y. & Wang, M. (2023). A systematic review of orthographic learning via self-teaching. Educational Psychologist, 58(1), 35–56.

Deacon, S. H., Robertson, E. K., Ryken, A. & Levesque, K. (2024). The magic in magician: Contributions of phonological dimensions of morphological awareness to children's reading development. Journal of Research in Reading, 47(1), 45–62.

Schönweiler, R., Kiese-Himmel, C., Plotz, K., Nickisch, A. & am Zehnhoff-Dinnesen, A. (2020). Leitlinie „Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen“: Vorschlag für Behandlung und Management bei AVWS. HNO, 68(8), 598–612.

Alanazi, A. A. (2023). Understanding auditory processing disorder: A narrative review. Saudi Journal of Medicine & Medical Sciences, 11(4), 275–282.

Literatur (2/4)

Breadmore, H. L., Halliday, L. F. & Carroll, J. M. (2024). Variability in auditory processing performance is associated with reading difficulties rather than with history of otitis media. Dyslexia, 30(1), e1760.

Schneider, P. et al. (2005). Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. Nature Neuroscience, 8, 1241–1247.

Benner, J. et al. (2023). Temporal hierarchy of cortical responses reflects core-belt-parabelt organization of auditory cortex in musicians. Cerebral Cortex, 33(11), 7044–7060.

Hickok, G., Okada, K. & Serences, J. T. (2009). Area Spt in the human planum temporale supports sensory-motor integration for speech processing. Journal of Neurophysiology, 101(5), 2725–2732.

Sharma, A., Kraus, N., McGee, T. J. & Nicol, T. G. (1997). Developmental changes in P1 and N1 central auditory responses elicited by consonant-vowel syllables. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 104(6), 540–545.

Literatur (3/4)

Seither-Preisler, A., Parncutt, R. & Schneider, P. (2014). Size and synchronization of auditory cortex promotes musical, literacy, and attentional skills in children. Journal of Neuroscience, 34(33), 10937–10949.

Serrallach, B. et al. (2016). Neural biomarkers for dyslexia, ADHD, and ADD in the auditory cortex of children. Frontiers in Neuroscience, 10, 324.

Benner, J., Wengenroth, M., Reinhardt, J., Stippich, C., Schneider, P. & Blatow, M. (2017). Prevalence and function of Heschl's gyrus morphotypes in musicians. Brain Structure and Function, 222(8), 3587–3603.

Schneider, P. et al. (2022). Short-term plasticity of neuro-auditory processing induced by musical active listening training. Annals of the New York Academy of Sciences, 1517(1), 176–190.

Bücher, S., Bernhofs, V., Thieme, A., Christiner, M. & Schneider, P. (2023). Chronology of auditory processing and related co-activation in the orbitofrontal cortex depends on musical expertise. Frontiers in Neuroscience, 16, 1041397.

Literatur (4/4)

Mayringer, H. & Wimmer, H. (2003). Salzburger Lese-Screening für die Klassenstufen 1–4 (SLS 1–4). Bern: Hogrefe.

Lenhard, W. & Schneider, W. (2006). ELFE 1–6: Ein Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler. Göttingen: Hogrefe.

May, P. (2012). Hamburger Schreib-Probe 1–10. Hamburg: Verlag für Pädagogische Medien.

Brunner, M., Baeumer, C., Dockter, S., Feldhusen, F., Plinkert, P. & Proeschel, U. (2008). Heidelberg Phoneme Discrimination Test (H-LAD): normative data for children of the third grade and correlation with spelling ability. Folia Phoniatrica et Logopaedica, 60, 157–161.

Seither-Preisler, A. & Schneider, P. (2026). Musical experience and auditory-cortical signatures distinguishing typical development, dyslexia, attention disorders and autism. Manuscript in preparation.