

EPIC – Executive-Process Interactive Control

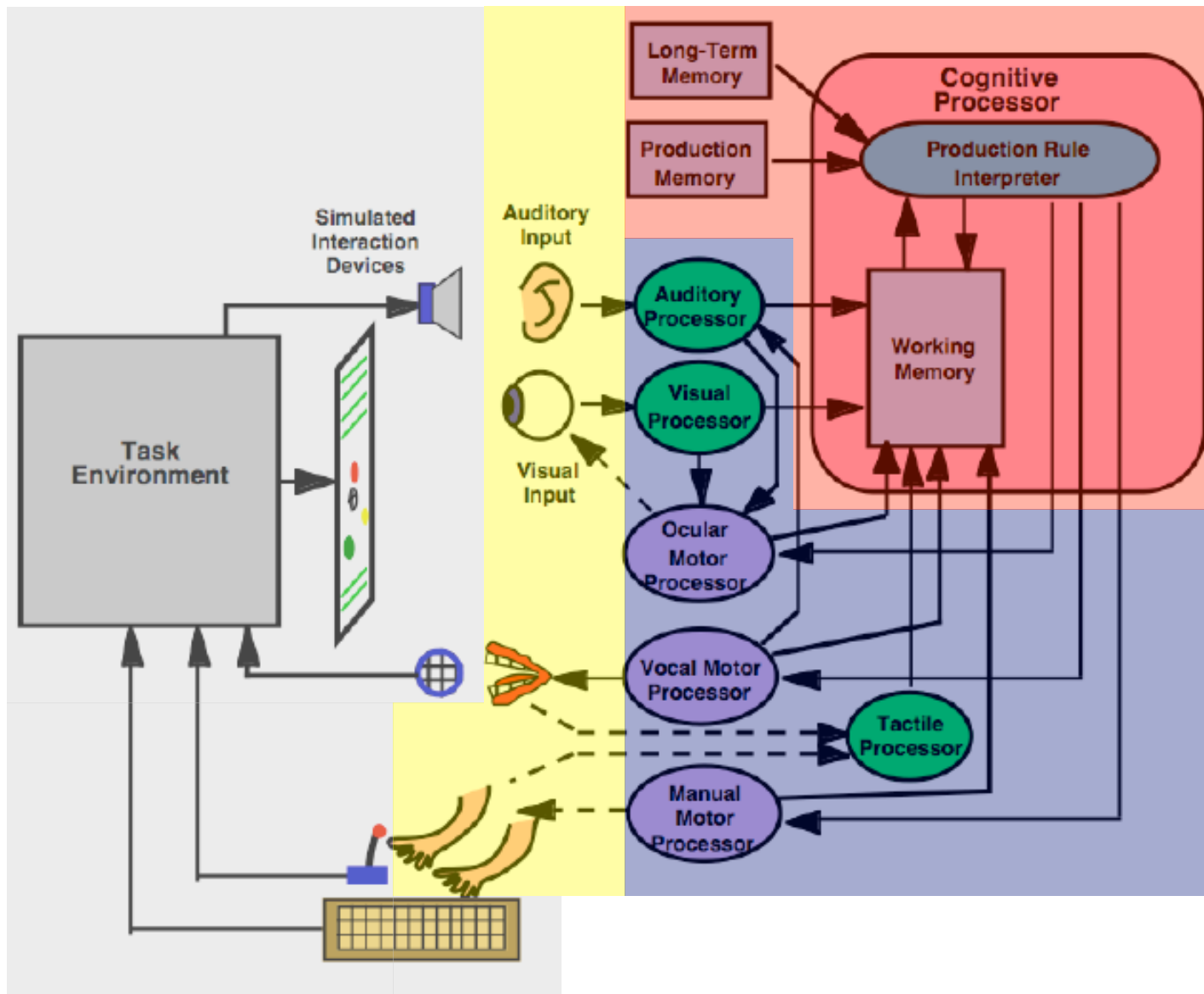
A computational theory of executive cognitive processes and
multiple-task performance

Meyer & Kieras (1997)

Ziele von EPIC

- **Simulation** von Verhalten in Multi-Tasking (Doppelaufgaben)- Situationen
- **Integration** widersprüchlicher Befunde der empirischen Doppelaufgaben-Forschung
- Entwicklung einer plausiblen **Informationsverarbeitungs-Architektur** für sensorische und kognitive Aufgaben

EPIC - Architektur



Gliederung der Veranstaltung

I Doppelaufgaben – Befunde & Modellvorstellungen

II EPIC – Architektur – exekutive Prozesse in der Doppelaufgabenverarbeitung

III Funktionelle Neuroanatomie von exekutiven Prozessen in der Doppelaufgabenverarbeitung

I Doppelaufgaben – Befunde & Modellvorstellungen

Multi-tasking im Alltag



... und wer fährt?

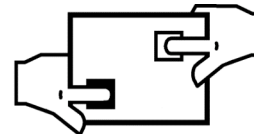


- Leistungseinbußen beim Multi-Tasking
- Engpässe in der Informationsverarbeitung

Doppelaufgaben-Paradigma



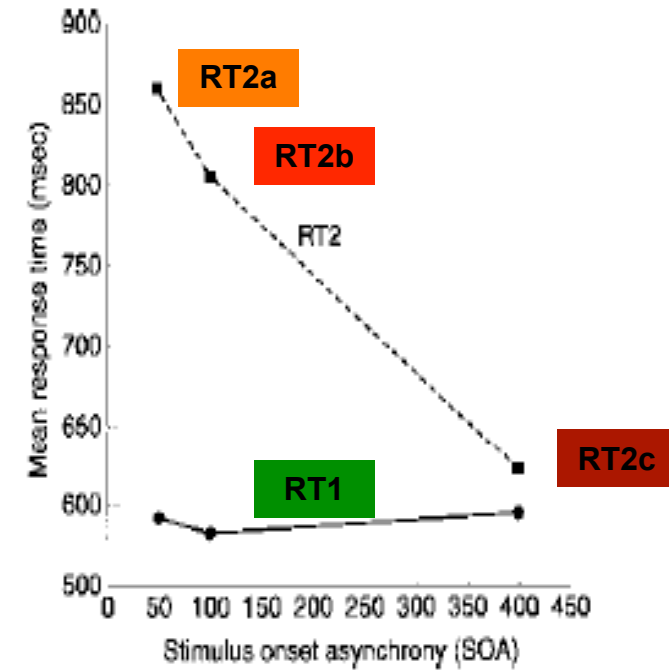
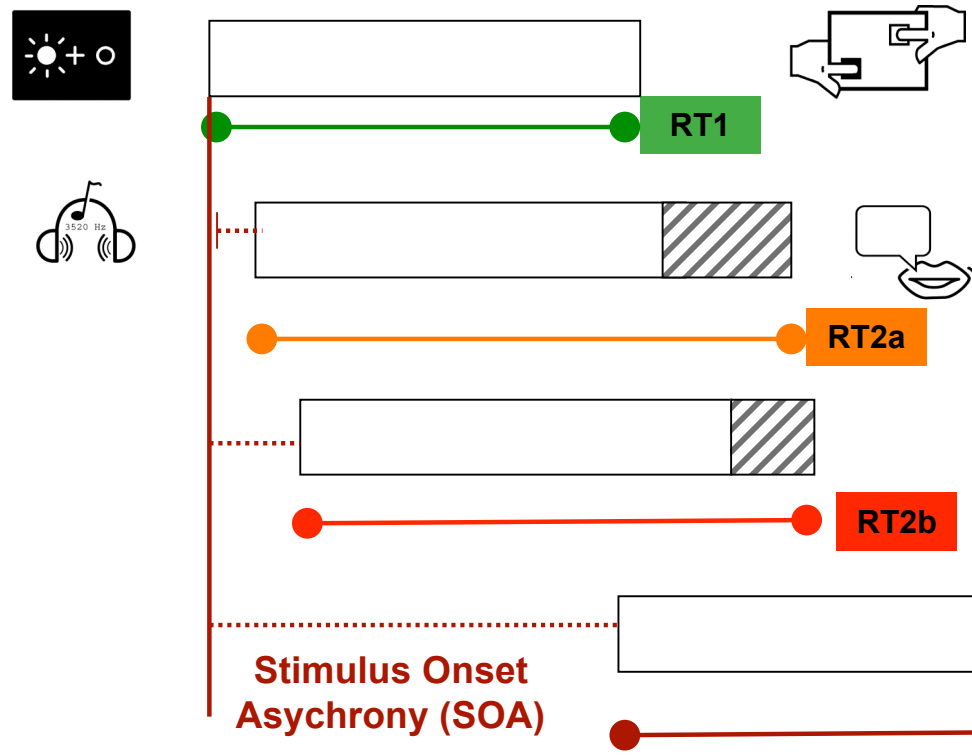
links/rechts?



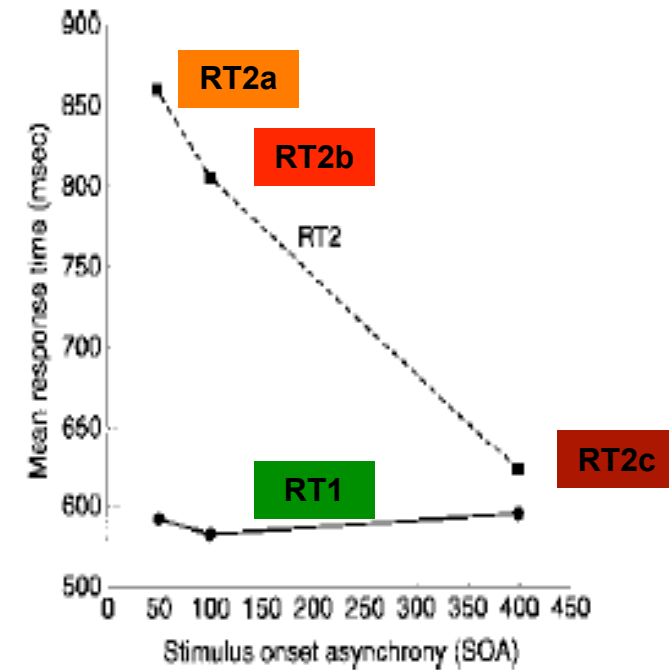
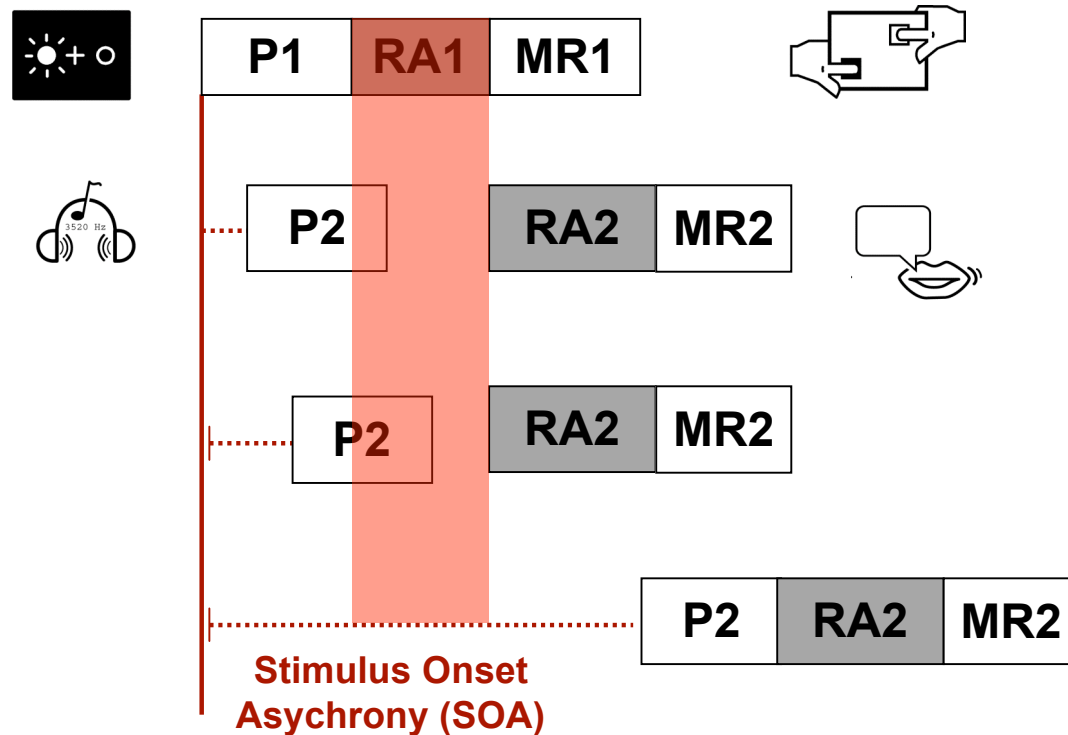
hoch/tief?



I Effekt der Psychologischen Refraktärperiode (PRP)



zentrales Flaschenhals (FH)-Modell



P: Perzeption

RA: Reaktionsauswahl

MR: Motorische Reaktion

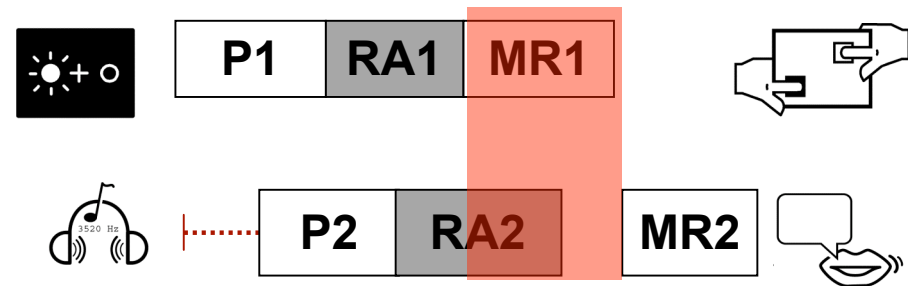
Welford (1952), Pashler (1994)

Grundannahmen des zentralen Flaschenhals-Modells

- Flaschenhals bei Reaktionsauswahl
- Flaschenhals ist strukturell
- Wechsel von Aufgabe 1 auf Aufgabe 2 ist passiv

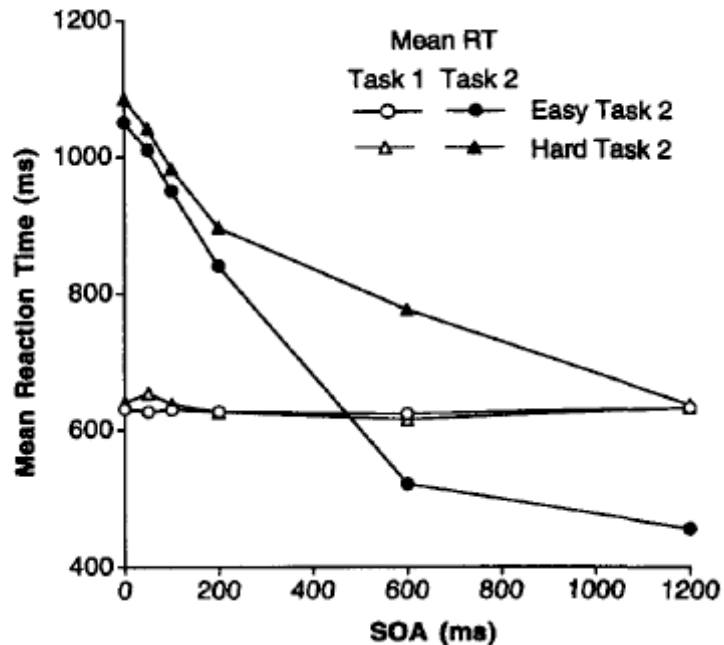
EPICs Gegenannahmen

- Antwortauswahl prinzipiell parallel möglich, einzige Restriktion betrifft motorische Reaktion

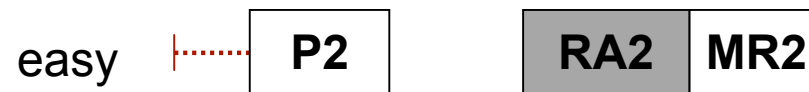


- Flaschenhals ist strategisch, optionale Aufzögerung durch Strategien...
- Exekutive Prozesse regulieren den Verarbeitungsstrom

Manipulation der Schwierigkeit der Reaktionsauswahl



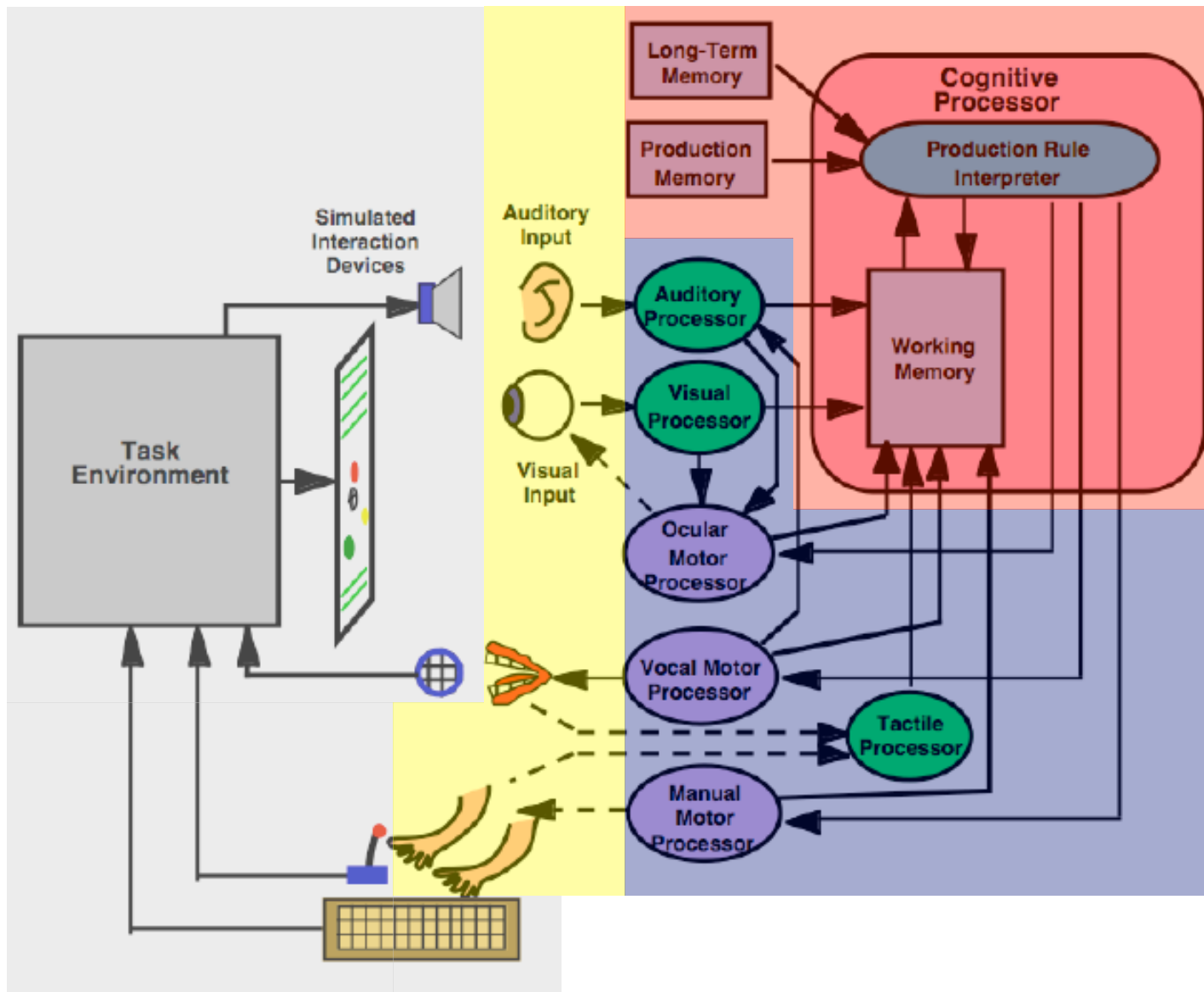
Zentraler (RA)-Flaschenhals



Motorischer (MR)-Flaschenhals



II EPIC – Architektur – exekutive Prozesse in der Doppelaufgabenverarbeitung



1. Integrierte Informationsverarbeitungs-Architektur
2. Produktionsregel-basiert
3. keine inhärente Kapazitätsbeschränkung
4. Bedeutung von Strategien & exekutiven Prozessen
5. Berücksichtigung perzeptueller und motorischer Beschränkungen

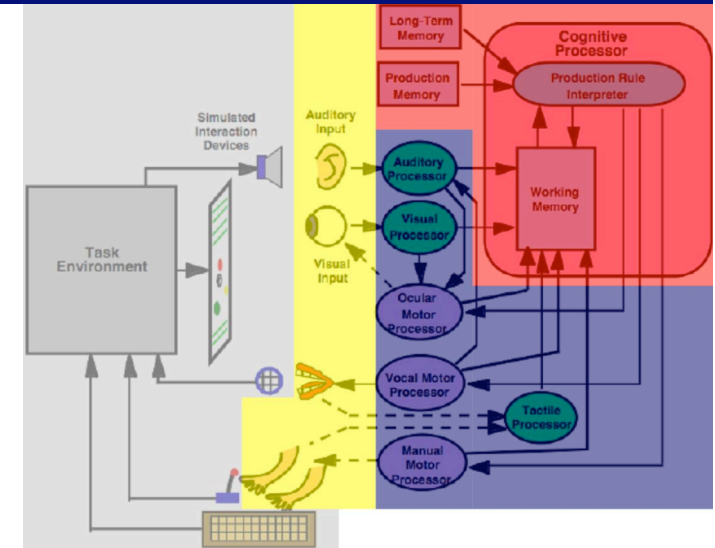
II

1. Integrierte Informationsverarbeitungs-Architektur

Hierarchische Interaktion verschiedener Systeme:

Verarbeitungen-Einheiten als Module (LISP):

sensorische Prozessoren leiten Info an **kognitiven** Prozessor, R-Auswahl => **motorische** Prozessoren



Gedächtnisspeicher:

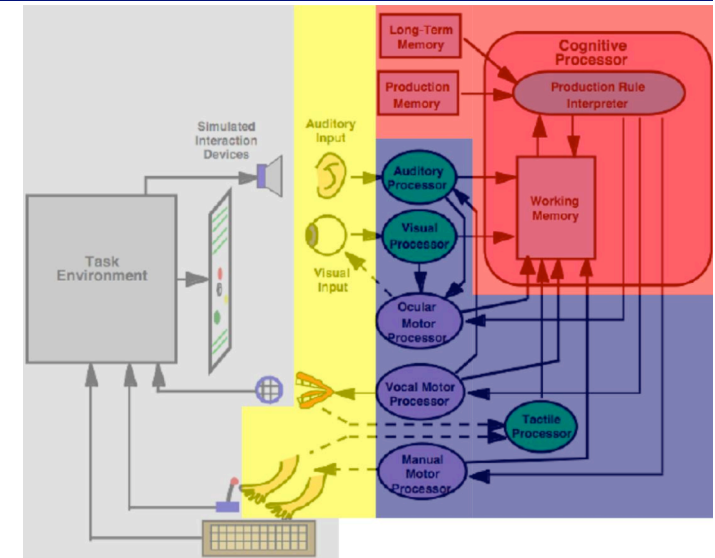
Deklaratives Langzeitgedächtnis: Propositionen (wann, wo, wie?)

Prozedurales Gedächtnis: Produktionsregeln zur Ausführung (automatisierte Propositionen?)

Arbeitsgedächtnis: symbolische Kontrollinformationen- Testen der Regeln & Speichern der Repräsentationen

Basiert auf Parsimonous Production System (PPS; Covrigaru & Kieras, 1987)

- Arbeitsgedächtnis
- Produktionsregeln
- Rule Interpreter



➤ Kein Konflikt-Kriterium oder Spreading Activation für Kontrolle der Regeln


➤ Regelausführung ist nur von Bedingungen der Regel und den Inhalten des AG abhängig, wenn alles erfüllt – sofortige Ausführung (Regelformulierung!)

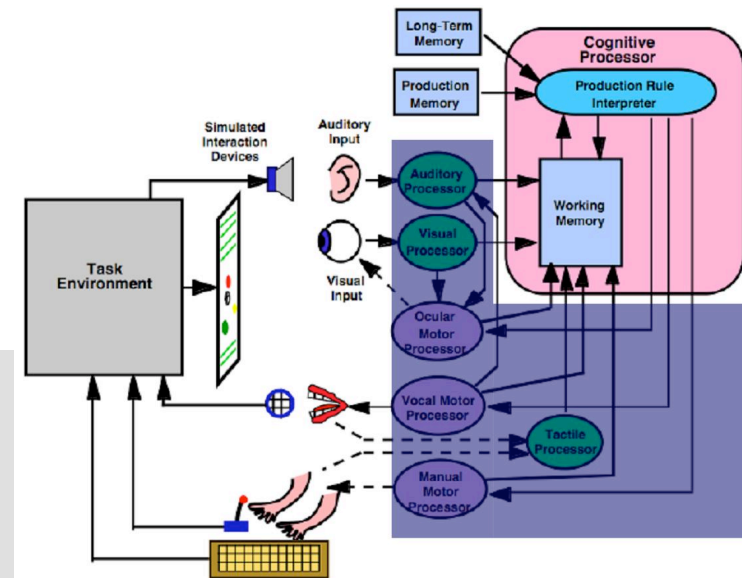
➤ parallele Verarbeitung – Produktionsregeln können gleichzeitig getestet werden

auditiv, visuell & taktil

(look-up tables für Transformation in symbolischen Output)

Annahmen:

 **parallel-asynchrone** Übertragung.
Sensorische Inputs können jederzeit eintreffen.



2. **Inputs:** physikalische Reize (Objekte, Ereignisse)

Outputs: Symbol Strings an AG: 1. **Detektion** („Auditory Detection Onset“)

2. **Identität** („Auditory Tone 800 ON“)

3. **Detektionszeiten** hängen ab von: Modalität, Intensität

Identifizierungszeiten hängen ab von: Diskriminierbarkeit

4. **Aufmerksamkeit** – 1 Mechanismus – physikalische Sensoren top-down ausrichten – no Spotlight

manuell, verbal, okulomotorisch

Annahmen:

Inputs: symbolische Identitäten (z.B. left-index)

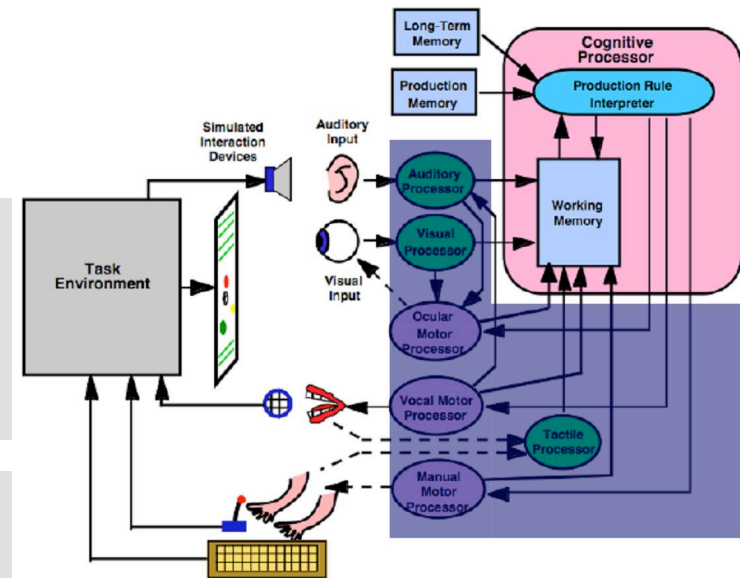
Outputs: Befehle an Effektoren incl. Merkmals-Spezifikation

2. Motorische **Merkmalspezifikation**/ Preparation erfolgt seriell, aber Antizipation möglich

3. Motor. Prozessoren haben **Speicher** für programmierte Merkmale, bleiben bestehen, bis von kognitivem Prozessor verändert. Vorherige Bewegungen können wieder initiiert werden.

4. **Efferenzkopie** zu AG – symbolische Repräsentationen => Monitoring

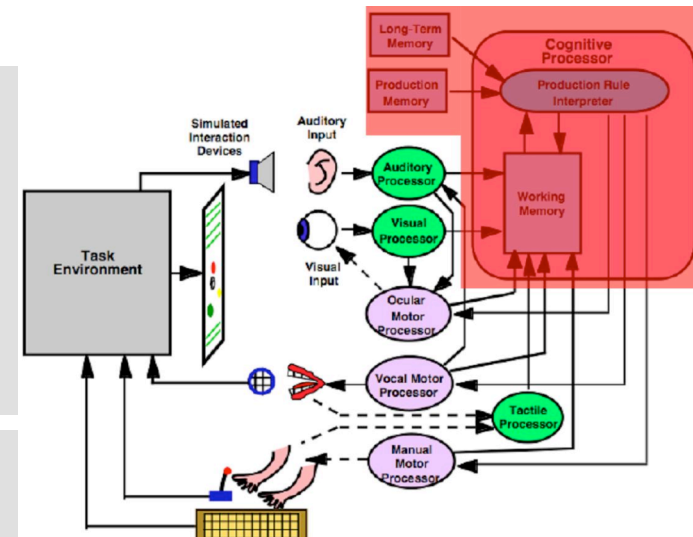
5. Manueller Prozessor gemeinsam für **links & rechts** – Interferenz für 2 x manuelle Reaktion




Annahmen


Inhalte: Informationen aus perzeptuellen, kognitiven und motorischen Prozessoren; incl. GOALS, STEPS & NOTES = Grundlage für Test der Produktionsregel-Bedingungen

Menge & Dauer der Inhalte:
Menge unbegrenzt, kein Zerfall – Info nur durch Produktionsregeln



Annahmen

 Besteht aus Produktionsregeln,
gespeichert im prozeduralen Gedächtnis

 Bedingungen = Symbol Strings mit

Bezug zu AG-Inhalten, z.B.:

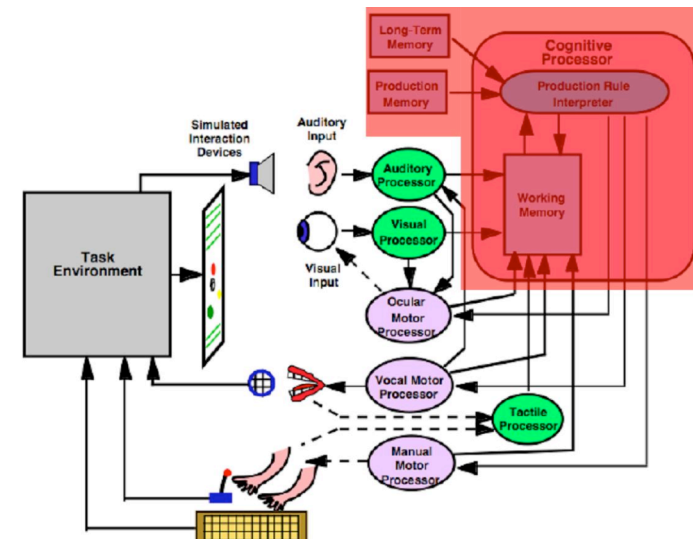
GOALS: „GOAL DO TASK 1“

STEP: „STEP DO CHECK FOR TONE 800“

NOTES: „TASK 1 DONE“,

„RESPONSE IS LEFT-INDEX“

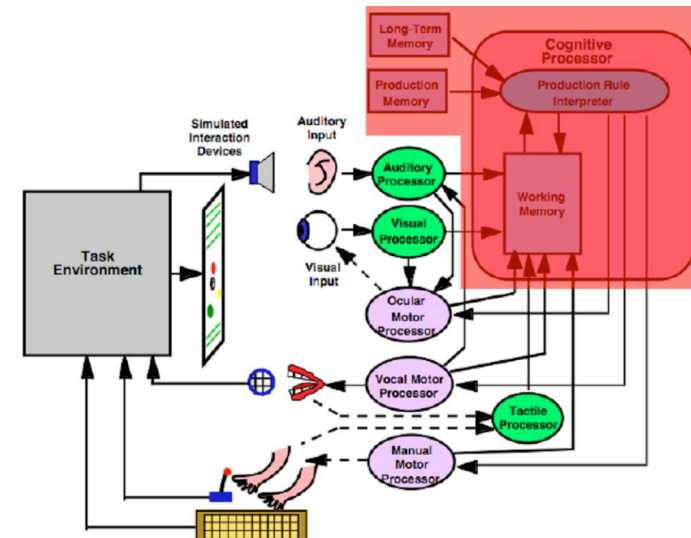
„STRATEGY TASK 1 IMMEDIATE“



Annahmen

📄👉 **Repräsentation der „Rule Actions“** =
 Instruktionen für WM-Updating („DEL [Auditory tone 800 on]“) & Programmieren der Motor Prozessoren

📄👉 **Test der Bedingung und Ausführung** :
 PPS Interpreter: Bedingungen = AG-Inhalt?
 => Execution



IF

```
((GOAL DO TASK 1)
 (STRATEGY TASK 1 IS IMMEDIATE)
 (AUDITORY TONE 800 ON)
 (STEP DO CHECK FOR TONE 800))
```

THEN

```
((SEND-TO-MOTOR(MANUAL PERFORM LEFT INDEX))
 (ADD (TASK 1 RESPONSE UNDER WAY))
 (ADD (STEP WAIT FOR TAKS 1 RESPONSE COMPLETION))
 (DEL (STEP DO CHECK FOR TONE 800))
 (DEL(AUDITORY TONE 800 ON))).
```

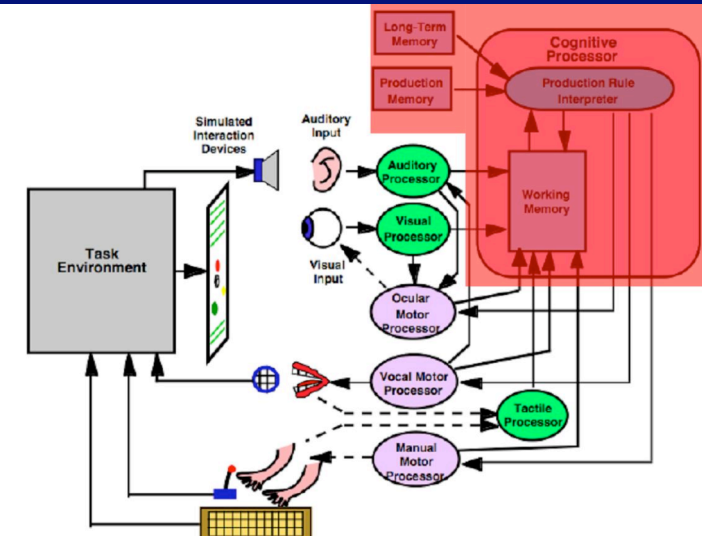
Annahmen5. Zyklische Operation:

= kontinuierliche Zyklen ohne Pausen

3 Operationen pro Zyklus:

1. Update des Working Memorys
2. Test von Bedingungen der Produktionsregeln
3. Ausführungen der Handlungen

➤ neu eintreffende Informationen müssen bis Zyklusende warten (Vgl Periodizitäten in EEG oder RT-Verteilungen)

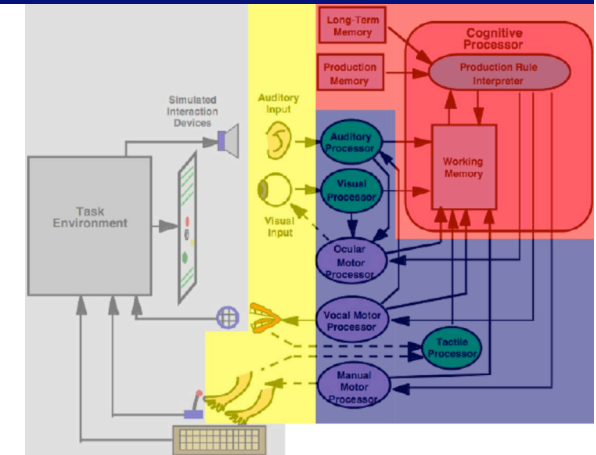
6. Inhärente Parallelität:

- in jedem Zyklus werden alle Regeln im Prozeduralen Gedächtnis getestet – parallele Ausführung am Ende des Zyklus
- Zyklusdauer unabhängig von Anzahl der Regeln, immer alles parallel

Exekutive Prozesse:

= zusätzliche Produktionsregeln (kein supervisory control system):

- ändern Ziele in WM & regulieren top-down Aufmerksamkeit
- kein prozedurales Wissen für Einzelaufgaben, kein Einfluß auf Einzelaufgaben-Produktionsregeln
- nur Manipulation von GOALS & NOTES in WM
- abhängig von Kontext & Instruktionen, Aufgabenkombinationen



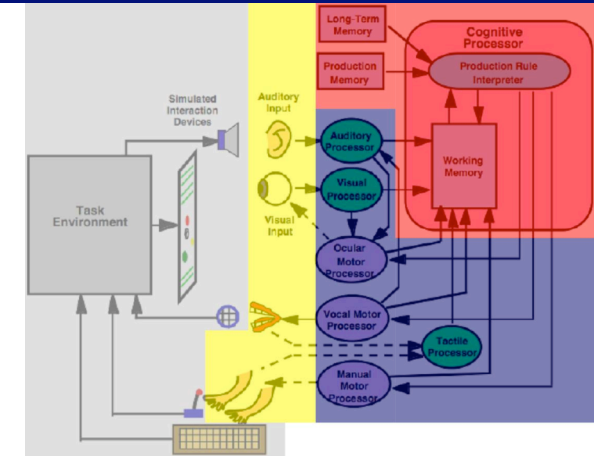
Scheduling Algorithms:

Lockout Scheduling = serielle Verarbeitung,
indem exekutive Prozesse Aufgabenziele
sequentiell ins WM laden

= konservative Multitasking-Strategie

Interleaved Scheduling:

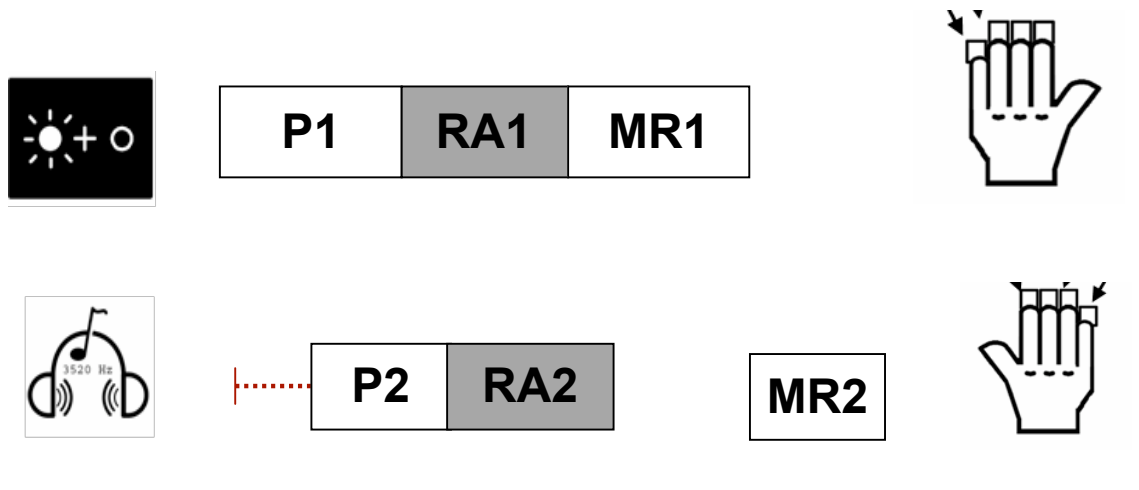
- nur zeitweise Unterbrechungen = viel komplexer,
weil ständiger Wechsel



Das „Strategic Response Deferment Model“ (SRD)

Annahmen:

- Parallele Antwortauswahl prinzipiell möglich



- Ausgewählte Reaktion wird temporär in WM zwischengespeichert
=> optionale Aufzögerung der Reaktion durch **strategische** Prozesse

spezifische Produktionsregeln:

➤ Aufgabe 1/2:

- **Task Initiation** (nach Output von perzeptuellen Prozessoren=> NOTE ins Working Memory, daß „TASK 1 UNDER WAY“)
- **Response Selection** (select vs repetition bypass)
- **Completion**

➤ Exekutive Prozesse:

- Task-Rule Enablement (GOAL DO TASK 1/2)
- Transmission Mode Initialization (immediate vs deferred = Prioritäten)
- Anticipatory eye movements (für visuelle Aufgaben)
- Task Status Monitoring (TASK 1 DONE)
- Task 2 unlocking (abh. Task 1 – Status: TASK RESUMPTION/
RESPONSEPERMISSION)
- Anticipatory Response Preparation

Mathematische Analysen & Computer Simulationen

Table 2

Parameters for Simulations With the SRD Model

System component	Parameter name	Symbol	Type	<i>M</i>	Source
Cognitive processor	Cycle duration	t_c	S	50	G
	Working-memory gating time	t_g	S	25	G
Perceptual processors	Stimulus detection time	t_d	S	X	G, E
	Stimulus identification time	t_i	S	X	G, E
Motor processors	Number of movement features	n_f	C	2	G
	Preparation time per feature	t_f	S	50	G
	Action-initiation time	t_a	S	50	G
	Movement-production time	t_m	S	150	G
	Preparation benefit	t_p	S	X	G
Task processes	Number of selection cycles	n_s	S	X	G, E
	Response-selection time	t_r	S	X	G, E
Executive process	Ocular orientation time	t_o	S	X	I
	Unlocking onset latency	t_u	S	X	E
	Minimum unlocking duration	t_l	S	100	G
	Suspension waiting time	t_w	S	X	I
	Preparation waiting time	t_y	S	X	I
Apparatus	Response-transduction time	t_r	C	X	G, E

Aufgaben-
unabhängig

spezifisch für
SRD-Modell

Note. Numerical times are given in milliseconds for the means of context-independent parameters, which remained the same across all task conditions; X indicates context-dependent parameters whose means changed as a function of task conditions. Some parameters are linearly or multiplicatively related to others, reducing the total number of independent parameters; in particular, $t_g = 0.5t_c$, $t_m = (n_f \times t_f) + t_a$, and $t_s = n_s \times t_c$. SRD = strategic response deferment; S = stochastic; C = constant; G = informal guesstimation; I = iterative simulation; E = formal estimation.

$$\text{z.B.: } RT1 = t_{i1} + t_g + t_{s1} + t_{m1} + t_{r1}$$

Diskrete Stufen!

1. Auswahl empirischer PRP-Studie
2. Setup des Environment-Simulation Programms
3. Setup Produktionsregeln für Aufgaben 1&2, sowie exekutive Prozesse
4. Setzen der Parameterwerte (kontextunabh. vs abh.)
5. Simulation
6. Datenanalyse – Vergleich mit empirischen Daten

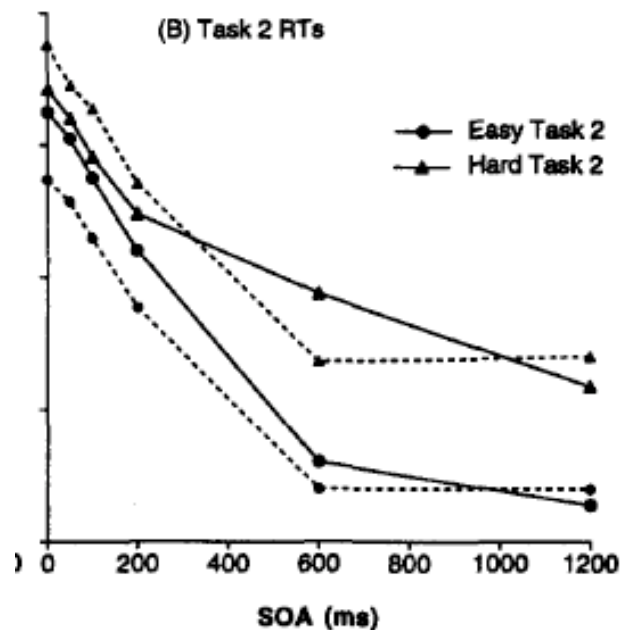
II

EPIC – SRD – Simulationsergebnisse

Simulation von Hawkins et al. (1979): typische PRP-Aufgaben mit auditiven & visuellen Stimuli, manuellen & verbalen Antworten, verschiedene SOAs, + Schwierigkeitsmanipulation in Aufgabe 2

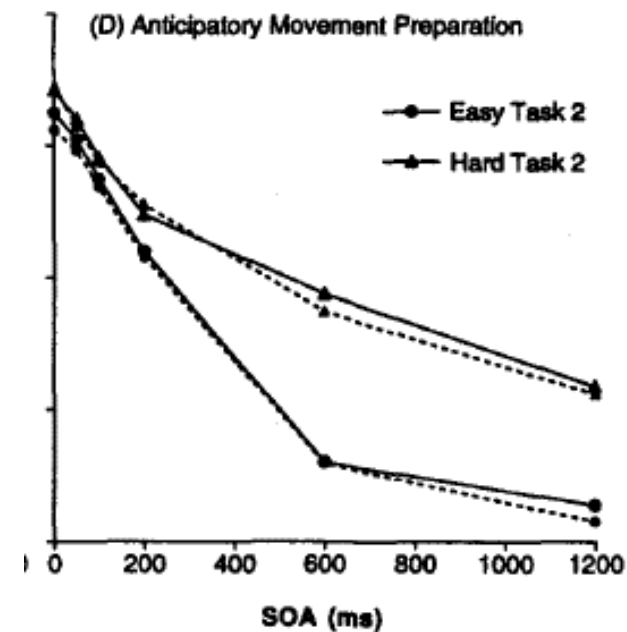
⇒ Finden unteradditive Interaktion

Simulation mit Response Selection-FH



$R^2(\text{RT2}) = .89$

Simulation mit SRD (Motor-FH)



$R^2(\text{RT2}) = .997$ (incl. Transmission mode shift, ocular & motor preparation)

Table 4

Context-Dependent Parameters in Simulations Conducted With the SRD Model for the PRP Study by Hawkins, Rodriguez, and Reicher (1979)

System component	Parameter name	Task 2 difficulty	Mean parameter values in each condition			
			Aud/Man	Aud/Voc	Vis/Voc	Vis/Man
Perceptual processors	Auditory identification time	Easy and hard	335	335	335	335
	Visual identification time	Easy and hard	245	245	245	245
Task 1 process	Number of selection cycles	Easy and hard	2.25	2.25	2.25	2.25
Task 2 process	Number of selection cycles	Easy	1.00	1.00	1.00	1.00
		Hard	5.00	5.00	5.00	5.00
Executive process	Preparation benefit	Easy and hard	50	50	50	50
	Ocular orientation time	Easy and hard	185	235	335	335
	Unlocking onset latency	Easy and hard	300	250	200	0
	Suspension waiting time	Easy	0	100	50	0
Hard		100	50	0	0	
Apparatus	Preparation waiting time	Easy and hard	435	1,200	545	485
	Manual transduction time	Easy and hard	10	10	10	10
	Vocal transduction time	Easy and hard	120	120	120	120

Note. Time parameters are given in milliseconds. Easy and hard are the difficulty of response selection in Task 2. Aud and Vis are the modality of Task 1 stimuli in each condition (auditory or visual). Voc and Man are the modality of Task 1 responses in each condition (vocal or manual). SRD = strategic response deferment; PRP = psychological refractory period.

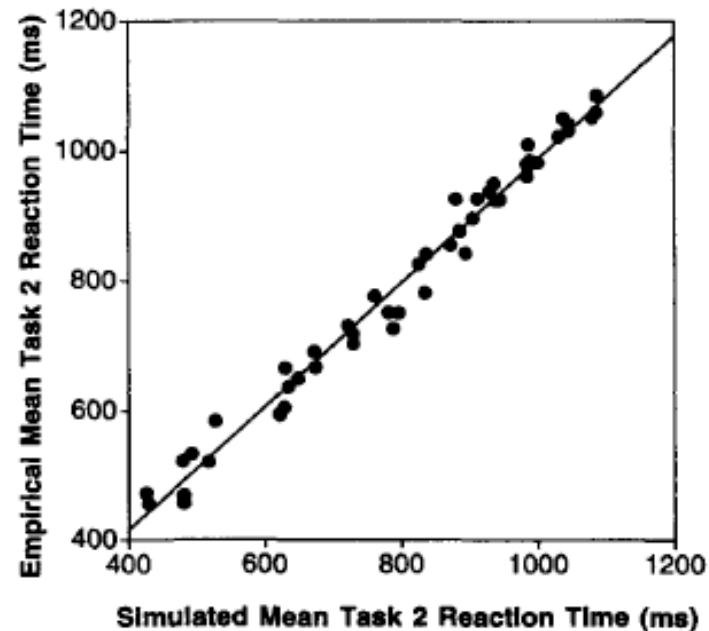


Figure 21. Overall goodness of fit between simulated and empirical mean Task 2 reaction times (RTs) for Hawkins, Rodriguez, and Reicher's (1979) study with the psychological refractory period procedure. The RTs come from conditions across which there were orthogonal manipulations of Task 1 stimulus modalities (auditory and visual), Task 1 response modalities (manual and vocal), Task 2 response-selection difficulty (easy and hard), and stimulus onset asynchrony (cf. Figure 20). Using 22 adjustable context-dependent parameter values estimated from Task 2 data (see Table 5), the strategic response-deferment model accounted for 98.4% of the systematic (statistically reliable) variance in the 48 empirical mean Task 2 RTs, which contained 30 reliable linear contrasts with 1 *df* per contrast.

1. Alternative zum strukturellen Response-Selection Flaschenhals-Modell

2. Möglichkeit paralleler Verarbeitung thematisiert

3. Einfluß von Strategien, exekutiven Prozessen, Kontrolle

4. eröffnet neues Forschungsfelder:

- Lerneffekte
- Variation der Instruktionen
- Kontrolle der Augenbewegungen
- funktionell-neuroanatomische Korrelate

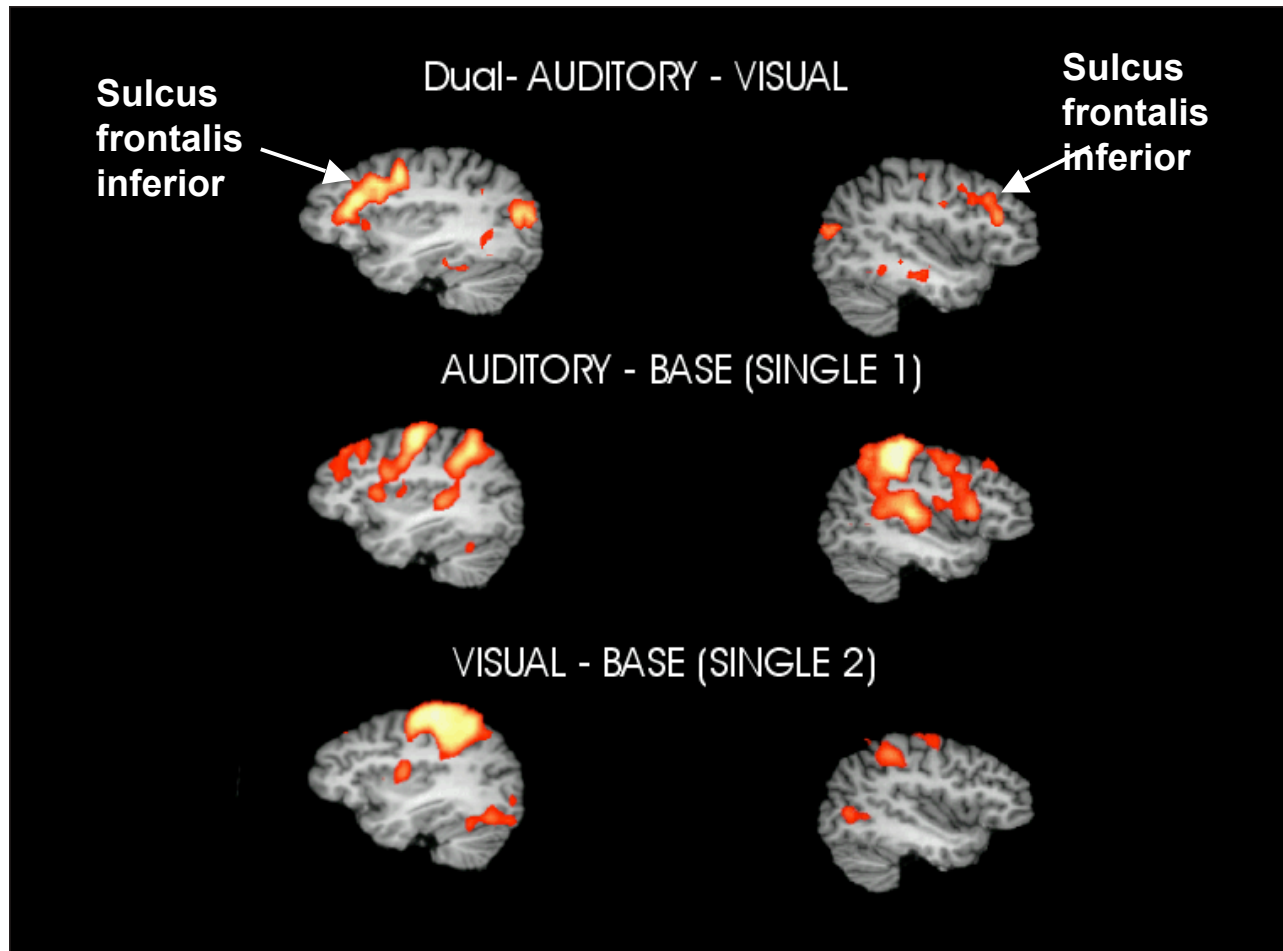


III Funktionelle Neuroanatomie von exekutiven Prozessen in der Doppelaufgabenverarbeitung

III

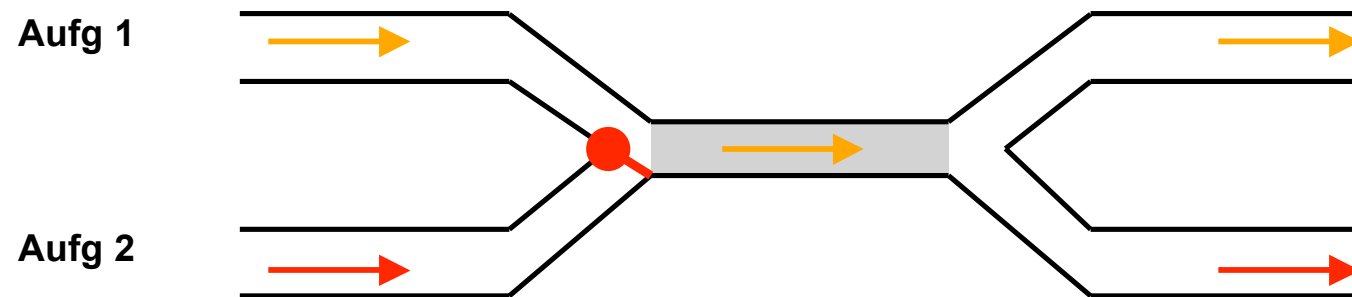
Hintergrund: fMRT & Doppelaufgaben

- **fMRT-Studien** die BOLD-Veränderungen in Einzel (EA)- und Doppelaufgaben (DA) vergleichen, finden Aktivierung im lateralen Präfrontalcortex (PFC). (Herath, 2001; Szameitat, 2002; Schubert & Szameitat, 2003; Erickson, 2005).



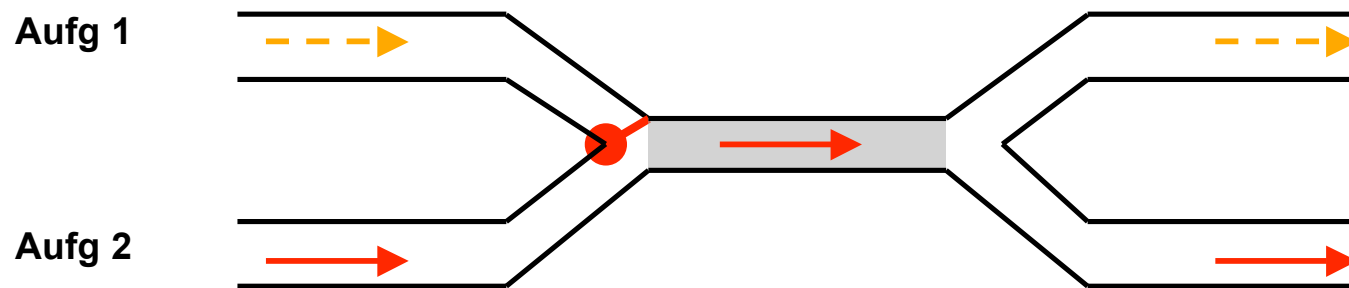
Welche kognitiven Funktionen liegen PFC-Aktivierung zugrunde?

- **Interferenzkontrolle** (Task order control/ Koordination der Aufgaben, de Jong, 1995; Meyer & Kieras, 1997)

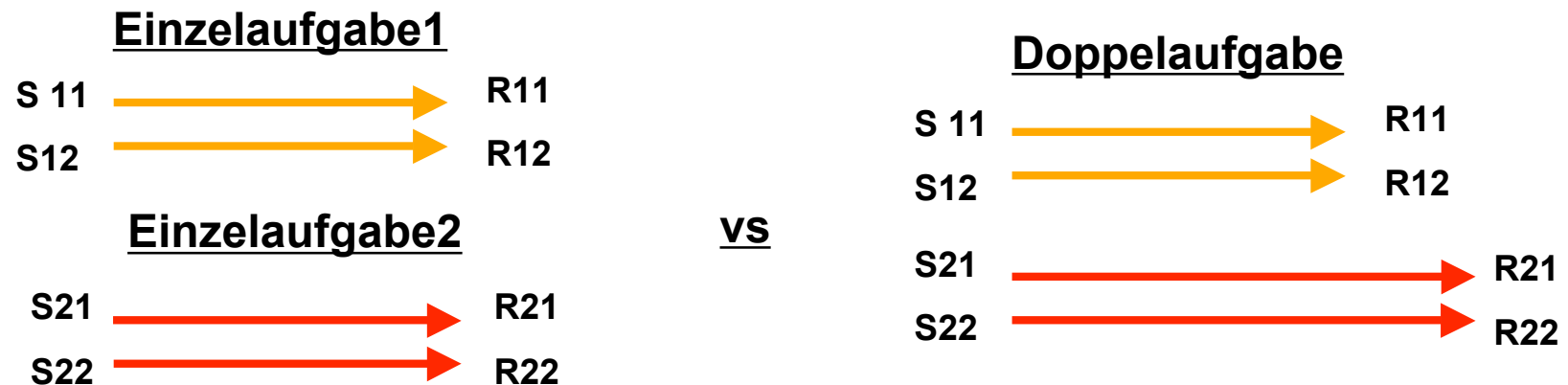


Welche kognitiven Funktionen liegen PFC-Aktivierung zugrunde?

- **Interferenzkontrolle** (Task order control/ Koordination der Aufgaben, de Jong, 1995; Meyer & Kieras, 1997)



- **erhöhter Working Memory Load (Jiang, 2004a):**
gleichzeitiges Aufrechterhalten zweier Task Sets im Working Memory (WM)

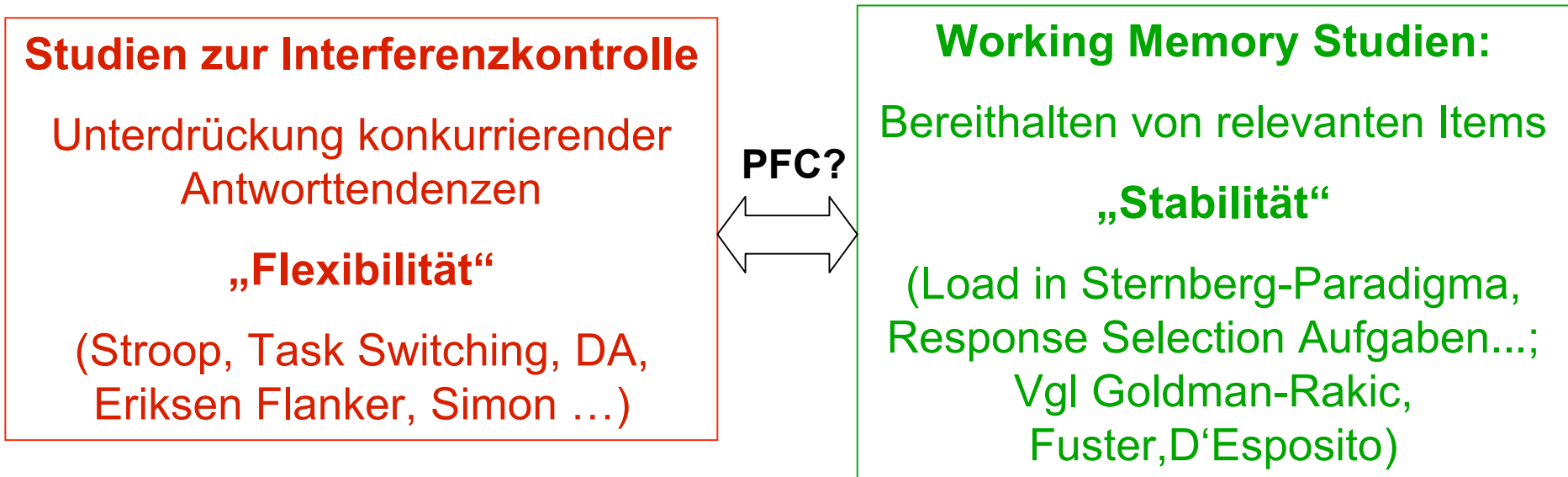


Welche kognitiven Funktionen liegen PFC-Aktivierung zugrunde?

Aktivitätsunterschiede im lateralen PFC zwischen Doppel- und Einzelaufgaben können daher durch verschiedene Faktoren zustande kommen:

- **Interferenzkontrolle** (Szameitat, 2002)
- **erhöhter WM Load** (Jiang, 2004)

Aus Studien zur Funktionsweise des PFC – beides berechtigt:



Fragestellung

- Diffuse Verteilung der Peak-Aktivierungen im lateralen PFC
- Dissoziation der beiden Funktionen auf dieser Ebene nicht möglich
- multiple Unterschiede zwischen Studien (Paradigma, Vpn, Scanner, statistische Analysen ...)

➤ Ziel der Studie:

Lokalisation von Interferenzkontrolle (**Task Order Control**) und **Working Memory (Load)** im lateralen PFC - Kann erhöhter WM Load DA-spezifische Aktivierung erklären oder ist diese wirklich mit Interferenzkontrolle assoziiert?

- Methode: parametrische Manipulation beider Funktion in ein und demselben Paradigma

Methode

- Doppelaufgabe bestehend aus einfachen Wahlreaktionsaufgaben:

visuell-manuelle Aufgabe



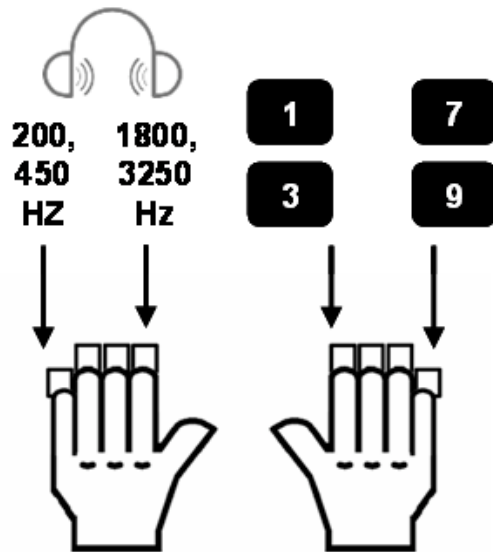
auditiv-manuelle Aufgabe



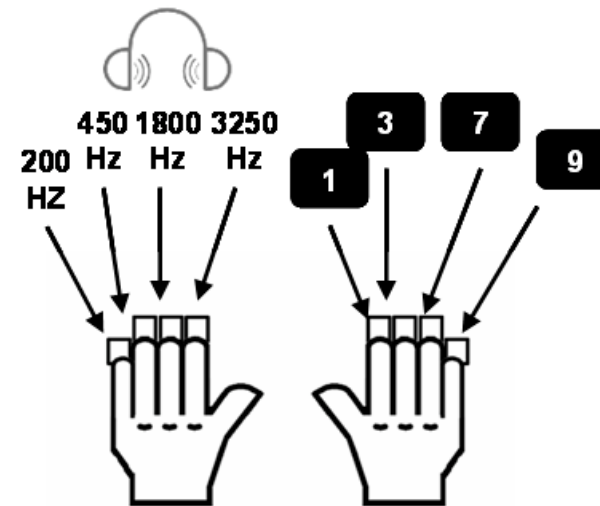
- DA: zeitlicher Abstand (SOA): 250 ms

LOAD - Manipulation

4 S-R- Mappings



8 S-R- Mappings



Task Order Control - Manipulation

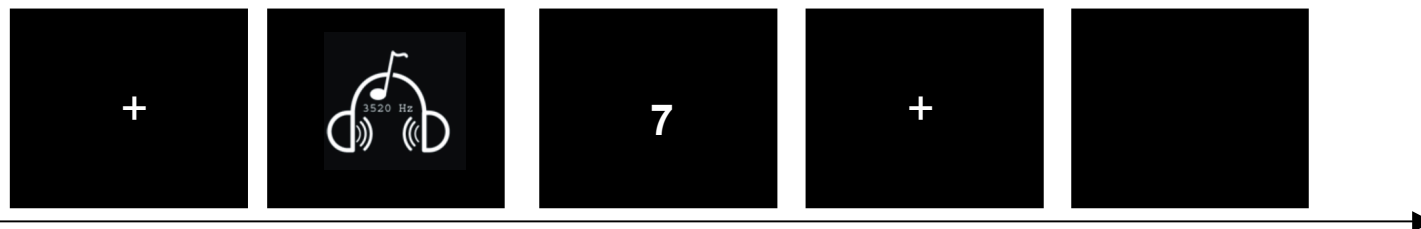


Feste Aufgabenreihenfolge (FIX)

➤ Im Block immer visueller (auditiver Reiz) zuerst präsentiert

Zufällige Aufgabenreihenfolge (RANDOM)

➤ In jedem Trial entweder zuerst visueller oder auditiver Reiz möglich (deJong, 95)



LOAD x Task Order Control

4 Bedingungen:

FIX4: feste Reihenfolge, 4 S-R Mappings

FIX8: feste Reihenfolge, 8 S-R Mappings

RANDOM4: zufällige Reihenfolge, 4 S-R Mappings

RANDOM8: zufällige Reihenfolge, 8 S-R Mappings

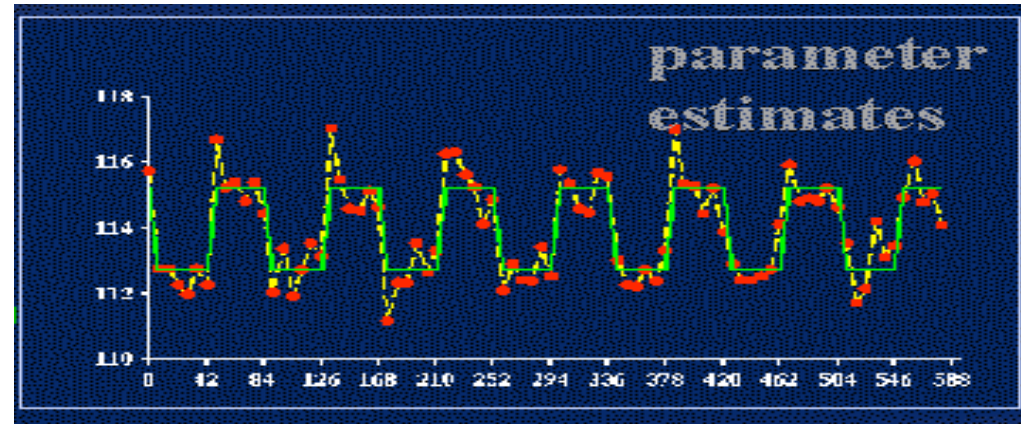
LOAD-Effekt? $(\text{RND8} + \text{FIX8}) - (\text{RND4} + \text{FIX4})$

TOC-Effekt? $(\text{RND8} + \text{RND4}) - (\text{FIX8} + \text{FIX4})$

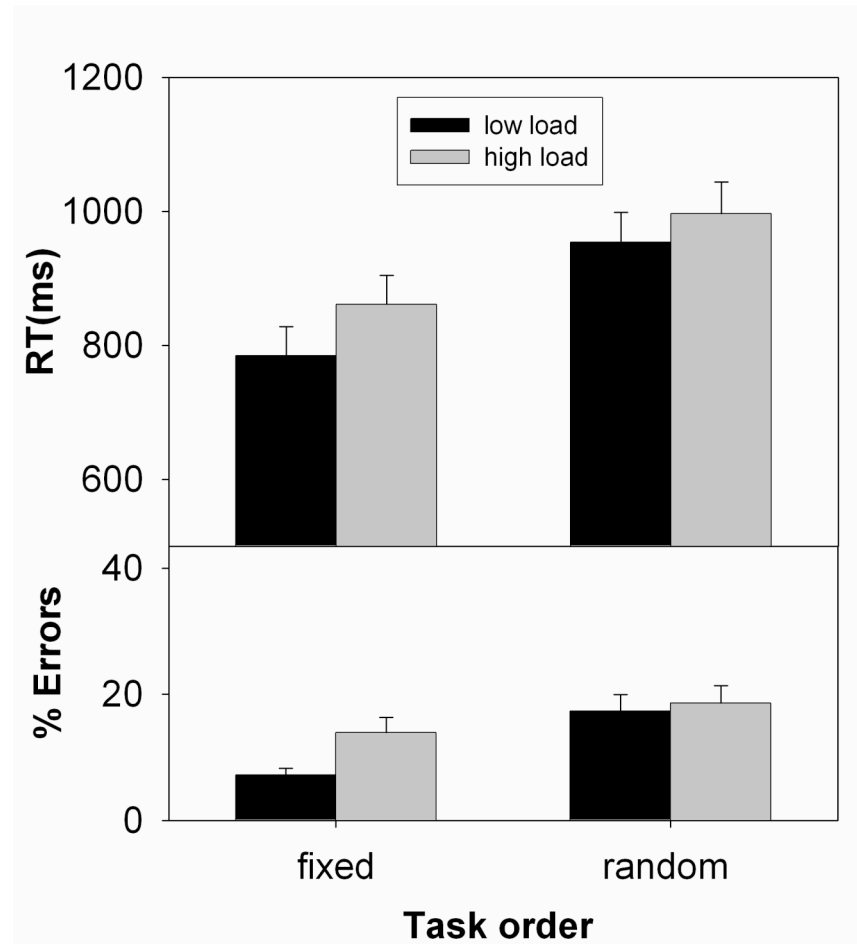
Conjunction: **LOAD & TOC**

Methods: fMRI-Design

Funktionelle Magnet Resonanz Tomographie (fMRT)

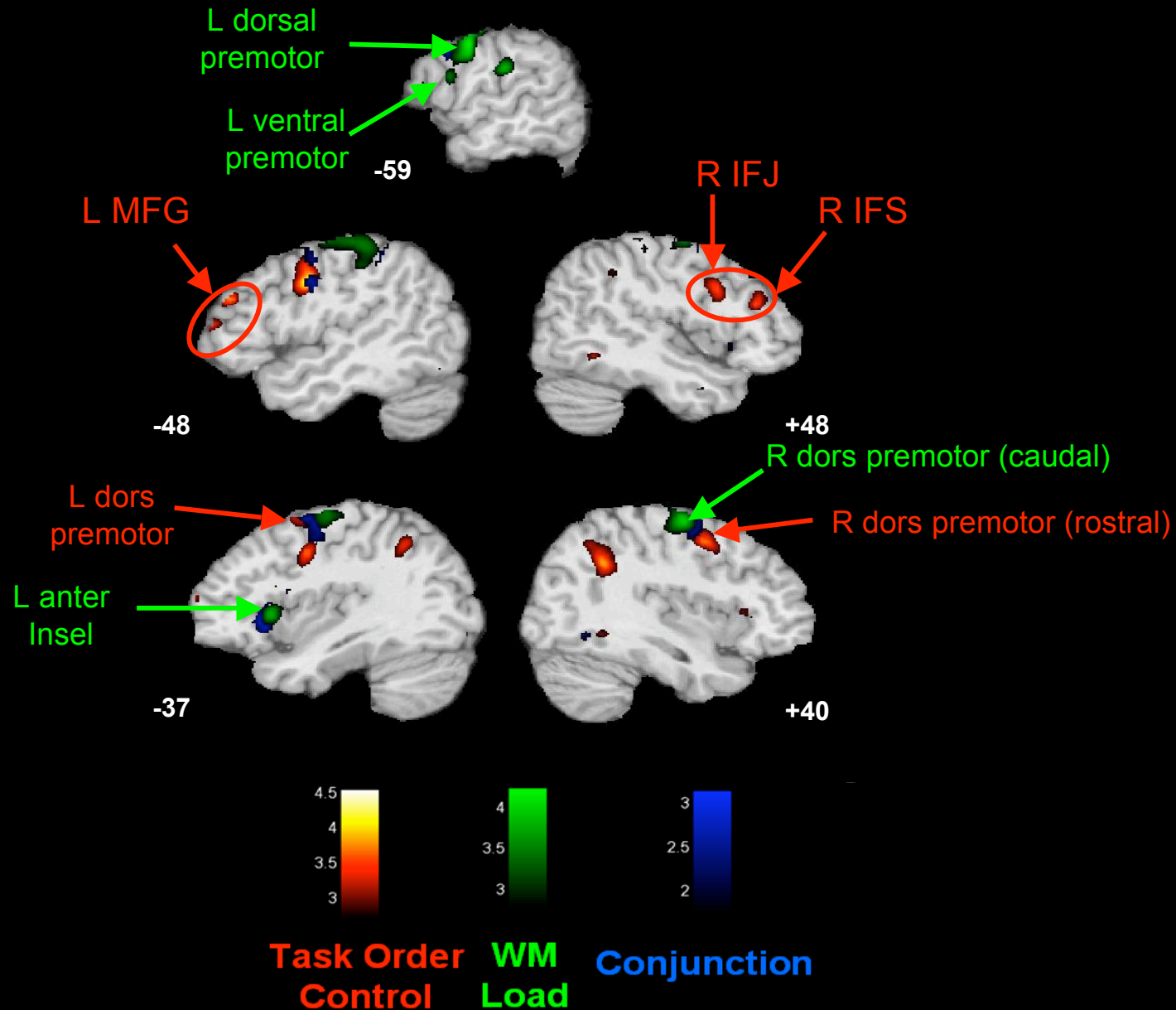


Ergebnisse: Verhaltensdaten

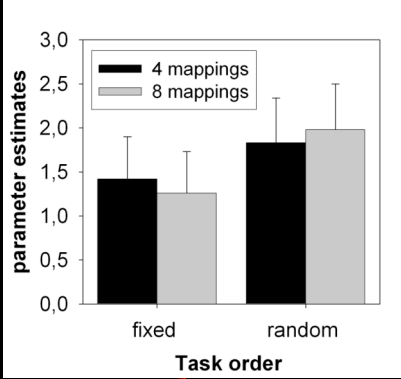
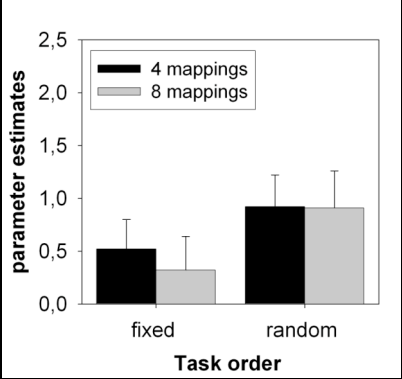


Interaktion: $p > .12$

Ergebnisse: fMRT RFX- Analyse



fMRT: ROI- Analyse



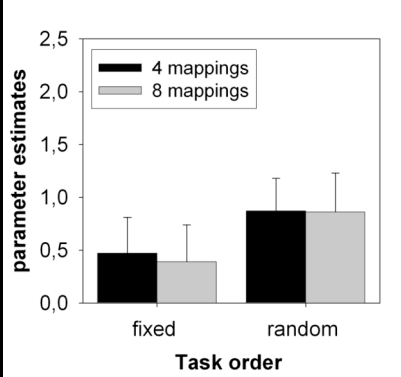
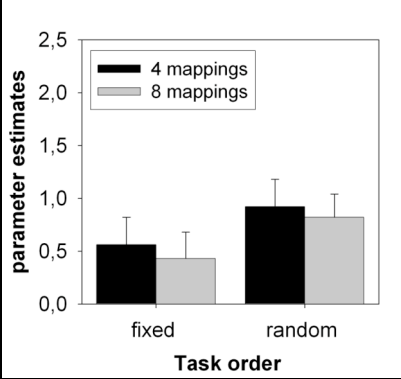
L MFG

-48

R IFJ

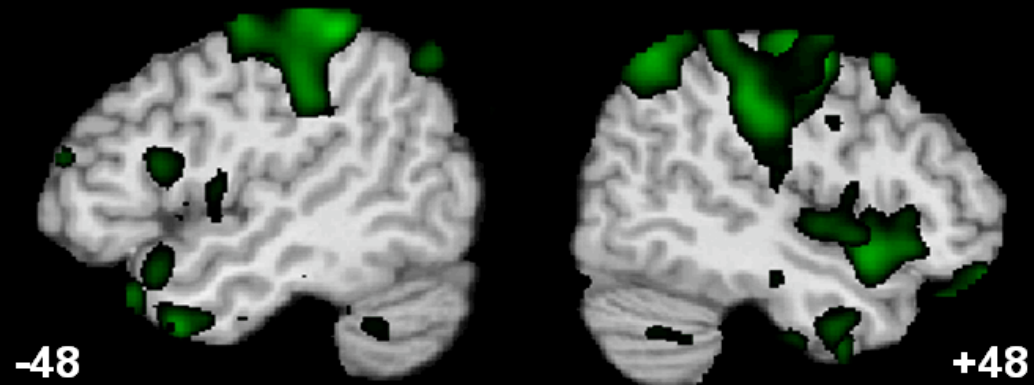
+48

R IFS



fMRT: Split-half Analyse

Vpn mit hohen LOAD - Effekten



Zusammenfassung & Diskussion

Task Order Control und **Working Memory Load** nutzen weitgehend distinkte Netzwerke:

- **TOC:** - bilateraler lateraler PFC
 - bilateral inferior parietal
 - ... kognitive Kontrolle/Interferenzverarbeitung
 - prämotorischer Cortex
 - ... motorische/attentionale Vorbereitung

- **LOAD:** - dorsaler & ventraler prämotorischer Cortex
 - ... motorisches Netzwerk, motorische Vorbereitung & Selektion
 - anter. Insel
 - ... Verbalisierung des Aufgabensets (?)
 - **keine** Aktivität in präfrontalen & parietalen DA-Regionen!

- **Doppelaufgaben-spezifische Aktivierungen nicht durch erhöhten WM-Load, sondern aktive Kontrolle von Verarbeitungsprozessen am Flaschenhals! (siehe EPIC!)**

Zusammenfassung & Diskussion

➤ **Noch offen:**

- sensorischer vs motorischer LOAD?
- Conjunction: - bilat dorsaler prämotorischer Cortex/ li anteriore Insel
= multifunktionale Areale oder funktionale Überlappung der Faktoren?
- Rolle der IFJ-Region (Vgl . Herath et al., Jiang)
- Flexibilität vs Stabilität – Einfluß von Neurotransmittern,
interindividuelle Unterschiede