

Handlungsvorbereitung zwischen Reaktionszeit und Spurwechsel: Ein einfacher VR-Simulator als Brücke zwischen Grundlagenfor- schung und Anwendung

Gerhard Rinkenauer, Peter Hofmann, Marc Tönnies und Michael Stark

Schlüsselwörter: Handlungsvorbereitung, Fahrsimulation, Kognitionspsychologie.

Zusammenfassung

Um eine Brücke zwischen gut ausgearbeiteten Theorien der Kognitionspsychologie und theoretischen Fragen in der Anwendung schlagen zu können, wurde ein fixed-base Fahr Simulator entwickelt, mit dessen Hilfe Experimentalparadigmen der Handlungsvorbereitung auf anwendungsnahe Fahrsituationen übertragen werden können. Anhand eines Experimentes, in dem der Einfluss der Position von Vorinformation auf die Handlungsvorbereitung untersucht wird, soll exemplarisch gezeigt werden, wie mit Hilfe des Fahr Simulators die Übertragbarkeit von Grundlagenbefunden auf anwendungsnahe Kontexte überprüft werden kann. Hierzu wurden Hinweisreize entweder in einem simulierten Head-Up-Display oder simulierten Head-Down-Display präsentiert. Die Befunde der aktuellen Untersuchung legen nahe, dass die grundlagentheoretischen Konzepte der Handlungsvorbereitung auch für Fahraufgaben gelten. Allerdings hat im Vergleich zur Vorinformation selbst, die Position der Vorinformation nur einen geringen Einfluss auf die Handlungsvorbereitung.

Abstract

A specific fixed-base driving simulator was developed to bridge the gap between proven theories of basic research and theoretical questions of applied research. This simulator enables us to transfer experimental paradigms of action preparation to more applied driving situations. We present a study in which we investigate the influence of stimulus position on action preparation in the context of a driving task. The study is also used as an example to demonstrate how basic theoretical concepts can be generalized to a more applied context. In the conducted experiment, we presented precue information either at a simulated Head-Up Display or a simulated Head-Down Display. The findings of the experiment suggest that the theoretical concepts of action preparation are also valid for applied driving contexts. However, the position of precue information had only a minor influence on action preparation in comparison to the preparation effects of precue information itself.

Einleitung

Die Übertragbarkeit kognitionspsychologischer Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung auf angewandte Fragestellungen in der Verkehrsforschung wird häufig kontrovers diskutiert. Prinzipiell gilt die Annahme, dass in Grundlagenforschung und Anwendung unterschiedlich komplexe Systeme behandelt werden. Während die Anwendungsforschung den Menschen überwiegend als ganzes System betrachtet, steht in der Grundlagenforschung die Reduktion der natürlicherweise gegebenen Komplexität im Vordergrund. Wie auch in anderen Wissenschaften wird in der kognitionspsychologischen Grundlagenforschung versucht, das Gesamtsystem der menschlichen Informationsverarbeitung in überschaubare Teilsysteme zu unterteilen (Prinz, Roth, & Maasen, 1996). Das Besondere kognitionspsychologischer Grundlagenarbeit ist jedoch, dass die Isolation nicht physisch erfolgt, sondern durch die geeignete Gestaltung von Versuchsbedingungen. Es wird dabei angenommen, dass sich Veränderungen in den isolierten Teilsystemen auf das Gesamtsystem auswirken. Die kritische Frage in Bezug auf ange-

wandte Fragestellungen ist allerdings, ob spezifische Teilsysteme für eine bestimmte Anwendungsfrage eine bedeutsame Rolle spielen oder ob es sich nur um künstliche und für die praktische Frage irrelevante Teilsysteme handelt, die nur in einer spezifischen Laborsituation auftreten.

Was anwendungsrelevante Teilsysteme menschlicher Informationsverarbeitung betrifft, so spricht vieles dafür, dass Teilsysteme wie Wahrnehmung, Gedächtnis und Motorik nicht nur im Labor, sondern auch auf der Strasse bei der Bewältigung von Fahraufgabe und Nebenaufgaben eine Rolle spielen. Allerdings ist oft nicht klar, ob diese Teilsysteme in vergleichbarer Art und Weise in die unterschiedlichen Untersuchungskontexte eingebunden sind. In unserer aktuellen Arbeit interessieren wir uns vor allem dafür, inwieweit Grundlagenkenntnisse zur Handlungsvorbereitung auf Fahrsituationen übertragen werden können. Um dies überprüfen zu können verfolgen wir eine Forschungsstrategie, in der wir experimentelle Paradigmen der Handlungsvorbereitung in Zwischenschritten von den Grundlagenparadigmen auf angewandte Fragestellungen übertragen. Zentrale Frage ist hierbei, inwiefern für die Fahrsituation analoge Verhaltensmuster wie im Laborversuch gefunden werden können. Für diese Untersuchungen sind allerdings Fahrsimulationsumgebungen erforderlich, die auch den Ansprüchen der Grundlagenforschung genügen müssen.

Fahrsimulation zwischen Grundlagenforschung und Anwendung

Die Komplexität und die Realitätsnähe der zu Forschungszwecken eingesetzten Fahrsimulatoren variiert je nach Einsatzzweck erheblich (Knappe, Keinatz & Meinecke, 2006). Prinzipiell wird davon ausgegangen, dass die Übertragbarkeit der Befunde von Fahrversuchen in simulierten Umgebungen auf reale Fahrsituationen umso besser gelingt, je realitätsnäher und somit komplexer die Fahrsimulation gestaltet ist. Ein Grund dafür könnte sein, dass mit steigender Komplexität des eingesetzten Systems gewöhnlich auch dessen Immersivität steigt (Loomis, Blascovich & Beall, 1999). Allerdings hat die Komplexität von realitätsnahen Simulatoren den Nachteil, dass insbesondere bei kognitionspsychologischen Fragestellungen theoretisch relevante Aspekte menschlicher Informationsverarbeitung durch konfundierende Umgebungseinflüsse nicht mehr zugänglich sind und daher oft eine breite Lücke zwischen Grundlagenuntersuchungen und angewandten Fragestellungen besteht. Darüber hinaus ist die zeitliche Auflösung und Stabilität vor allem bei PC-basierten Fahrsimulatoren oft ungenügend und die Manipulation von wichtigen Experimentalfaktoren sowie die exakte Wiederholung von experimentellen Bedingungen ist durch die vorgegebenen Fahrsituationen meist nur sehr eingeschränkt möglich.

Um die Generalisierbarkeit der oben erwähnten Grundlagenforschung auf anwendungsnahe Fahrsituationen überprüfen zu können, wurde daher am Leibniz-Institut für Arbeitsforschung (IfADo) in Kooperation mit der Fachhochschule Dortmund ein Fahrsimulator mit hoher zeitlicher Auflösung zur Untersuchung fahrbezogener Handlungsvorbereitung entwickelt. Hierzu wurde mit Hilfe von VR-Methoden eine Spurwechselaufgabe in ein einfaches dreidimensionales Szenario integriert. Das Reizmaterial kann sowohl in der Konsole des dreidimensionalen Fahrzeugmodells als auch an jeder anderen beliebigen räumlichen Position (z. B. in einem Head-Up-Display) präsentiert werden. Die visuelle Darstellung erfolgt stereoskopisch mit einer Bildwiederholfrequenz von 120 Hz auf einem Großbildschirm (ca. 45° x 35° Sehwinkel). Akustische Reize werden über die Soundkarte übertragen. Lenkung, Gas und Bremse werden über eine PC-Spielkonsole betätigt, so dass der Aufbau einem einfachen fixed-base Fahrsimulator entspricht. Die experimentellen Bedingungen können über eine Administrationschnittstelle erstellt werden. Diese Schnittstelle erlaubt es einzelne Ereignisse und deren zeitliche Abfolge zu definieren und eine beliebige Anzahl von Wiederholungen festzulegen, ohne dass Programmierkenntnisse erforderlich sind. Timing und Protokollierung erfolgen im Takt der stereoskopischen Darstellung, so dass die zeitliche Auflösung bei 8 ms liegt.

Handlungsvorbereitung zwischen Grundlagenforschung und Anwendung

Kognitionspsychologische Fragestellungen bei Fahrsimulationen fokussieren oft auf die Aufteilung von Informationsverarbeitungsressourcen zwischen Fahraufgabe und Fahrerinformationssystemen. Interessanterweise gibt es jedoch kaum Studien zur Handlungsvorbereitung im Fahrkontext. Aber insbesondere Vorbereitungsparadigmen scheinen geeignet zu sein, um untersuchen zu können, inwieweit kognitive Ressourcen aktiviert und zum richtigen Zeitpunkt optimal eingesetzt werden können. Grundlagenuntersuchungen zur Handlungsvorbereitung beschäftigen sich nämlich damit, wie gut der Mensch unmittelbar bevorstehende Ereignisse aufgrund von Vorinformation antizipieren kann, um möglichst schnell und genau auf diese Ereignisse reagieren zu können (z. B. Brunia & van Boxtel, 2000; Low & Miller, 1999; Müller-Gethmann, Rinkenauer, Stahl, & Ulrich, 2000; Müller-Gethmann, Ulrich & Rinkenauer, 2003; Requin, Brener, & Ring, 1991). Theoretische Überlegungen unterscheiden hierbei zwischen zeitlicher und inhaltlich-räumlicher Handlungsvorbereitung (z. B. Requin et al., 1991). Zeitliche Handlungsvorbereitung spielt dann eine Rolle, wenn Unsicherheit darüber besteht, zu welchem Zeitpunkt eine bestimmte Handlung ausgeführt werden soll. Von inhaltlich-räumlicher Handlungsvorbereitung spricht man, wenn zwar der Zeitpunkt der Handlung bekannt ist aber nicht die Art der erforderlichen Ausführung. Beide Arten der Handlungsvorbereitung spielen nicht nur in der Grundlagenforschung eine zentrale Rolle, sondern sind offensichtlich auch hoch relevant bei der Interaktion mit Unterstützungs- und Assistenzsystemen (Hofmann, Rinkenauer & Gude, 2009).

Eigene frühere Grundlagenuntersuchungen (Müller-Gethmann et al., 2000, 2003; Rolke & Hofmann, 2008) legen nahe, dass sowohl motorische als auch perzeptuelle Informationsverarbeitungsprozesse durch Vorinformation beschleunigt werden und, je nach Umfang der Vorinformation, Vorbereitungseffekte von mehr als 100 ms erreicht werden können. Unklar war allerdings bisher, in welchem Umfang die Grundlagenerkenntnisse auf einen angewandten Fahrkontext generalisierbar sind. Zur Überprüfung der Generalisierbarkeit wurde der oben beschriebene Fahr Simulator eingesetzt, mit dem die ursprünglichen Laboraufgaben auf die Fahr-situation erweitert werden konnten.

Unsere bisherigen Experimente konzentrierten sich sowohl auf die zeitliche als auch auf die inhaltliche Handlungsvorbereitung beim Fahren. Als Fahraufgabe werden Spurwechselmanöver ausgeführt (vgl. z. B. Mattes, 2003), wobei Parameter des Spurwechsels (Zeitpunkt, Richtung, Anzahl der Spuren) ganz oder teilweise durch entsprechende Vorinformation vorbereitet werden. Die bisherigen Ergebnisse stimmen weitgehend mit den Ergebnissen der Grundlagenforschung überein (Hofmann et al., 2008b; Hofmann et al., 2008c, Hofmann et al., 2009), so dass wir annehmen, dass die theoretischen Konzepte der Grundlagenforschung auch bei der Handlungsvorbereitung im Fahrkontext gelten und dass zumindest bestimmte Fahrmanöver durch gezielte Vorinformationen unterstützt werden können. Nachdem wir zeigen konnten, dass sich Vorbereitungsparadigmen auf den Fahrkontext anwenden lassen, wurden diese Paradigmen auch für erweiterte Fragestellungen eingesetzt (z. B. Hofmann, Gude & Rinkenauer, 2008a). Auf solch eine erweiterte Fragestellung, an der auch exemplarisch die experimentelle Vorgehensweise dargestellt werden soll, soll im nächsten Abschnitt näher eingegangen werden.

Handlungsvorbereitung im Fahrkontext

Zur Zeit beschäftigen wir uns mit der Frage, inwieweit bei der räumlich-inhaltlichen Vorbereitung der Ort der Vorinformation eine Rolle spielt. Daher wurden entsprechende Hinweisreize entweder in einem Head-Up-Display (HUD) oder in einem Head-Down-Display (HDD) präsentiert (vgl. Abb. 1). Bei diesen Untersuchungen gingen wir davon aus, dass Hinweisreize in einem HUD eine bessere Unterstützung der Handlungsvorbereitung leisten sollten, da in dieser Bedingung der Blick nicht von der Straße abgewendet wird und vorbereitende Informationen somit leichter, d. h. ohne zwischenzeitliche Änderung der räumlichen Aufmerksamkeitsaus-

richtung, verarbeitet werden können. Wir haben daher in einer Pilotuntersuchung 14 Versuchspersonen instruiert, Hinweisreize, die entweder im HUD oder im HDD präsentiert wurden, zu nutzen, um möglichst schnell und genau die durch das Reaktionssignal vorgegebenen Spurwechsel durchführen zu können. Das Reaktionssignal erschien dabei immer an der gleichen Position wie der Hinweisreiz und gab die Parameter des auszuführenden Spurwechsels vor (Richtung des Spurwechsels und Anzahl der zu wechselnden Spuren). Der Hinweisreiz enthielt entweder die volle Vorinformation (Richtung und Anzahl) über den nachfolgenden Spurwechsel, nur Teilinformation (entweder Richtung oder Anzahl) oder keine Information.

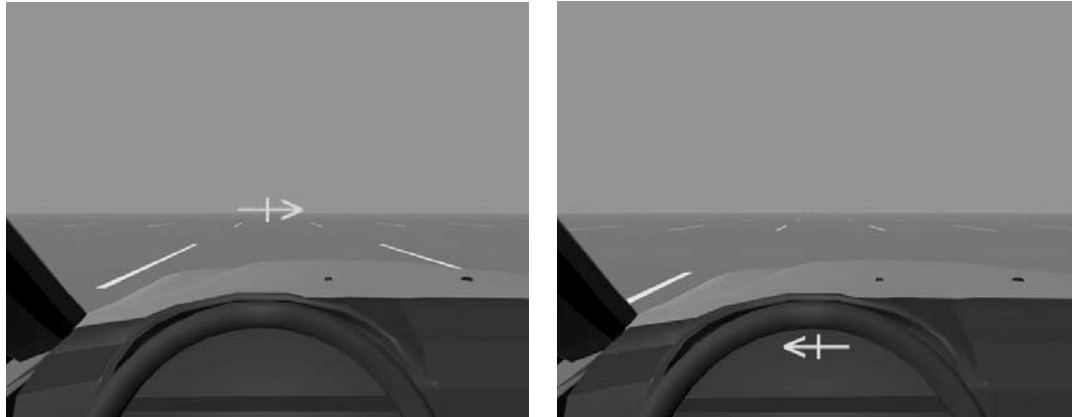


Abb.1: Fahrsimulation mit der Möglichkeit Vorinformation entweder im Head-Up-Display (links) oder im Head-Down-Display (rechts) präsentieren zu können.

Die vorläufigen Ergebnisse in Abbildung 2 zeigen, dass mit zunehmender Vorinformation die Lenkreaktion früher erfolgt. Der Reaktionszeitunterschied zwischen voller Vorinformation und keiner Vorinformation beträgt 141 ms. Bei teilweiser Vorinformation konnte durch die Richtungsinformation ein Vorbereitungseffekt von 103 ms ($F(1,13)=210.8$, $p<.001$) und durch die Spurzahlinformation ein Effekt von 38 ms ($F(1,13)=33.4$, $p<.001$) erzielt werden. Die Reaktionszeiten waren im Mittel für die Präsentation im HUD 11 ms schneller als für die Präsentation im HDD ($F(1,13)=15.0$, $p=.002$). Es zeigt sich keine Interaktion zwischen der Position der Darbietung und den Vorinformationen ($p>.52$). Des weiteren legen die Ergebnisse in Abbildung 2 nahe, dass sich in Abhängigkeit mit der Vorinformation auch die Form des zeitlichen Verlaufs der Lenkwinkeländerung verändert. Hierfür steht jedoch eine detaillierte Analyse noch aus. Es zeigt sich aber in einer Vorgängerstudie, in der die Position der Vorinformation nicht verändert wurde, dass sich durch unterschiedliche Vorinformation auch die Form der Lenkreaktion verändert (Hofmann et al., 2009). Dieser Befund könnte somit ein Hinweis dafür sein, dass analog zu den Grundlagenbefunden auch die motorische Repräsentation der Lenkbewegung durch vorbereitende Information beeinflusst werden.

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass Vorinformationen analog zu den Grundlagenbefunden auch im Fahrkontext von den Probanden dazu genutzt werden können, schneller zu reagieren. Analog zu den früheren Untersuchungen verkürzt sich die Reaktionszeit mit dem Ausmaß an Vorinformation, wobei die Größe des Effektes, aber auch von den vorbereiteten Parametern der Reaktion abhängt (vgl. Rosenbaum, 1980). Interessanterweise scheint die Position der Vorinformation, zumindest für die aktuelle Untersuchung, nur eine untergeordnete Rolle zu spielen, da ein Reaktionszeitvorteil von 11 ms kaum praktische Relevanz hat.

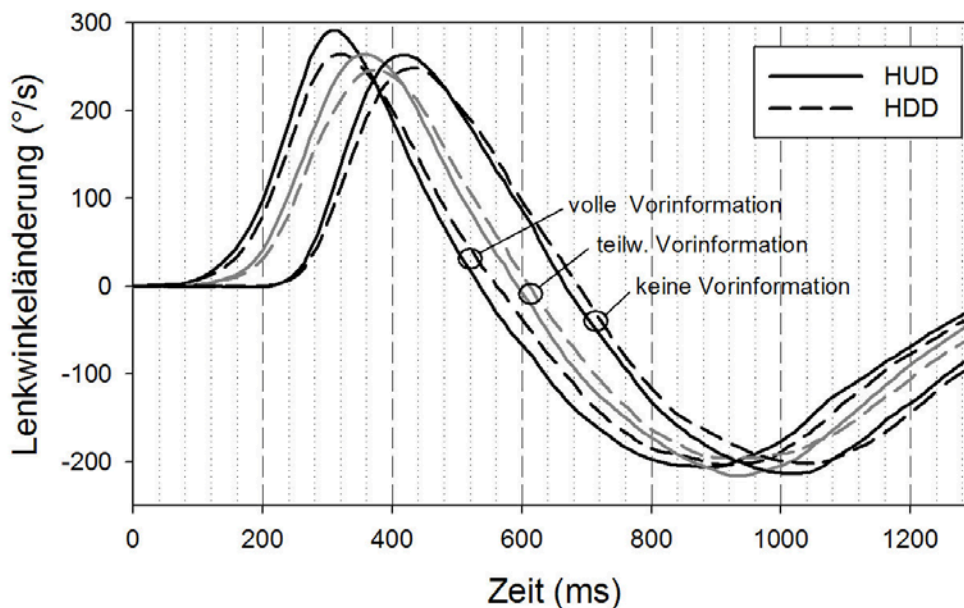


Abb.2: Zeitlicher Verlauf der Lenkwinkeländerung in Abhängigkeit von der Vorinformation (voll, teilweise, keine) und der Position (HUD, HDD) der Vorinformation. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird bei der teilweisen Vorinformation nur die Richtungsinformation dargestellt. Das Reaktionssignal wurde zum Zeitpunkt $t=0$ ms präsentiert.

Diskussion

In unserer aktuellen Arbeit interessieren wir uns dafür, ob Grundlagenerkenntnisse zur Handlungsvorbereitung auf Fahrsituationen übertragen werden können. Hierzu wurden Grundlagensparadigmen auf eine vergleichsweise einfache Fahrsituation übertragen. Es wurde ein Fahrsimulator entwickelt der es erlaubt, die Fahraufgabe hoch standardisiert durchzuführen, so dass die ursprüngliche Laboraufgabe um die Fahrsituation erweitert werden konnte. Zentrale Frage war hierbei, inwiefern für die Fahrsituation analoge Verhaltensmuster wie im Laborversuch gefunden werden können. Die Ergebnisse der aktuellen Studie und weiterer Studien legen nahe, dass sich die theoretischen Konzepte der Grundlagenforschung auf einfache Fahraufgaben übertragen lassen. Es lohnt sich daher, die Erforschung der Handlungsvorbereitung auf komplexere Fahrsituationen auszuweiten.

Abschließend soll noch kurz auf das Zusammenspiel von Grundlagen- und Anwendungsforschung eingegangen werden. Prinzipiell stellt die Grundlagenforschung experimentelle Techniken und Erkenntnisse bereit, die es dem Praktiker erlauben sollten, sich Lösungen für seine angewandten Probleme zu erschließen (Heuer 1987). Die reduktionistische Herangehensweise der Grundlagenforschung erschwert jedoch oft diesen Transfer, da die ökologische Validität und die Relevanz eines Experimentes aus Anwendersicht oft schwer ersichtlich sind. Durch Untersuchungsparadigmen, die zwischen Grundlagenforschung und Anwendung angesiedelt sind, kann man nicht nur die Relevanz theoretischer Erkenntnisse für die Praxis verdeutlichen, sondern auch dem Anwender das Verständnis der Grundlagenforschung erleichtern. Insofern unterstützt unsere Vorgehensweise die Idee eines gegenseitigen Austauschs zwischen Grundlagen- und Anwendungsforschern und wird daher auch für zukünftige Fragestellungen, wie beispielsweise zu fahrbezogenen Aufmerksamkeitsprozessen oder zu altersabhängigen Veränderungen von kognitiven Prozessen, weitergeführt.

6. Literatur

- Brunia, C. H. M., & van Boxtel, G. J. M. (2000). Motor preparation. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (2nd ed., pp. 507-532). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Heuer, H. (1987). Motorikforschung zwischen Elfenbeinturm und Sportplatz. In: R. Daugs (Hrsg.), *Neuere Aspekte der Motorikforschung*. Clausthal-Zellerfeld, 52-69.
- Hofmann, P., Gude, D. & Rinkeauer, G. (2008a). Einflüsse der Dimensionalität der Informationsdarstellung im Head-Up-Display auf die Fahrleistung. In: M. Grandt & A. Bauch (Eds.), *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration*. Manching: DGLR Bonn, 217-231.
- Hofmann, P., Gude, D. & Rinkeauer, G. (2008b). Visuelle Informationsverarbeitung im Kontext von Head-Up-Displays: Vorbereitungseffekte auf kinematische Eigenschaften der Lenkbewegung in einer Spurwechselaufgabe. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Ed.), *Produkt- und Produktions-Ergonomie – Aufgabe für Entwickler und Planer*. Dortmund: GfA-Press, 717-720.
- Hofmann, P., Rinkeauer, G. & Gude, D. (2008c). Head-Up-Displays Support Response Preparation in a Lane Change Task. In: Human Factors and Ergonomics Society (Ed.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 52nd Annual Meeting - 2008*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society, 1233-1237.
- Hofmann, P., Rinkeauer, G. & Gude, D. (2009). Preparing lane changes while driving in a fixed-base simulator: effects of advance information about direction and amplitude on reaction time and steering kinematics (submitted).
- Knappe, G., Keinath, A. & Meinecke, C. (2006). Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltequalität im Kontext der Fahrsimulation, *MMI-Interaktiv*, 11, 3-13.
- Loomis, J. M., Blascovich, J. J. & Beall, A. C. (1999). Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology, *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31, 557-564.
- Low, K. A. & Miller, J. (1999). The usefulness of partial information: Effects of go probability in the choice/nogo task, *Psychophysiology*, 36, 288-297.
- Mattes, S. (2003). The lane-change-task as a tool for driver distraction evaluation. In: H. Strasser, K. Kluth, H. Rausch & H. Bubb (Eds.), *Quality of Work and Products in Enterprises of the Future*. Stuttgart: ergonomia Verlag, 57-60.
- Müller-Gethmann, H., Rinkeauer, G., Stahl, J., & Ulrich, R. (2000). Preparation of response force and movement direction: Onset effects on the lateralized readiness potential. *Psychophysiology*, 37, 507-514.
- Müller-Gethmann, H., Ulrich, R., & Rinkeauer, G. (2003). Locus of the effect of temporal preparation: Evidence from the lateralized readiness potential. *Psychophysiology*, 40, 597-611.
- Prinz, W., Roth, G., & Maasen, S. (1996). Kognitive Leistungen und Gehirnfunktionen. In G. Roth & W. Prinz (Eds.), *Kopf-Arbeit: Gehirnfunktionen und kognitive Leistungen* (pp. 3-34). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Requin, J., Brener, J., & Ring, C. (1991). Preparation for action. In J. R. Jennings & M. G. H. Coles (Eds.), *Handbook of cognitive psychophysiology: Central and autonomic nervous system approaches* (pp. 357-448). New York: Wiley.
- Rolke, B., & Hofmann, P. (2007). Temporal uncertainty degrades perceptual processing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 522-526.
- Rosenbaum, D. A. (1980). Human Movement Initiation: Specification of Arm, Direction, and Extent, *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 444-474.