

Florian Reinbold

REALITÄTSÜBERGREIFENDES TRAINING IM LEISTUNGSSPORT

Ansätze, Nutzen und Transfer

Literatur

- Agency for Health Care Policy and Research (1992). Acute Pain Management: Operative or Medical Procedures and Trauma. *AHCPR Clinical Practice Guidelines, No. 1*. Rockville (MD): AHCPR Publication.
- Argelaguet Sanz, F., Multon, F. & Lécuyer, A. (2015). A methodology for introducing competitive anxiety and pressure in VR sports training. *Frontiers in Robotics and AI*, 2 (10), 1-11. <https://doi.org/10.3389/frobt.2015.00010>
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (4), 355-385.
- Baek, S., Lee, S. & Kim, G. J. (2003). Motion retargeting and evaluation for VR-based training of free motions. *The Visual Computer*, 19 (4), 222-242. <https://doi.org/10.1007/s00371-003-0194-2>
- Bandow, N., Emmermacher, P., Stucke, C., Masik, S. & Witte, K. (2014). Comparison of a video and a virtual based environment using the temporal and spatial occlusion technique for studying anticipation in karate. *International Journal of Computer Science in Sport*, 13, 44-56.
- Bideau, B., Kulpa, R., Ménardais, S., Fradet, L., Multon, F., Delamarche, P. & Arnaldi, B. (2003). Real handball goalkeeper vs. virtual handball thrower. Presence: *Teleoperators and Virtual Environments*, 12 (4), 411-421. <https://doi.org/10.1162/10574603322391631>.
- Bideau, B., Multon, F., Kulpa, R., Fradet, L., Arnaldi, B. & Delamarche, P. (2004). Using virtual reality to analyze links between handball thrower kinematics and goalkeeper's reactions. *Neuroscience Letters*, 372 (1-2), 119-122. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2004.09.023>
- Botvinick, M. & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391 (6669), 756. <https://doi.org/10.1038/35784>
- Bruder, G., Argelaguet Sanz, F., Olivier, A. H. & Lécuyer, A. (2015). Distance estimation in large immersive projection systems, revisited. 2015 *IEEE Virtual Reality Conference, VR 2015 - Proceedings* (February), 27-32. <https://doi.org/10.1109/VR.2015.7223320>.
- Brunswik, E. (1956). *Perception and the Representative Design of Psychological Experiments. The Philosophical Quarterly* (2nd ed.). Berkeley: University of California Press.
- Craig, C. (2013). Understanding perception and action in sport: How can virtual reality technology help? *Sports Technology*, 6 (4), 161-169. <https://doi.org/10.1080/19346182.2013.855224>.
- Coleman, B. (2009). Using sensor inputs to affect virtual and real environments. *IEEE Pervasive Computing*, 8 (3), 16-23. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2009.60>.
- Covaci, A., Olivier, A.-H. & Multon, F. (2015). Visual perspective and feedback guidance for VR free-throw training. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35 (5), 55-65. <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.95>
- Cummings, J. J. & Bailenson, J. N. (2016). How immersive is enough? A meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media Psychology*, 19 (2), 272-309. <https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740>.
- Daug, R. (2000). *Evaluation sportmotorischen Messplatztrainings im Spitzensport*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Ebbinghaus, H. (1885). *Über das Gedächtnis*. Leipzig: Dunker.
- Farrow, D. & Abernethy, B. (2003). Do expertise and the degree of perception-action coupling affect natural anticipatory performance? *Perception*, 32 (9), 1127-1139. <https://doi.org/10.1068%2Fp3323>
- Goldberg, S. (1994). Training dismounted soldiers in a distributed interactive virtual environment. *U.S. Army Research Institute Newsletter April 14*, 9-12.
- Gray, R. (2017). Transfer of training from virtual to real baseball batting. *Frontiers in Psychology*, 8, 2183. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02183>.
- Gulec, U., Yilmaz, M., Isler, V., O'Connor, R. V. & Clarke, P. M. (2019). A 3D virtual environment for training soccer referees. *Computer Standards & Interfaces*, 64, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.11.004>
- Harris, D. J., Wilson, M. R. & Vine, S. J. (2018). A systematic review of commercial cognitive training devices: Implications for use in sport. *Frontiers in Psychology*, 9, 709. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00709>.
- Hoffmann, C. P., Filippeschi, A., Ruffaldi, E. & Bardy, B. G. (2014). Energy management using virtual reality improves 2000-m rowing performance. *Journal of Sports Sciences*, 32 (6), 501-509. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.835435>
- Huffman, K. & Hubbard, M. (1996). A Motion Based Virtual Reality Training Simulator for Bobsled Drivers. *The Engineering of Sport* (pp. 195-203). Rotterdam: Balkema.
- Intel Newsroom. (2019, January 1). 2019 CES: Intel and Alibaba Team on New AI-Powered 3D Athlete Tracking Technology Aimed at the Olympic Games Tokyo 2020. Download unter <https://newsroom.intel.com/news/intel-alibaba-team-ai-powered-3d-athlete-tracking-technology-olympic-games-tokyo-2020/#gs.vx3e0r>.
- Johnson, D. (1994). *Virtual Environments in Army Aviation Training. Proceedings of the 8th Annual Training Technology Technical Group Meeting* (pp. 47-63). Mountain View (CA).
- Körding, K. P. & Wolpert, D. M. (2006). Bayesian decision theory in sensorimotor control. *Trends in Cognitive Sciences*, 10 (7), 319-326. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.05.003>.
- Kozak, J. J., Hancock, P. A., Arthur, E. J. & Chrysler, S. T. (1993). Transfer of training from virtual reality. *Ergonomics*, 36 (7), 777-784.
- Lee, D. N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time to collision. *Perception*, 5 (4), 437-459. <https://doi.org/10.1068/p050437>.
- Mazyn, L. I. N., Lenoir, M., Montagne, G. & Savelsbergh, G. J. P. (2004). The contribution of stereo vision to one-handed catching. *Experimental Brain Research*, 157 (3), 383-390.
- Melo, M., Vasconcelos-Raposo, J. & Bessa, M. (2018). Presence and cybersickness in immersive content: Effects of content type, exposure time and gender. *Computers & Graphics*, 71, 159-165. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2017.11.007>.
- Miah, A. (2017). Sport 2.0: Transforming Sports for a Digital World. London: The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/7441.001.0001>.
- Miles, H. C., Pop, S. R., Watt, S. J., Lawrence, G. P. & John, N. W. (2012). A review of virtual environments for training in ball sports. *Computers & Graphics*, 36 (6), 714-726. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2012.04.007>.
- Miles, H. C., Pop, S. R., Watt, S. J., Lawrence, G. P., John, N. W., Perrot, V., ... Morgan, K. (2014). Efficacy of a Virtual Environment for Training Ball Passing Skills in Rugby. In M. L. Gavrilova, C. J. K. Tan, X. Mao & L. Hong (Eds.), *Transactions on Computational Science XXIII* (Vol. 8490, pp. 98-117). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-43790-2_6.
- Moskaliuk, J., Bertram, J., & Cress, U. (2013). Impact of virtual training environments on the acquisition and transfer of knowledge. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 16 (3), 210-214. <https://doi.org/10.1089/cyber.2012.0416>
- Murray, E. G., Neumann, D. L., Moffitt, R. L. & Thomas, P. R. (2016). The effects of the presence of others during a rowing exercise in a virtual reality environment. *Psychology of Sport and Exercise*, 22, 328-336. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2015.09.007>.
- Neumann, D. L., Moffitt, R. L., Thomas, P. R., Loveday, K., Watling, D. P., Lombard, C. L., ... Tremeer, M. A. (2018). A systematic review of the application of interactive virtual reality to sport. *Virtual Reality*, 22 (3), 183-198. <https://doi.org/10.1007/s10055-017-0320-5>.
- Petri, K., Bandow, N., Salb, S., Emmermacher, P., Masik, S., Liang, Z., ... Witte, K. (2017). Wie kann virtuelle Realität im Hochleistungssport genutzt werden? In I. Fichtner (Ed.), *Technologien im Leistungssport 2: Tagungsband zur 18. Frühjahrsschule am 13./14.4.2016 in Leipzig* (S. 45-56). Aachen: Meyer & Meyer.
- Petri, K., Emmermacher, P., Danneberg, M., Masik, S., Eckardt, F., Weichelt, S., ... Witte, K. (2019). Training using virtual reality improves response behavior in karate kumite. *Sports Engineering*, 22, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12283-019-0299-0>.
- Psotka, J. (1995). Immersive training systems: Virtual reality and education and training. *Instructional Science*, 23 (5-6), 405-431. <https://doi.org/10.1007/BF00896880>.
- Rauter, G., Sigrist, R., Koch, C., Crivelli, F., van Raaij, M., Riener, R. & Wolf, P. (2013). Transfer of complex skill learning from virtual to real rowing. *PLoS ONE*, 8 (12), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082145>.
- Rebenitsch, L. & Owen, C. (2016). Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtu-*

- al Reality, 20 (2), 101-125. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0285-9>.
- Regian, J. W., Shebilske, W. & Monk, J. (1992). A preliminary empirical evaluation of virtual reality as an instructional medium for visual-spatial tasks. *Journal of Communication*, 42 (4), 136-149.
- Regian, L. W., Shebilske, W. & Monk, J. (1993). *VR as a Training Tool: Transfer Effects*. Unpublished manuscript. Armstrong Laboratory, Brooks Air Force Base, Texas.
- Rempfler, G. S. (2015). *Entwicklung eines Bobsimulators* (Doctoral Thesis). ETH Zürich, Switzerland.
- Renner, R. S., Velichkovsky, B. M. & Helmert, J. R. (2013). The perception of egocentric distances in virtual environments – A review. *ACM Computing Surveys*, 46 (2), 1-40. <https://doi.org/10.1145/2543581.2543590>.
- Renshaw, I., Davids, K., Araújo, D., Lucas, A., Roberts, W. M., Newcombe, D. J. & Franks, B. (2019). Evaluating weaknesses of “perceptual-cognitive training” and “brain training” methods in sport: An ecological dynamics critique. *Frontiers in Psychology*, 9, 2468. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02468>.
- Rose, F. D., Attree, E. A., Brooks, B. M., Parslow, D. M., Penn, P. R. & Ambihapahan, N. (2000). Training in virtual environments: transfer to real world tasks and equivalence to real task training. *Ergonomics*, 43 (4), 494-511.
- Ruffaldi, E., Bardy, B., Gopher, D. & Bergamasco, M. (2011). Feedback, affordances, and accelerators for training sports in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 20 (1), 33-46. https://doi.org/10.1162/pres_a_00034.
- Ruffaldi, E. & Filippeschi, A. (2013). Structuring a virtual environment for sport training: A case study on rowing technique. *Robotics and Autonomous Systems*, 61 (4), 390-397. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2012.09.015>.
- Schuemie, M. J., van der Straaten, P., Krijn, M. & van der Mast, C. A. P. G. (2001). Research on presence in virtual reality: A survey. *CyberPsychology & Behavior*, 4 (2), 183-201. <https://doi.org/10.1089/109493101300117884>.
- Sigrist, R., Rauter, G., Marchal-Crespo, L., Riener, R. & Wolf, P. (2015). Sonification and haptic feedback in addition to visual feedback enhances complex motor task learning. *Experimental Brain Research*, 233 (3), 909-925. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-4167-7>.
- Slater, M., Perez-Marcos, D., Ehrsson, H. H. & Sanchez-Vives, M. V. (2008). Towards a digital body: The virtual arm illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2, 6. <https://doi.org/10.3389/neuro.09.006.2008>.
- Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M. V. & Blanke, O. (2010). First Person Experience of Body Transfer in Virtual Reality. *PLoS ONE*, 5 (5), e10564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010564>.
- Slater, M. & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (6), 603-616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>.
- Sorrentino, R., Levy, R., Katz, L. & Peng, X. (2005). Virtual visualization: preparation for the Olympic Games long-track speed skating. *International Journal of Computer Science in Sport*, 4 (1), 40-45.
- Stinson, C. & Bowman, D. A. (2014). Feasibility of training athletes for high-pressure situations using virtual reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 20 (4), 606-615. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2014.23>.
- Tirp, J., Steingröver, C., Wattie, N., Baker, J. & Schorer, J. (2015). Virtual realities as optimal learning environments in sport – A transfer study of virtual and real dart throwing. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 57 (1), 57-69.
- Todorov, E., Shadmehr, R. & Bizzi, E. (1997). Augmented feedback presented in a virtual environment accelerates learning of a difficult motor task. *Journal of Motor Behavior*, 29 (2), 147-158. <https://doi.org/10.1080/00222899709600829>.
- Varlet, M., Filippeschi, A., Ben-sadoun, G., Ratto, M., Marin, L., Ruffaldi, E. & Bardy, B. G. (2013). Virtual reality as a tool to learn interpersonal coordination: example of team rowing. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 22 (3), 202-215. https://doi.org/10.1162/PRES_a_00151.
- Vignais, N., Bideau, B., Craig, C., Brault, S., Multon, F., Delamarche, P. & Kulpa, R. (2009). Does the level of graphical detail of a virtual handball thrower influence a goalkeeper's motor response? *Journal of Sports Science and Medicine*, 8 (4), 501-508.
- Vignais, N., Kulpa, R., Brault, S., Presse, D. & Bideau, B. (2015). Which technology to investigate visual perception in sport: Video vs. virtual reality. *Human Movement Science*, 39, 12-26. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.10.006>.
- Waller, D., Hunt, E. & Knapp, D. (1998). The transfer of spatial knowledge in virtual environment training. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7 (2), 129-143. <https://doi.org/10.1162/105474698565631>.
- Wellner, M., Sigrist, R., von Zitzewitz, J., Wolf, P. & Riener, R. (2010). Does a virtual audience influence rowing? In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 224 (1), 117-128. <https://doi.org/10.1243/17543371JSET33>.
- Watson, G., Brault, S., Kulpa, R., Bideau, B., Butterfield, J. & Craig, C. (2011). Judging the ‘passability’ of dynamic gaps in a virtual rugby environment. *Human Movement Science*, 30 (5), 942-956. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.08.004>.
- Wilson, C. J. & Soranzo, A. (2015). The use of virtual reality in psychology: a case study in visual perception. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2015, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2015/151702>.
- Yang, U. & Kim, G. J. (2002). Implementation and evaluation of “just follow me”: An immersive, VR-based, motion-training system. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11 (3), 304-323. <https://doi.org/10.1162/105474602317473240>.
- Zaal, F. T. J. M. & Michaels, C. F. (2003). The information for catching fly balls: Judging and intercepting virtual balls in a CAVE. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29 (3), 537-555. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.29.3.537>.
- Zhang, L., Brunnett, G., Petri, K., Danneberg, M., Marsik, S., Bandow, N. & Witte, K. (2018). KarakTer: An autonomously interacting Karate Kumite character for VR-based training and research. *Computers & Graphics*, 72 (5118), 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2018.01.008>.

Korrespondenzadresse

Florian Reinbold, Universität Bern, Institut für Sportwissenschaft, Abteilung BT – Bewegung und Training, Bremgartenstraße 145, CH-3012 Bern
E-Mail: Florian.reinbold@ispw.unibe.ch

Forschungsbereich	Systemart	Sportpraktische Relevanz	Zielbereich	Besonderheiten/Einschränkungen	Ergebnisse / Schlussfolgerungen
Psychomotorik	CAVE-VR	Hoch	Anwendungsmöglichkeit von hoch-immersiver VR für das Stressbewältigungstraining	- Stereoskopische Darstellung - Display: 9,6 m x 3 m x 3 ms, Vier Seiten - Stereoskopische Darstellung	- Sig. Unterschiede der subjektiven Eindrücke - Trends in den Verhaltens- und Physiologischendaten
Bewegungsverhalten	Desktop vs. CAVE-VR	Hoch	Systemvergleiche (Video vs. VR) in Bezug auf das Reaktionsverhalten	- Polarisierete Brille - Nicht-autonomer Avatar	- Größere Anzahl richtiger Reaktionen in der VE, basiert auf dem Vorteil der 3D Darstellung
Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung	2D-Powerwall	Hoch	VR als valides Trainingssystem überprüfen	- Keine zeitliche Dimension (Reaktionszeit)	- Bewegungsverhalten unterscheidet sich nicht zwischen der realen und virtuellen Umwelt
Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung	2D-Powerwall	Hoch	Relevanz von visuellen Elementen in der VR überprüfen	- Stereoskopische Darstellung (60Hz) - Darstellungsbereich: 10 x 3 m frontal und Boden, zweimal 3 x 3 m Seitenwände - 80 % der Versuche führten zu einem RMSE kleiner als 30 mm entlang der 4-m-Trajektorie - 510 (88,7 %) richtige Entscheidungen - Sichtbereich (FOV): 1,8 m (31,5° pro Auge) - Latenzzeiten: < 30 ms	- Das System ermöglicht das Messen und Aufzeichnen kleinster Veränderungen des Wurfverhaltens - Die meisten der Leistungsvariablen tendierten dazu, sich während der Ausbildung in der VE näher an die Leistung der Experten anzunähern
Bewegungsverhalten / Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung / Systementwicklung	CAVE-VR	Hoch	Entwicklung eines reliablen virtuellen Freiwurfttrainingsystems im Basketball	- Bildauflösung: 800 x 600 Pixel - Monoskopische Darstellung - Bildbereich: 2,11 m x 1, 47m (60Hz) - Ballsimulation bis 1,7 m vor dem Abschlag - Methodik: Trefferdefinition; Händigkeit (= nur horizontale Bewegung); Nicht alle Gruppen gleich manipuliert	- Veränderungen der Trajektorie aufgrund von Seitwärtsdrall führte zu fehlerhaften Vorhersagen über den Ballauftrittpunkt
Bewegungsverhalten	HMD-VR	Hoch	Optische Variablen für die Einschätzung zukünftiger Ballauftrittorte untersuchen	- LCD-Bildschirm (83 cm; Sichtbereich: 37 - 107°; monoskopisch) - Rudergometer; Concept2 - Gewicht des Headsets - Weniger Bewegungsfreiheit - Methodik: Limitierte Anzahl Versuchsteilnehmer; Washout-Periode	- Training in einer VE kann dafür genutzt werden die echte Wettkampfleistung zu verbessern - Vorteile vor allem wenn VE geeignete Trainingsmethoden beinhaltet (z.B. adaptives Training) - VE kann genutzt werden um die Erfahrung von Fußballschiedsrichtern zu erhöhen da diese in der Lage sind die eigene Position zu bestimmen ohne den Gefahren der realen Welt ausgesetzt zu sein - Schnelleres Lernen - Positiver Transfer der Energieverwaltung auch zwei Monate nach der Lernperiode
Bewegungsverhalten	2D-Powerwall	Hoch	Transfermöglichkeit vom virtuellen auf das reale Schlagtraining im Baseball	- LCD-Bildschirm (83 cm; Sichtbereich: 37 - 107°; monoskopisch) - Rudergometer; Concept2 - Gewicht des Headsets - Weniger Bewegungsfreiheit - Methodik: Limitierte Anzahl Versuchsteilnehmer; Washout-Periode	- Training in einer VE kann dafür genutzt werden die echte Wettkampfleistung zu verbessern - Vorteile vor allem wenn VE geeignete Trainingsmethoden beinhaltet (z.B. adaptives Training) - VE kann genutzt werden um die Erfahrung von Fußballschiedsrichtern zu erhöhen da diese in der Lage sind die eigene Position zu bestimmen ohne den Gefahren der realen Welt ausgesetzt zu sein - Schnelleres Lernen - Positiver Transfer der Energieverwaltung auch zwei Monate nach der Lernperiode
Entscheidungsfindung / Systementwicklung	Desktop-VR - HMD-VR	Hoch	Entwicklung und Überprüfung einer hoch-immersiven VE für das Training von Fußballschiedsrichtern	- LCD-Bildschirm (83 cm; Sichtbereich: 37 - 107°; monoskopisch) - Rudergometer; Concept2 - Gewicht des Headsets - Weniger Bewegungsfreiheit - Methodik: Limitierte Anzahl Versuchsteilnehmer; Washout-Periode	- Training in einer VE kann dafür genutzt werden die echte Wettkampfleistung zu verbessern - Vorteile vor allem wenn VE geeignete Trainingsmethoden beinhaltet (z.B. adaptives Training) - VE kann genutzt werden um die Erfahrung von Fußballschiedsrichtern zu erhöhen da diese in der Lage sind die eigene Position zu bestimmen ohne den Gefahren der realen Welt ausgesetzt zu sein - Schnelleres Lernen - Positiver Transfer der Energieverwaltung auch zwei Monate nach der Lernperiode
Bewegungsverhalten	Desktop-VR	Hoch	Verwendung der VR für das Erlernen der Energieverwaltung im Rudern	- LCD-Bildschirm (83 cm; Sichtbereich: 37 - 107°; monoskopisch) - Rudergometer; Concept2 - Gewicht des Headsets - Weniger Bewegungsfreiheit - Methodik: Limitierte Anzahl Versuchsteilnehmer; Washout-Periode	- Training in einer VE kann dafür genutzt werden die echte Wettkampfleistung zu verbessern - Vorteile vor allem wenn VE geeignete Trainingsmethoden beinhaltet (z.B. adaptives Training) - VE kann genutzt werden um die Erfahrung von Fußballschiedsrichtern zu erhöhen da diese in der Lage sind die eigene Position zu bestimmen ohne den Gefahren der realen Welt ausgesetzt zu sein - Schnelleres Lernen - Positiver Transfer der Energieverwaltung auch zwei Monate nach der Lernperiode
Bewegungsverhalten	HMD-VR	Hoch	Hinweisreize für das Treffen eines Kopfballs finden	- LCD-Bildschirm (83 cm; Sichtbereich: 37 - 107°; monoskopisch) - Rudergometer; Concept2 - Gewicht des Headsets - Weniger Bewegungsfreiheit - Methodik: Limitierte Anzahl Versuchsteilnehmer; Washout-Periode	- Training in einer VE kann dafür genutzt werden die echte Wettkampfleistung zu verbessern - Vorteile vor allem wenn VE geeignete Trainingsmethoden beinhaltet (z.B. adaptives Training) - VE kann genutzt werden um die Erfahrung von Fußballschiedsrichtern zu erhöhen da diese in der Lage sind die eigene Position zu bestimmen ohne den Gefahren der realen Welt ausgesetzt zu sein - Schnelleres Lernen - Positiver Transfer der Energieverwaltung auch zwei Monate nach der Lernperiode
Bewegungsverhalten	HMD-VR	Hoch	Überprüfen, ob sportartspezifisches Reaktionstraining in einer immersiven VR das Reaktionsverhalten verbessert	- LCD-Bildschirm (83 cm; Sichtbereich: 37 - 107°; monoskopisch) - Rudergometer; Concept2 - Gewicht des Headsets - Weniger Bewegungsfreiheit - Methodik: Limitierte Anzahl Versuchsteilnehmer; Washout-Periode	- VR Training ist hilfreich um das Reaktionsverhalten von jungen KarateathletInnen zu verbessern
Bewegungsverhalten	CAVE-VR	Hoch	Transfermöglichkeiten von komplexen Bewegungen	- Voreingestellte Wasserhöhe - Energieübertragung über Ruder - Umwelteinflüsse nicht simuliert	- Training in einem Simulator verbessert die Fertigkeiten in einem vergleichbaren Maß gegenüber dem Training in der realen Umwelt - Transfer auf die realen Umwelt besteht
Bewegungsverhalten	HMD-VR	Hoch	Transfermöglichkeiten von einfach sensorischen Aufgaben	- Voreingestellte Wasserhöhe - Energieübertragung über Ruder - Umwelteinflüsse nicht simuliert	- Transfer auf die realen Umwelt besteht
Bewegungsverhalten	Desktop-VR	Hoch	Herausforderungen für das virtuelle Training im Rudern ermitteln	- LCD-Bildschirm	- Probanden bestätigen realistisches Simulatorverhalten - Virtuelles Training führte zu einer gleichen oder sogar besseren Leistung in der realen Welt - Training mit unterschiedlichen Feedbackformen, vermittelt über VR, kann effektiv sein
Bewegungsverhalten	Powerwall-SIM	Niedrig	Herausarbeiten von strukturell wichtigen Elementen für das Entwickeln von passenden virtuellen Trainingswelten	- LCD-Bildschirm	- Training mit unterschiedlichen Feedbackformen, vermittelt über VR, kann effektiv sein
Bewegungsverhalten	Desktop-VR	Hoch	VR für das Bewegungsvorstellungstraining überprüfen	- Kein Kontrollelexperiment durchgeführt - Unsicherheit darüber, ob physiologische Veränderungen einzig durch Angst erzeugt	- Transfer von der realen in die virtuelle Welt und umgekehrt sollte vorsichtig durchgeführt werden - VE ermöglichte eine bessere Fokussierung auf die Wettkampfleistung - Auf den Sport bezogene VR-Systeme können eine erhöhte Furcht bewirken
Psychomotorik	CAVE-VR	Hoch	VR für das sportpsychologische Training überprüfen	- Monoskopische Darstellung - Unterschiedliche Bewegungsanforderungen in Bedingungen - Sehr eingeschränktes VR Setup - Keine Tiefenwahrnehmung	- Reale Wurfgruppe besser als Kontrollgruppe - Wurfgenauigkeit war in virtueller Wurfgruppe besser - Quiet Eye Dauer in der virtuellen Wurfgruppe länger und verstärkt
Bewegungsverhalten	2D-Powerwall	Niedrig	Transfer zwischen virtuellen und realen Lernwelten untersuchen	- Feedback nur über Trajektorie - LCD-Bildschirm	- VE Training führte zu sig. besseren Leistungen als echtes Training oder Coaching
Bewegungsverhalten	Desktop-VR	Hoch	Erweiterte Feedback und motorisches Lernen	- LCD-Bildschirm	- VE Training führte zu sig. besseren Leistungen als echtes Training oder Coaching
Bewegungsverhalten	Desktop-VR	Hoch	VR als eine Werkzeug zum Erlernen von interpersoneller Koordination	- 3-Bewegungserfassung (100 Hz) - Latenzzeiten: 11-29 ms	- Lernen nachgewiesen und verbessert - Transfer der Leistung möglich
Bewegungsverhalten	3D-Powerwall	Hoch	Überprüfen ob grafische Details das Bewegungsverhalten von Torhütern beeinflusst	- Ovale Projektionsfläche (Radius: 3,8 m, Höhe: 2,38 m) - Sichtbereich (FOV): 135°	- Unterschiedliche Informationsverfügbarkeit bezogen auf die Darstellung führt dazu dass der Torhüter sich unterschiedliche motorische Strategien aneignet
Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung	3D-Powerwall	Hoch	Den Einflussgrad der Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung auf die Leistung prüfen	- Ovale Projektionsfläche (Radius: 3,8 m, Höhe: 2,38 m) - Sichtbereich (FOV): 135° - Ovale Projektionsfläche (Radius: 3,8 m, Höhe: 2,38 m) - Sichtbereich (FOV): 135° - Active Shutterbrille (120 Hz) - 3D-Bewegungserfassung - Latenzzeiten: <20 ms delay - Videoclip (25 Hz)	- Prozensatz richtiger Reaktionen war in der motorischen Bedingung größer - Radialer Fehler war in der motorischen Bedingung kleiner
Bewegungsverhalten / Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung	2D- & 3D-Powerwall	Hoch	Bestimmen welche der Technologien (Video vs. VR) für die visuelle Informationsaufnahme in einer Sportsituation zu bevorzugen ist	- Videoclip (25 Hz)	- VR effektiver und passender als Video - Kurzes VE Training nicht effektiver als Training mit der Karte oder Bildschirmtraining - Längeres VE Training gleicht einem realen Training - Geschlechterunterschiede (männliche Teilnehmer besser)
Bewegungsverhalten	Desktop-VR - HMD-VR	Hoch	Transfer von räumlichem Wissen überprüfen	- Sichtbereich (FOV): 45° - Stereoskopische Darstellung - Entkoppelte Wahrnehmung-Handlung (Knopf drücken) - Vereinfachte Bewegungsaufgabe - Limitiertes Bewegungsverhalten des Boots (z. B. Rotation) - Geräuschprobleme - Unrealistische Haptik - Unrealistisches Publikum (schnelles Erscheinen, Animation) - Monoskopische Darstellung	- Tau-basierter Ansatz kann 82% der Varianz in den Daten erklären
Bewegungsverhalten	HMD-VR	Hoch	Nachweise von Affordanzen als Richtlinie in der Wahrnehmungs-Handlungs-Forschung finden	- Limitiertes Bewegungsverhalten des Boots (z. B. Rotation) - Geräuschprobleme - Unrealistische Haptik - Unrealistisches Publikum (schnelles Erscheinen, Animation) - Monoskopische Darstellung	- Tau-basierter Ansatz kann 82% der Varianz in den Daten erklären
Bewegungsverhalten	CAVE-VR + Rudersimulator	Hoch	Den Einfluss von virtuellem Publikum auf die Ruderleistung überprüfen	- Enger vertikaler Sichtbereich (38°) - Enger Raum - CAVE Artefakte (keine Decke, Darstellungsverzögerungen [80-120 ms]) - Kein Feedback	- Kein reliabler Effekt bei allen Publikumstypen - Simulator führt zu Immersion der Teilnehmenden
Bewegungsverhalten	HMD-VR	Niedrig	Motorisches Lernen	- Enger vertikaler Sichtbereich (38°) - Enger Raum - CAVE Artefakte (keine Decke, Darstellungsverzögerungen [80-120 ms]) - Kein Feedback	- Transfer nur bei langsamen Bewegungen
Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung	CAVE-VR	Moderat	Hinweisreize für das Fangen von Bällen untersuchen	- Stereoskopische Darstellung - Aktive Shutterbrille - Latenzzeiten: ca. 90 ms (Bewegungserzeugung < 2,5 ms; Entscheidungsfindung: ca. 0 ms) - Genauigkeit: ca. 2 cm (X-Y-Ebene) - Keine volle Interaktionsmöglichkeiten (keine Angriffserkennung) - Probleme in der Avatarsausrichtung	- Fänger konnten virtuelle Bälle erfolgreich fangen - Die finale Entscheidung hängt damit zusammen, die Änderungsrate der Tangente des Höhenwinkels konstant zu halten
Bewegungsverhalten / Systementwicklung	HMD-VR	Hoch	Entwicklung eines autonomen Charakters für das VR-basierte Training und die Forschung	- Stereoskopische Darstellung - Aktive Shutterbrille - Latenzzeiten: ca. 90 ms (Bewegungserzeugung < 2,5 ms; Entscheidungsfindung: ca. 0 ms) - Genauigkeit: ca. 2 cm (X-Y-Ebene) - Keine volle Interaktionsmöglichkeiten (keine Angriffserkennung) - Probleme in der Avatarsausrichtung	- Evaluation zeigte Akzeptanz der Teilnehmenden - Experten bewerteten das System als hilfreich

Tabelle A: Übersichtstabelle mit einer allgemeinen Zusammenfassung der hier im wesentlichen behandelten Angaben aus den Forschungsarbeiten. Die Einschätzung der sportpraktischen Relevanz erfolgte subjektiv, jedoch unter Berücksichtigung sportwissenschaftlicher und sportpraktischer Erfahrungen des Autors.