
**Inauguraldissertation
zur Erlangung des akademischen Doktorgrades (Dr. phil.)
im Fach Psychologie
an der Fakultät für Verhaltens- und
Empirische Kulturwissenschaften
der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**

Titel der publikationsbasierten Dissertation
*Der Einfluss der Videogeschwindigkeit auf die Beurteilung sportlicher
Handlungen*

vorgelegt von
Lisa-Marie Schütz

Jahr der Einreichung
2022

Dekan: Prof. Dr. Guido Sprenger
Berater: Prof. Dr. Henning Plessner

D a n k s a g u n g

Wenn ich auf die letzten vier Jahre zurückblicke wird mir klar, dass nicht nur ich an der Entstehung dieser Dissertation beteiligt war, sondern viele weitere Personen, die mich auf meinem so lehrreichen Weg begleitet haben. An dieser Stelle möchte ich mich bei ihnen bedanken.

Dass ich für meine Promotion an das Institut für Sport und Sportwissenschaft (ISSW) der Universität Heidelberg zurückkehren durfte hat mich wahnsinnig gefreut. Danke, dass ich Teil des ISSW sein darf. Danke an ein wunderbares Kollegium, durch welches ich stets wertschätzende Unterstützung erfahren habe.

Ein besonderer Dank geht an meinen Betreuer Prof. Dr. Henning Plessner. Deine Begeisterung für den Sport und sportpsychologische Phänomene hat mich schon damals, während meines Bachelorstudiums in der Vorlesung „Sportpsychologie“, fasziniert. Danke, dass du diese Begeisterung an mich weitergegeben und auch während der Betreuung meiner Dissertation stets hochgehalten hast. Danke, für die vielen Kaffeepausen, Kuchen und Sporteinheiten bei denen du mir stets Rat und Unterstützung gegeben hast. Danke für dein Vertrauen in meine Fähigkeiten, auch wenn ich gezweifelt habe.

Vielen Dank auch an Dr. Geoffrey Schweizer. Du hast mich durch die Hochs und Tiefs des wissenschaftlichen Arbeitens begleitet. Danke für die wunderbaren Gespräche, deine Unterstützung bei Review Prozessen und dafür, dass wir uns immer auf Augenhöhe austauschen konnten.

Danke an Prof. Dr. Tilmann Betsch von der Universität Erfurt für die tollen Diskussionen und den wertschätzenden Austausch. Unsere gemeinsamen Projekte haben mir viel Freude bereitet.

Danke Prof. Dr. Kaspar Schattke der Université du Québec à Montréal, dass du mein Forschungspraktikum so lehrreich gemacht hast, mir erste Einblicke in das wissenschaftliche

Arbeiten ermöglicht hast und mich auf meinem ersten internationalen Kongress unter deine Fittiche genommen hast. Ebenso danke ich Prof. Dr. Oliver Schultheiss der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Durch Ihre wertschätzende Unterstützung bei der Veröffentlichung meiner Masterarbeit und der Vorstellung dieser auf meinem ersten internationalen Kongress haben Sie meine Freude am wissenschaftlichen Arbeiten geweckt.

Ein besonderer Dank geht an Laura, Yannick, und Florian für die wertvollen Kommentare und Hinweise zur Finalisierung meiner Dissertation, aber auch an alle Doktorandinnen und Doktoranden des ISSW für die emotionale Unterstützung, die zahlreichen Unterhaltungen und Diskussionen und den Austausch – es hat mir sehr geholfen Menschen um mich zu haben, die eine ähnliche Lebensphase durchlaufen.

Vielen lieben Dank auch an Frau Dr. Astrid Wind für Ihre engagierte Arbeit. Danke, dass ich Teil der Heidelberger Graduiertenschule für Geistes- und Sozialwissenschaften (HGGS) sein durfte. Der interdisziplinäre Austausch hat meine Arbeit sehr bereichert.

Ein besonderer Danke geht auch an das Gleichstellungsbüro der Universität Heidelberg, insbesondere an Frau Dr. Agnes Speck für die tolle Unterstützung und Finanzierung von wissenschaftlichen Hilfskräften. Danke auch an Dr. Anne Schlüter und den gesamten Förderausschuss des Deutschen Akademikerinnen Bund (DAB) für die finanzielle Unterstützung während des Kongresses in Padua.

Abschließend gilt mein besonderer Dank meinem Mann Christian. Danke für deine unermüdliche Unterstützung, deine inspirierenden Anregungen und dafür, dass du immer an mich geglaubt hast.

Zusammenfassung

Der Einsatz von Videotechnik ist im Sport weit verbreitet. Das übergeordnete Ziel ist es, den Sport fairer zu machen und genauere Entscheidungen treffen zu können. Hierfür werden Szenen in Zeitlupe betrachtet, da nach allgemeiner Auffassung die Prüfung eines Vorfalls in Zeitlupe mehr Informationen zeigt, wodurch sich die Genauigkeit und damit die Qualität des Urteils erhöht. Bisherige Studien deuten darauf hin, dass das Verwenden von Zeitlupenvideos dazu führen kann, dass Tacklings von Spielern¹ der National Football League als absichtlicher wahrgenommen (Caruso et al., 2016) oder Fouls im Fußball härter bestraft (Spitz et al., 2018) werden. Caruso et al. (2016) nahmen an, dass das Verwenden von Zeitlupenvideos die Zeitwahrnehmung verzerrt, die Dynamik einer Situation verändert und zu einer gesteigerten Intentionsattribution führt.

In dieser Dissertation wird diese Annahme systematisch und experimentell untersucht, indem in einem ersten Schritt Zeiturteile in Zeitlupenvideos mit der objektiven gemessenen Zeit verglichen werden, um die postulierte Zeitverzerrung zu überprüfen. In drei Studien ($N_1 = 103$; $N_2 = 100$; $N_3 = 106$) wurde untersucht, ob Videogeschwindigkeit die subjektiv eingeschätzte Dauer sportlicher Handlungen verändern kann (Manuskript 1). Die Ergebnisse zeigten, dass die Dauer einer sportlichen Handlung exakter eingeschätzt wurde, wenn sie in Echtzeit, verglichen mit in Zeitlupe gezeigt wurde. Manuskript 1 untersuchte die Zeiturteile in Ruhe, ohne körperliche Belastung. Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf dem Spielfeld sind jedoch körperlich aktiv. Daher wurde, im Sinne der ökologischen Validität, in einer weiteren Studie (Manuskript 2) der Einfluss von körperlicher Belastung auf Zeiturteile untersucht ($N = 86$). Die Ergebnisse aus Manuskript 1 wurden repliziert. Die Dauer der sportlichen Handlung wurde in Zeitlupe länger und weniger exakt eingeschätzt. Es konnte

¹ An dieser Stelle wurde bewusst nur die maskuline Schreibweise verwendet, da die genannten Videos nur männliche Spieler zeigten. Wird im weiteren Verlauf der Arbeit nur die maskuline Schreibweise verwendet wurden nur männliche Versuchspersonen untersucht.

jedoch kein genereller Effekt der körperlichen Belastung auf Zeiturteile gefunden werden.

Versuchspersonen, die die körperliche Belastung als schwer wahrnahmen, schätzten die Zeit signifikant kürzer und exakter als Versuchspersonen, die die körperliche Belastung als moderater wahrnahmen. Die Ergebnisse aus Manuskript 1 und 2 zeigten, dass das Verwenden von Zeitlupenvideos dazu führt, dass die Dauer einer Handlung überschätzt wird.

In einem weiteren Schritt wurde der postulierte Zusammenhang von Zeitschätzung und Intentionsattribution geprüft. In vier Studien (Manuskript 3) wurde untersucht, ob die verlängerte Zeitschätzung dazu führt, dass Handlungen als intentionaler beurteilt werden. Versuchspersonen ($N_1 = 98$, $N_2 = 81$, $N_3 = 105$, $N_4 = 63$) sahen Videomaterial in unterschiedlichen Videogeschwindigkeiten in denen unsystematische und irrelevante Hinweisreize eliminiert (Studie 1) und theoretisch relevante Hinweisreize (Zuschauende in Studie 2, Zuschauerlärm in Studie 3) systematisch integriert wurden. In Studie 4 sahen die Versuchspersonen das Videomaterial unter körperlicher Belastung. Die Ergebnisse zeigten Haupteffekte der Videogeschwindigkeit auf die Zeitschätzung, sowie auf die Intentionsattribution (Studie 2-4). Mit abnehmender Videogeschwindigkeit wurden die Handlungen als länger geschätzt und als intentionaler beurteilt.

Die experimentellen Untersuchungen zeigen, dass das Verwenden von Zeitlupe bei Sportentscheidungen nicht unter allen Umständen sinnvoll ist – vor allem nicht, wenn die geschätzte Dauer einer Handlung als Grundlage für eine akkurate Situationseinschätzung und daraus resultierende Entscheidungen dient. Die Ergebnisse der durchgeführten Studien haben sich mit den kognitiven Prozessen wie der Wahrnehmung von Zeit und Intention, sowie deren Auswirkung auf das menschliche Urteilen und Entscheiden auseinandergesetzt. Die gefundenen Ergebnisse sollten in der Praxis berücksichtigt werden, um Wahrnehmungsverzerrungen zu vermeiden und so den Einsatz von Videomaterial im Sport weiter zu optimieren – um den Sport schlussendlich fairer zu machen.

Abstract

Professional sports keep on evolving with the implementation of new technological advances. One prime example that has received much attention in the last few years is the use of video technology. Specifically, the aim of video footage is to make sports fairer by enabling referees to make more accurate decisions in crucial moments of the game. To this end, situations can be replayed in slow motion, as it is generally believed that reviewing an incident in slow motion shows more information, increases the accuracy and thus, the quality of the corresponding judgment. However, previous studies suggest that using video footage may also distort the perceptual accuracy of referees. Slow motion replays lead to tackles being perceived as more intentional in the National Football League (Caruso et al., 2016) or to fouls being penalized more harshly in soccer (Spitz et al., 2018). According to the authors, slow-motion replays influence time perception, thus change the dynamics of a situation, and lead to changes in intention attribution.

This dissertation provides an empirical foundation to this assumption, by examining time estimation in slow-motion replays compared to the objectively measured time to verify the postulated time distortion. The first three studies ($N_1 = 103$; $N_2 = 100$; $N_3 = 106$) investigated whether video speed can alter the subjectively assessed duration of athletic actions (Manuscript 1). Here we focused on the difference in the estimation of duration in slow-motion and real-time videos compared to the objectively measured time of a depicted athletic action. The results showed that the duration of an athletic action was estimated shorter and more accurately when shown in real time compared to slow motion, which was associated with an overestimation of the duration. Given that the decision-making process of the referees is not only influenced by the video material itself, we also examined the effect under more ecologically valid conditions. Previous studies on the use of video footage have examined time or intention perception at rest without physical load. Referees on the field are also

physically active. Therefore, another study (Manuscript 2) examined the influence of physical exertion on time estimation ($N = 86$). While the main results from Manuscript 1 were replicated (i.e., the time estimation effect), no general effect of physical load on duration estimation was found. Participants perceiving the physical load as high estimated time significantly shorter and more accurately than participants perceiving the physical load as moderate. The results from Manuscript 1 and 2 showed that using slow-motion videos lead to overestimating time, experimentally confirming the postulated bias in time perception by Caruso et al. (2016). As a logical second step, the postulated relationship between duration estimation and intention attribution was to be investigated. Four studies (Manuscript 3) examined whether the demonstrated prolonged estimation of time leads to actions being perceived as more intentional. Participants ($N_1 = 98, N_2 = 81, N_3 = 105, N_4 = 63$) viewed four different videos with differing speed. To implement an additional layer of ecological validity, the video material was modified to include bystanders (Study 2) and crowd noise (Study 3). In Study 4, participants watched the video material under physical load. Results showed a main effect of video speed on time estimation as well as on intention estimation (Studies 2-4). The slower the videos, the more intention was attributed to the depicted action.

The presented experimental studies show that slow motion video replays should be implemented with caution - especially when the estimated duration of an action and confound biases influence the situation assessment and decision-making of referees. The results of the studies conducted here have looked at cognitive processes such as the perception of time and intention, and their impact on human judgment and decision making. The results found should be considered in practice to avoid perception bias and thus further optimize the use of video footage in sports - to ultimately make sport fairer.

Liste der eingereichten wissenschaftlichen Veröffentlichungen

Manuskript 1

Schütz, L.-M., Schweizer, G., & Plessner, H. (2021). The impact of video speed on the estimation of time duration in sport. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 43, 419-429. <https://doi.org/10.1123/jsep.2020-0248>

Manuskript 2

Schütz, L.-M., Betsch, T., Plessner, H., & Schweizer, G. (2022). The impact of physical load on duration estimation in sport [Minor Revision, resubmitted]. *Psychology of Sport and Exercise*.

Manuskript 3

Schütz, L.-M., Betsch, T., & Plessner, H. (2022). Duration estimation and intention attribution. [Under Review]. *Journal of Experimental Psychology: Applied*

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| DANKSAGUNG | I |
| ZUSAMMENFASSUNG..... | III |
| ABSTRACT | V |
| LISTE DER EINGEREICHTEN WISSENSCHAFTLICHEN VERÖFFENTLICHUNGEN | VII |
| INHALTSVERZEICHNIS | VIII |
| 1. EINFÜHRUNG UND RELEVANZ | 1 |
| 2. THEORIE | 6 |
| SCHIEDSRICHTERENTSCHEIDUNGEN | 6 |
| VIDEOSCHIEDSRICHTER..... | 10 |
| PSYCHOLOGISCHE PROZESSE | 13 |
| <i>Wahrnehmung</i> | <i>13</i> |
| <i>Wahrnehmung von Zeit und Intention</i> | <i>14</i> |
| <i>Urteilen und Entscheiden</i> | <i>17</i> |
| <i>Game Management.....</i> | <i>18</i> |
| ZUSAMMENFASSUNG UND FRAGESTELLUNG | 20 |
| 3. ZEITURTEILE..... | 23 |
| MANUSKRIFT 1: ZEITURTEILE UNTER ZEITLUPE | 23 |
| 4. ZEITURTEILE UNTER KÖRPERLICHER BELASTUNG..... | 28 |
| MANUSKRIFT 2: ZEITURTEILE UND DER EINFLUSS KÖRPERLICHER BELASTUNG | 28 |
| 5. ZEITURTEILE UND INTENTIONSATTRIBUTION..... | 33 |
| MANUSKRIFT 3: INTENTIONSATTRIBUTION..... | 33 |
| 6. DISKUSSION | 41 |
| ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE | 41 |

| | |
|--|-----|
| BEITRAG ZUR THEORIE | 42 |
| BEITRAG FÜR DIE PRAXIS | 44 |
| LIMITATIONEN UND AUSBLICK | 48 |
| LITERATUR | 51 |
| ANHANG | 64 |
| ANHANG A1 – MANUSKRIFT 1..... | 65 |
| ANHANG A2 – MANUSKRIFT 2..... | 98 |
| ANHANG A3 – MANUSKRIFT 3..... | 124 |
| ERKLÄRUNG GEMÄß § 8 ABS. (1) C) UND D) DER PROMOTIONSORDNUNG DER FAKULTÄT | 156 |

1. Einführung und Relevanz

Technische Hilfsmittel, wie beispielsweise der Videobeweis im Fußball, sind heutzutage feste Bestandteile des modernen Wettkampfsports. Doch technische Hilfsmittel sind keinesfalls eine Erfindung des 21. Jahrhunderts. Schon zur Zeit der industriellen Revolution wurden technische Hilfsmittel in sportlichen Wettbewerben zur konkreten Erfassung von Zeit und Distanz eingesetzt (Thomas et al., 1999). Technische Hilfsmittel waren am Anfang vor allem Stoppuhren zur Zeitmessung. Dadurch konnten Leistungen in Wettkämpfen an unterschiedlichen Orten und zu verschiedenen Zeiten miteinander verglichen und Rekorde erfasst werden. Die Entwicklung technischer Hilfsmittel und deren Weiterentwicklung waren danach fester Bestandteil des organisierten Wettkampfsports. In der Leichtathletik wurde beispielsweise die manuelle Stoppuhr inzwischen durch elektronische Zeitmesssysteme und Hochleistungskameras ersetzt. Im Schwimmen stoppen die Athletinnen und Athleten ihre Zeit durch ein Touchpad am Beckenrand (MacMahon et al., 2015). Die National Football League setzte bereits 1985 Videomaterial zur Unterstützung von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern ein. Im Rugby wurde 1995 erstmalig Videomaterial eingesetzt. Im Fußball wird der sogenannte Videobeweis seit der Saison 2017/2018 standardmäßig in der ersten deutschen Bundesliga eingesetzt. Der Videobeweis stellt eine Technologie dar, die es Schiedsrichterassistierenden ermöglicht, unklare Spielszenen mit Hilfe von offiziellen Videoaufzeichnungen erneut zu betrachten, um bestimmte Vorfälle während eines Spiels zu überprüfen. Anschließend können Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf dem Feld in ihrer Entscheidungsfindung beraten werden. Es handelt sich beim Videobeweis somit um Entscheidungen, die auf Basis von bewegten Videobildern² getroffen werden. Der Videobeweis soll die Entscheidungsfindung von Schiedsrichterinnen

²Andere technologische Hilfssysteme grenzen sich von der genannten Definition ab, wie z.B. das Hawk-Eye im Tennis oder Badminton. Dieses System zur Ballverfolgung verwendet verschiedene Kameraperspektiven um die Position des Balls zu berechnen und um eine 3D-Animation der Flugkurve des Balls darzustellen.

und Schiedsrichtern unterstützen. Im Fußball liegt die letztendliche Entscheidungsgewalt bisher weiterhin bei den Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern auf dem Feld.

Der Einsatz von Videomaterial wird in den verschiedenen Sportarten unterschiedlich gehandhabt. In Tabelle 1 wird zusammengefasst, in welchen Sportarten der Olympischen Spiele 2021 in Tokyo Videomaterial in Form von bewegten Bildern (keine Videoanimation), Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern mehr Informationen zur Entscheidungsfindung darbieten sollte. Unter anderem lässt sich aus Tabelle 1 ablesen, dass der Einsatz von Videomaterial im Sport auch außerhalb des Fußballs weit verbreitet ist. Die olympischen Sportarten unterscheiden sich allerdings deutlich in der Anwendung von Videomaterial. Im Fechten können Athletinnen und Athleten beispielsweise selbst eine Überprüfung durch Videoschiedsrichterinnen und Videoschiedsrichter einfordern. Im Baseball haben Videoschiedsrichterinnen und Videoschiedsrichter die letztendliche Entscheidungsgewalt, im Feldhockey hingegen die Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf dem Feld (Löw, 2022). Trotz aller Unterschiede der Anwendung wird mit dem Einsatz von Videomaterial ein übergeordnetes Ziel angestrebt. Ziel aller ist es, den Sport fairer zu machen und genauere Entscheidungen zu treffen. Im Deutschen Fußball Bund soll „[...] der Video-Assistent den Fußball ein Stück weit gerechter machen“ (DFB, 2017). Der Einsatz von Videomaterial soll die Korrektheit der Entscheidungen von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern im Sinne der Fairness sicherstellen und diese Entscheidungen transparenter machen. Die endgültige Entscheidung, die auf Basis des bereitgestellten Videomaterials getroffen wird, liegt im Fußball schlussendlich, trotz aller technischen Hilfsmittel, noch immer bei den Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern auf dem Feld (siehe Tabelle 1). Die technische Unterstützung durch bewegte Bilder dient somit nur als ein Hilfsmittel im menschlichen Entscheidungsprozess. Trotz aller Technik, bleibt ein menschlicher Bestandteil im Entscheidungsprozess bestehen.

Tabelle 1: Olympische Sportarten und deren Anwendung von Videoschiedsrichterinnen und Videoschiedsrichtern.

| Sportart | Initiator | Entscheidungsgewalt | Def. Situation | Mehrfach | Zeitlupe | Zeitl. Vorgabe |
|--------------------------|---|--|----------------|------------|----------|----------------|
| Baseball | Trainer, Hauptschiedsrichter | Videoschiedsrichter | ✓ | ✓ | ✓ | max. 2 Min |
| Feldhockey | Spieler, Feldschiedsrichter | Feldschiedsrichter | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Fußball | Schiedsrichter | Schiedsrichter | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Handball | Schiedsrichter, IHF Offizieller | Schiedsrichter | ✓ | ✓ | ✓ | |
| 7er Rugby | Schiedsrichter | Schiedsrichter | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Beachvolleyball | Schiedsrichter, Spieler | Videoschiedsrichter | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Volleyball | Schiedsrichter, Trainer | Videoschiedsrichter | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Wasserball | Schiedsrichter | Schiedsrichter | x | max. 4 mal | ✓ | |
| Fechten | Schiedsrichter, Videoschiedsrichter, Athlet | Schiedsrichter | x | ✓ | ✓ | |
| Judo | Schiedsrichter, Videoschiedsrichter | Videoschiedsrichter | x | ✓ | ✓ | |
| Kumite | Trainer | Videoschiedsrichter | x | ✓ | ✓ | |
| Ringen | Trainer | Schiedsrichter | x | ✓ | ✓ | |
| Taekwondo | Trainer, Punktrichter | Videoschiedsrichter | x | ✓ | ✓ | max. 30 Sek. |
| Kanuslalom | Videoschiedsrichter | Hauptschiedsrichter | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Leichtathletik | Videoschiedsrichter, Schiedsrichter, Trainer / Athlet | Videoschiedsrichter, Schiedsrichter | x | ✓ | ✓ | |
| Bahnradfahren | Videoschiedsrichter | Videoschiedsrichter | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Straßenradfahren | Videoschiedsrichter | Videoschiedsrichter | x | ✓ | ✓ | |
| Schwimmen | Schiedsrichter, Videoschiedsrichter | Videoschiedsrichter | x | ✓ | ✓ | |
| Synchronschwimmen | Schiedsrichter | Schiedsrichter | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Gerätturnen | Kampfrichter, Trainer | Kampfrichter | ✓ | ✓ | ✓ | |

Anmerkung. Übersicht aller Sportarten der Olympischen Spiele 2021 in Tokyo, die Videoschiedsrichterinnen und Videoschiedsrichtern einsetzen (Löw, 2022).

Aus psychologischer Sicht ist daher nicht die Technik oder Methodik in der Anwendung von Videomaterial allein entscheidend. Vielmehr muss der dadurch veränderte Prozess der menschlichen Entscheidungsfindung genauer betrachtet werden.

Technische Hilfsmittel dienen lediglich dazu, den menschlichen Urteilsprozess mit zusätzlichen Informationen, als die, die Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf dem Spielfeld selbstständig wahrnehmen und verarbeiten, zu ergänzen. Die Entscheidung an sich wird den Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern (bisher) nicht abgenommen. Besonders in mehrdeutigen dynamischen Spielsituationen (z.B. Foulspiel), in denen kein objektives Urteil (wie beispielsweise Touchdown, Abseits) möglich ist, wird derzeit diskutiert, welchen Mehrwert der Einsatz von Videomaterial für eine objektive, eindeutige Entscheidung bringt (MacMahon et al., 2015; Spitz et al., 2020). Bisher gibt es nur wenige wissenschaftliche Studien, die sich mit der Fairness des Sports und Videomaterial zur Entscheidungsunterstützung auseinandergesetzt haben. Spitz et al. (2020) untersuchten in ihrer Studie den Einfluss des Video-Assistent-Referee (VAR) auf die Entscheidungsgenauigkeit von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern im Fußball. Anhand von Daten aus 2195 Spielen konnten sie zeigen, dass die Entscheidungsgenauigkeit mit Hilfe des VAR von 92.1 % auf 98.3% gesteigert werden konnte. Es zeigte sich jedoch auch, dass 638 Situationen von 9732 überprüften Spielszenen aus dem „Graubereich“ keiner eindeutig richtigen oder falschen Entscheidung zuzuordnen waren.

Aus der bisherigen Literatur stellt sich nicht nur die Frage, ob der Einsatz von mehr Technik automatisch zu besseren Entscheidungen führt, sondern auch, wie genau das die Technik – in diesem Fall das Videomaterial – angewendet werden soll, damit es dem Sport nachhaltig dient. Ein Beispiel für das „Wie“ stellt die Zeitlupenfunktion dar. Diese scheint auf den ersten Blick einen der größten Vorteile von Videomaterial darzustellen, da die fragliche Szene noch einmal in verminderter Geschwindigkeit betrachtet werden kann und somit

bestimmte Details vermeintlich besser erkannt werden können. Einige Studien kommen zu dem Ergebnis, dass Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter von Darbietungen in Zeitlupe, Mehrfachbetrachtungen oder anderen Kameraperspektiven profitieren (Spitz et al., 2017). Andere Studien hingegen haben die Frage aufgeworfen, ob die Beurteilung einer Situation in Zeitlupe nicht verzerrt ausfällt, da die zeitliche Dynamik einer Situation verändert scheint. So werden Foulspiele etwa nach einer Betrachtung in Zeitlupe härter bestraft, weil die Aktion für die betrachtende Person durchdachter, aggressiver und absichtlicher erscheint (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018).

Ziel des Einsatzes von technischen Hilfsmitteln wie dem Videomaterial (z.B. Videobeweis im Fußball) ist es, den Sport fairer zu machen. Doch wird der Videobeweis diesem ambitionierten Ziel gerecht? Gelingt es durch den Videobeweis Entscheidungen „besser“ zu machen? In der Praxis ist man sich der Beantwortung dieser Frage bereits sicher. Der DFB-Videochef, Jochen Drees, hat seine Entscheidung hierzu bereits getroffen: „[...] Dadurch lässt sich erneut zweifelsfrei belegen, dass der Fußball in der Bundesliga durch die Arbeit der Video-Assistenten gerechter und fairer geworden ist“ (DFB, 2019). Lässt sich die Zielstellung des Videobeweises und die Aussage aus der Praxis auch wissenschaftlich belegen?

Die vorliegende Dissertation hat zum Ziel, diese Aussage wissenschaftlich zu hinterfragen und experimentell zu überprüfen. In zehn empirischen Studien wurde daher untersucht, inwiefern das Verwenden von Videomaterial mit unterschiedlichen Videogeschwindigkeiten die Wahrnehmung des Sportgeschehens und darauffolgende Entscheidungen beeinflusst.

2. Theorie

Im vorherigen Kapitel wurde bereits dargestellt, dass bestimmte Eigenschaften des verwendeten Videomaterials den Entscheidungsprozess von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern beeinflussen können. Um diese Beeinflussung besser zu verstehen, müssen die zugrundeliegenden psychologischen Prozesse genauer betrachtet werden. Im Folgenden werden daher Anforderungen und Aufgaben sowie grundlegende Befunde und Modelle von Schiedsrichterinnen- und Schiedsrichterentscheidungen und deren zugrundeliegende Wahrnehmungs-, Urteils- und Entscheidungsprozesse aufgezeigt. Zudem werden die bisherigen Befunde zu der Verwendung von Videomaterial im Sport ausführlicher dargelegt.

Schiedsrichterentscheidungen

An Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter beziehungsweise Kampfrichterinnen und Kampfrichter verschiedener Sportarten werden unterschiedliche Anforderungen gestellt (Plessner & MacMahon, 2013). Schon in Tabelle 1 lässt sich erkennen, dass unterschiedliche Auslegungen des Regelwerks zu unterschiedlichen Handhabungen und Verantwortlichkeiten bei Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern in der Verwendung von Videomaterial führen (Löw, 2022). Trotz aller Unterschiede ist die Aufgabe aller, das Spiel beziehungsweise den Wettkampf zu überwachen. Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter haben die Aufgabe, auf dem Platz unparteiisch zu sein. Ihre Leistung wird durch physische und wahrnehmungsbezogene Faktoren beeinflusst (Raab & Helsen, 2015). Diese Aufgabe fordert Aufmerksamkeit und Konzentration, das so genannte Monitoring. Zusätzlich müssen Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter vor und nach der Entscheidungsfindung mit Athletinnen und Athleten sowie anderen Offiziellen kommunizieren. Daraus resultieren verschiedene Anforderungen (Abbildung 1), die sich aus den unterschiedlichen Gegebenheiten und Regelwerken der Sportarten ergeben. Diese Anforderungen variieren je nach Sportart (Paulsen, 2021).

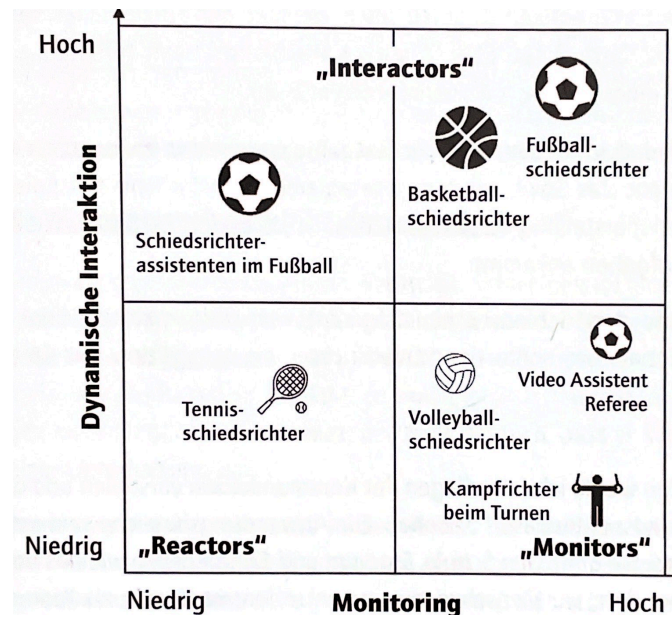


Abbildung 1. Aufgaben von Schiedsrichtern (modifiziert nach Plessner & MacMahon; aus Paulsen, 2021, S. 65).

Im Tennis beispielsweise reagieren Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf das Geschehene, anstatt Handlungen zu antizipieren. Im Volleyball werden mehrere Athletinnen und Athleten gleichzeitig überwacht. Hier befinden sich Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter nicht auf dem Spielfeld. Im Fußball oder Basketball überwachen Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter permanent eine Vielzahl an Spielerinnen und Spielern auf dem Feld und interagieren zusätzlich mit ihnen (Paulsen, 2021). Diese sehr dynamischen Interaktionen sind zusätzlich durch viele Entscheidungen in einem Spiel gekennzeichnet (Helsen & Bultynck, 2004). Hierbei bleiben nur wenige Sekunden zur Entscheidungsfindung (Raab et al., 2020). Diese unter Zeitdruck getroffenen Entscheidungen haben oftmals starke Auswirkungen. So kann eine Entscheidung gegen Ende des Spiels den Klassenerhalt oder beispielsweise den Ausgang einer Weltmeisterschaft bestimmen (z.B. Elfmeter, Platzverweis). Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern wird, bezogen auf das Wahrnehmen und Beurteilen von Zweikämpfen, eine hohe Verantwortung zuteil. Die Verantwortung, aber auch die möglichen Konsequenzen, beeinflussen das Verhalten von Schiedsrichtinnen und Schiedsrichtern. Mit ihren Entscheidungen müssen sie nicht nur dem Regelwerk gerecht

werden, sondern auch die Akzeptanz von Spielerinnen und Spielern, Offiziellen, sowie Zuschauenden erreichen (Paulsen, 2021). Diese Akteure beeinflussen Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter in ihrem Entscheidungsprozess. So beeinflussen beispielsweise sozialer Druck und Lärm von Zuschauenden (Dohmen & Sauermann, 2016; Garicano et al., 2005; Nevill et al., 2002; Sutter & Kocher, 2004) die Leistung von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern.

Es wird deutlich, dass Entscheidungen von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern viele miteinander interagierende psychologische Prozesse zugrunde liegen. Ein Modell, das versucht, die unterschiedlichen Einflussfaktoren die auf Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern wirken zu umfassen, ist das Prozessmodell des sozialen Urteils (Plessner & Haar, 2006). Es beschreibt die verschiedenen Schritte und kognitiven Prozesse, die in den Entscheidungsprozess von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern involviert sind.

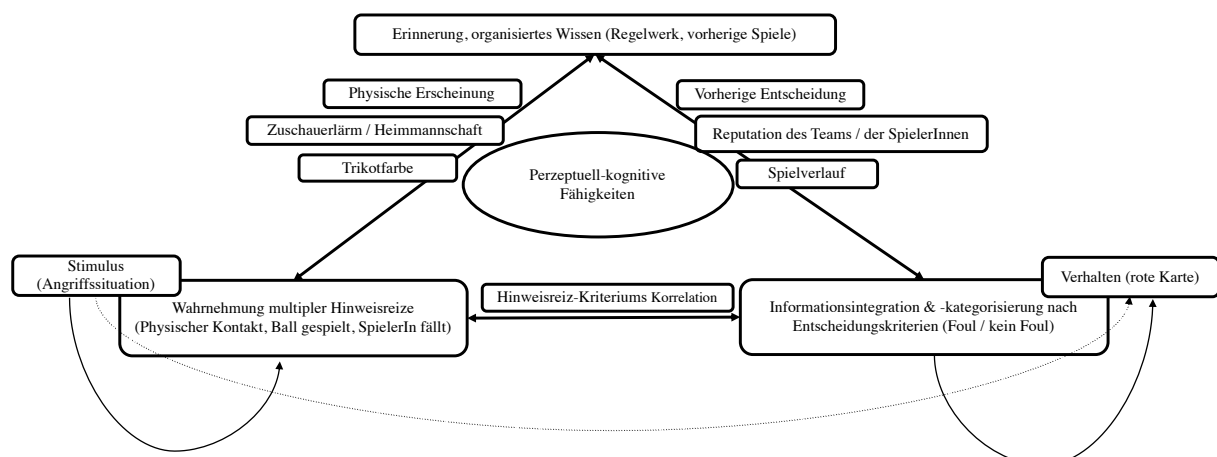


Abbildung 2. Prozessmodell des sozialen Urteils (Plessner & Haar, 2006; aus dem Englischen nach Helsen et al., 2019, S. 253)

Auf dem Spielfeld werden verschiedene Situationen wahrgenommen und durch unterschiedliche Aufmerksamkeitsprozesse verarbeitet. Zum Beispiel muss eine Foulszene zunächst von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern wahrgenommen (*perception*) werden. Anschließend wird dieser Foulszene Bedeutung zugewiesen, in dem Sinne, dass sie als regelwidriges Verhalten kategorisiert wird (*categorization*). Hierfür müssen Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf ihr Regelwissen und ihre Erfahrung zurückgreifen.

Zusätzlich wird die Information der vergebenen Verwarnung im Gedächtnis gespeichert (*memory processes*), sodass zukünftige Entscheidungen beeinflusst werden können. Die Entscheidung über die so verarbeitete Foulszene integriert all diese Informationen (*information integration*), verknüpft diese mit vorherigen Geschehnissen und aktuellen Kontextinformationen (Plessner & Haar, 2006; Plessner & Raab, 1999). Die Wahrnehmung solcher Foulszenen wird durch Blickbewegungen, die Position, den Blickwinkel und das visuelle Feld beeinflusst. Besonders die Position und der daraus resultierende Blickwinkel stellt einen entscheidenden Faktor bezogen auf die korrekte Wahrnehmung und die Entscheidungsfindung dar (Mallo et al., 2012; Helsen et al., 2019). Zusätzlich werden Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter durch Faktoren wie Lärm von Zuschauenden (Nevill et al., 2002), vorherige Entscheidungen (Plessner & Betsch, 2001), beziehungsweise Foulreihenfolge (Brand et al., 2006) beeinflusst.

Diese komplexen Prozesse müssen, gegeben durch die dynamische Situation in vielen Sportspielen, schnell und intuitiv getroffen werden. Nicht immer ist es möglich, alle Optionen sorgfältig abzuwägen, was zusätzliche Aufmerksamkeitsressourcen kosten würde (Furley et al., 2015; Helsen et al., 2019). Seit Einführung des Videobeweises im Fußball können Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter in diesen komplexen und oftmals unübersichtlichen Situationen durch Videomaterial unterstützt werden. Videomaterial kann Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter bezogen auf das vorgestellte soziale Prozessmodell unterstützen. Foulszenen, die außerhalb des Blickfeldes von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern geschehen und nicht wahrgenommen werden, Fouls, die von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern auf Grund des Blickwinkels nicht als solche kategorisiert werden, Spielerverwechslungen oder Fehler beim Integrieren all dieser Informationen können so erneut überprüft und gegebenenfalls korrigiert beziehungsweise geahndet werden. Mithilfe der durch das wiederholte oder verlangsamte Betrachten ergänzend gewonnenen

Informationen, die auf dem Feld nicht oder falsch wahrgenommen, kategorisiert, erinnert oder integriert wurden, soll der Urteils- und Entscheidungsprozess von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern unterstützt und verbessert werden.

Videoschiedsrichter

Durch technisch verbesserte Videübertragung und Kameratechnik können nicht nur Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter potenzielle Konfliktsituationen aus nächster Nähe beobachten, auch Kommentatorinnen und Kommentatoren oder Zuschauende können die Entscheidungsfindung von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern mit Hilfe des übertragenen Videomaterials überprüfen und diskutieren. Videotechnik im Sport dient jedoch längst nicht mehr der bloßen Unterhaltung von Zuschauenden, sondern beeinflusst spätestens seit der Einführung von Videoschiedsrichterinnen und Videoschiedsrichtern auch potenziell spielverändernde Entscheidungen (Helsen et al., 2019).

Der Videobeweis wird in der ersten deutschen Fußballbundesliga seit der Saison 2017/2018 und auch bei der Weltmeisterschaft 2018 eingesetzt. Das Videomaterial wird dabei vom VAR betrachtet, ausgewählt und bei Bedarf den Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern auf dem Feld auf einem Monitor am Spielfeldrand zur Verfügung gestellt.

Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf dem Feld können bestimmte Szenen auch selbstständig anfordern, um diese noch einmal auf dem Monitor zu betrachten. Das Videomaterial erlaubt es, Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern einen anderen Blick auf besonders undurchsichtige Spielszenen durch das Heranziehen mehrerer Kameraperspektiven (in der deutschen Bundesliga 19-21 verschiedene Kameraperspektiven) zu erlangen. Szenen können dabei mehrfach und in Zeitlupe abgespielt werden (DFB, 2022; siehe Tabelle 1). In der vergangenen Bundesligasaison wurden bei rund 1600 Überprüfungen 114 Entscheidungen verändert. 101 dieser Entscheidungen wurden korrekterweise verändert, wohingegen der VAR bei den verbleibenden 13 Überprüfungen zu einer falschen Entscheidung führte

(Schlüter & Zander, 2022). Der Einsatz des VAR im Fußball wurde auch hinsichtlich statistischer und spielverändernder Variablen wissenschaftlich untersucht (Han et al., 2020; Kubayi et al., 2021; Lago-Peñas et al., 2019; Lago-Peñas et al., 2020). Bisherige Studien finden konsistente Ergebnisse und beobachten seit der Einführung des VAR signifikant mehr Elfmeter (Kubayi et al., 2021), eine längere Spielzeit (Lago-Peñas et al., 2020; Han et al., 2020; Kubayi et al., 2021), weniger Abseitsstellungen (Lago-Peñas et al., 2019; Lago-Peñas et al., 2020; Han et al., 2020; Kubayi et al., 2021), eine Abnahme in der Gesamtanzahl an Fouls (Lago-Peñas et al., 2019; Han et al., 2020) und an gelben Karten (Lago-Peñas et al., 2019) sowie einen reduzierten Heimvorteil (Han et al., 2020; Dufner et al., 2022).

Auch die Frage, ob sich das Entscheidungsverhalten beziehungsweise die Entscheidungsgenauigkeit durch die Einführung des VAR verbessert hat, wurde von verschiedenen wissenschaftlichen Studien (Samuel et al., 2020; Spitz et al., 2020) sowie der Fédération Internationale de Football Association (FIFA, 2018) untersucht. Spitz et al. (2020) konnten mit den Daten von 2195 Fußballspielen zeigen, dass die Entscheidungsgenauigkeit mit Hilfe des VAR von 92.1 % auf 98.3% gesteigert werden konnte. Auch bei der Weltmeisterschaft 2018 zeigte sich, dass die Entscheidungsgenauigkeit bei 455 Überprüfungen mit Hilfe des VAR von 95.6% auf 99.3 % gesteigert wurde (FIFA, 2018). Samuel et al. (2020) untersuchten in einer Interviewstudie den Einfluss der Einführung des VAR auf israelische Fußballschiedsrichter, deren Wahrnehmung und Verhalten. Schiedsrichter berichteten, dass durch die Einführung des VAR der wahrgenommene Druck auf dem Spielfeld abnahm. Auch in der Praxis berichten Schiedsrichter davon, dass sie sich in wichtigen, spielentscheidenden Situationen seit der Einführung des VAR wohler fühlen, da sie sich über den VAR rückversichern können (Schlüter, & Zander, 2022). Auch zeigte sich, dass der VAR Einfluss auf den Heimvorteil im Fußball nimmt. Durch die Einführung des VAR kommt es zu einer Abnahme (Han et al., 2020; Dufner et al., 2022; Holder et al., 2021).

Einer der wahrgenommenen Vorteile des VAR ist die Möglichkeit, dass ausgewählte Szenarien, auch durch Schiedsrichtinnen und Schiedsrichter auf dem Feld, mehrfach und in Zeitlupe betrachtet werden können. Bisherige Befunde legen nahe, dass verlangsamte Darbietungen nicht in allen Situationen geeignet sind. Das Verwenden von Zeitlupendarbietungen scheint zu einer Verzerrung der Zeitschätzung zu führen, sodass Handlungen in Zeitlupe als intentionaler (Foulszenen aus der National Football League; Caruso et al., 2016) wahrgenommen und härter sanktioniert (Foulszenen im Fußball; Spitz et al., 2018) werden. Andere Studien aus dem Fußball finden keinen generellen Effekt der Zeitlupendarbietung, zeigen jedoch, dass Unterschiede zwischen Verstößen deutlicher werden. Foulszenen, die mit der gelben Karte sanktioniert wurden, wurden in Zeitlupe als weniger schwerwiegend und Vorfälle, die mit der roten Karte sanktioniert wurden, in Zeitlupe als schwerwiegender verglichen mit der Echtzeitdarbietung, eingestuft (Mather & Breivik, 2020). Bezogen auf technische Entscheidungen im Fußball zeigt sich ein Vorteil der Zeitlupendarbietung, da diese in Zeitlupe besser erkannt wurden (Spitz et al., 2017). Andere Studien weisen hingegen auf Probleme und Grenzen der technischen Umsetzung des VAR bei der Abseitsregel hin. Auf Grund von Grenzen in der wahrnehmungsbezogenen und physikalischen Darstellung räumlicher Tiefe sowie der möglichen Bilder pro Sekunde, kann die räumliche Position von Spielerinnen und Spielern, aber auch die Position des Balles im Fußball, nicht immer exakt festgestellt werden. Bestimmte Positionen weichen teilweise mehrere Zentimeter von der tatsächlichen Position ab. Auch Kontaktzeitpunkte von Spielerinnen und Spielern mit dem Ball können nicht ausreichend korrekt angegeben werden (Mather, 2020).

Die bisherigen Studien legen nahe, dass sich mit Hilfe des VAR nicht zweifelsfrei ausschließlich objektive Wahrheit finden lässt. Das Videomaterial, das für den VAR verwendet wird, wird von Individuen ausgewählt, gesichtet und somit ebenfalls selektiv

wahrgenommen. Selbst bei der Auswahl des Videomaterials bleibt der Mensch mit seinen subjektiven Annahmen und seinem individuellen Vorwissen bestehen. Dieser Prozess der Wahrnehmung, Selektion, Urteils- und Entscheidungsfindung beziehen sich auf eine Vielzahl psychologischer Prozesse. Um den Videobeweis sinnvoll einsetzen zu können, muss man sich daher mit der Psychologie menschlichen Urteilens und Entscheidens auseinandersetzen.

Daher soll im nächsten Kapitel genauer darauf eingegangen werden, welche psychologischen Prozesse bei Entscheidungen von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern sowie bei der Verwendung von Videomaterial beachtet werden müssen.

Psychologische Prozesse

Wahrnehmung

Die menschliche Wahrnehmung zeichnet sich durch ihre Subjektivität und Selektivität aus. Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter können nicht alle beobachtbaren Ereignisse auf dem Spielfeld wahrnehmen. Die Wahrnehmung wird von unserer Aufmerksamkeit gesteuert. Es kann zwischen zwei Aufmerksamkeitsprozessen unterschieden werden (Kebeck, 1997). Zum einen können Erwartungen die Aufmerksamkeit steuern, sodass in bestimmten Situationen ein Foulspiel antizipiert wird (Top-Down). Hier handelt es sich oftmals um eine unbewusste Steuerung der Aufmerksamkeit, die intuitive und schnelle Entscheidungen erlaubt (Furley et al., 2015). Höherklassige Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter mit langjähriger Erfahrung zeigen eine bessere Antizipationsfähigkeit und richten ihren Aufmerksamkeitsfokus besser aus (Spitz et al., 2016). Zum anderen können bestimmte Ereignisse von sich aus Aufmerksamkeit erzeugen, wie beispielsweise die Schreie einer Spielerin oder eines Spielers auf dem Spielfeld (Bottom-Up; Kebeck, 1997; Lex et al., 2015). Die Aufmerksamkeitssteuerung kann jedoch auch negative Auswirkungen haben und zu *Inattentional Blindness* bei Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern führen (Memmert, 2019).

Besonders der Blickwinkel von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern ist entscheidend für die Wahrnehmung. Alle relevanten Bereiche des Spielgeschehens sollten im Blickfeld liegen. Auch das korrekte Wahrnehmen von Raum und Zeit spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle. Spitz et al. (2018) konnten zeigen, dass erfahrene Schiedsrichter die Position von Spielern bei Foulspielen besser erinnern konnten als weniger erfahrene Schiedsrichter. Dieses Wahrnehmen und Erinnern der korrekten Position von Spielerinnen und Spielern, also die Antwort auf die Frage „Wann war welcher Spieler wo?“, ist besonders in dynamischen Spielsituationen relevant. Eye-Tracking-Studien konnten zeigen, dass erfahrenere Schiedsrichter in solchen Situationen ihre visuelle Aufmerksamkeit länger auf relevantere Hinweisreize, wie beispielsweise den Kontaktbereich zweier Spieler und weniger lang auf irrelevante beziehungsweise weniger relevante Bereiche, wie beispielsweise den Körper von Spielern, richten (Spitz et al., 2017).

Wahrnehmung von Zeit und Intention

Das Wahrnehmen von Raum und Zeit, „Wann war welcher Spieler wo?“ spielt im Schiedsrichterwesen eine wichtige Rolle. Zeit stellt jedoch eine abstrakte Wahrnehmung der Welt dar und entsteht erst durch kognitive Prozesse. Zeitwahrnehmung ist je nach Individuum sehr subjektiv und variabel (Eagleman, 2008) und wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Grundsätzlich wird die wahrgenommene Zeit durch einen Schrittmacher (Pacemaker) beeinflusst. Dieser fungiert als interne Uhr und ist Grundlage für die menschliche Zeitwahrnehmung und Zeiturteile (Allman et al., 2014; Church, 1984; Treisman, 1963; Treisman et al., 1990; Meck, 1983; Penton-Voak et al., 1996; Wearden, 2016). Zeitwahrnehmung und Zeiturteile können durch eine Vielzahl an Faktoren wie beispielsweise Aufmerksamkeit (Tse et al., 2004), kognitive Belastung (Block et al., 2010) oder Stimuluseigenschaften wie Intensität (z. B. Matthews et al., 2011), Frequenz (Kanai et al., 2006), Darbietungshäufigkeit (Betsch et al., 2010; Hintzman, 1970) oder Geschwindigkeit der

Bewegung (Matthews et al., 2011) beeinflusst werden. Trotz aller beeinflussenden Faktoren können Individuen zeitliche Dauer und deren Unterschiede im Millisekundenbereich als auch im Sekundenbereich wahrnehmen, diskriminieren und reliabel einschätzen (Rammsayer, 2014; Hintzman et al., 1975).

Zeiturteile allein spielen im Schiedsrichterwesen eine eher untergeordnete Rolle. Erst ihr Zusammenspiel mit der daraus resultierenden Ursachen- beziehungsweise Intentionzuschreibung macht ihre Relevanz für den Sport deutlich. Beispielsweise beobachtet ein Schiedsrichter folgende Situation: Spieler A berührt Spieler B. Daraufhin geht Spieler B zu Boden. Es stellt sich die Frage, ob die Berührung von Spieler A ursächlich für den Sturz von Spieler B war, da dieser zeitlich unmittelbar nach der Berührung zu Boden ging. Dieses Zusammenspiel von Zeit, Kausalität und Intentionalität wurde bereits in Grundlagenstudien mit einfachen Hinweisreizen (Heider, 1958; Michotte, 1963; Scholl & Tremoulet, 2000; Eagleman, 2004) sowie im Sportkontext untersucht (Caruso et al., 2016). Die Parameter Raum und Zeit vermitteln die kausale Wahrnehmung von Individuen durch verschiedene Faktoren wie beispielsweise die relative Geschwindigkeit von Gegenständen beziehungsweise Personen, Strecken, sowie räumlichen und zeitlichen Abständen (Scholl & Tremoulet, 2000). Erklärungsversuche und Annahmen zu Ursache und Wirkung sind für das menschliche Verständnis der Welt von zentraler Bedeutung. Michotte (1963) konnte zeigen, dass einfache Reize ausreichen, um Urteile über Kausalität zu erzeugen: Punkt A nähert sich Punkt B, berührt diesen, woraufhin sich Punkt B fortbewegt. Individuen suchen selbst bei einfachen, sich bewegenden geometrischen Figuren nach Kausalantworten für ihr plötzliches Fortbewegen (Heider & Simmel, 1944) und schreiben diesen Figuren nicht nur Persönlichkeitseigenschaften oder Emotionen, sondern auch Intentionen zu. Diese Befunde, die oftmals auf Basis einfacher Stimuli bestätigt wurden, lassen sich auf den ersten Blick nur schwer auf Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter und die dynamischen Spielsituationen

anwenden. Die Relevanz des Übertrags in die praxisnahe Forschung zeigt sich seit der Verwendung technischer Hilfsmittel, ganz speziell seit der Verwendung von Videomaterial. Aktuelle sportpsychologische Forschungsergebnisse zeigen, wie sich die Zeitwahrnehmung auf die Intentionsattribution auswirken kann, insbesondere dann, wenn Videogeswindigkeiten verändert werden (beispielweise Zeitlupendarbietungen; Caruso et al., 2016; Mather & Breivik, 2020; Spitz et al., 2017, 2018). In Studien mit realem Videomaterial (keine einfachen Hinweisreize) konnte gezeigt werden, dass durch die Betrachtung von Zeitlupendarbietungen angenommen wird, dass eine Person mehr Zeit zum Handeln und Überlegen hätte als es tatsächlich der Fall war (Caruso et al., 2016). Beobachtende messen der Aktion (Foul) eines Spielers mehr Vorsatz bei, was dazu führt, dass die Handlung als intentionaler wahrgenommen und folglich härter sanktioniert wird (Spitz et al., 2018). Es kommt zu systematischen Unterschieden in der Situationsbeurteilung, wenn Handlungen in Zeitlupe verglichen mit in Echtzeit betrachtet werden. Gleiche Handlungen werden unter Zeitlupe härter bestraft (Spitz et al., 2018). Eine Manipulation der Videogeswindigkeit (Reduktion der Videogeswindigkeit) kann die Wahrnehmung und die Intentionszuschreibung verändern und damit die darauffolgende Entscheidung beeinflussen.

Das Zusammenspiel der Faktoren Zeit und Intention wird durch die beschriebenen Studien deutlich. Diese Befunde sind in Bezug auf Schiedsrichterentscheidungen, im Speziellen in Bezug auf die Verwendung von Videomaterial, von enormer Bedeutung. Diese Befunde beruhen vor allem auf Studien die in Ruhe, ohne körperliche Belastung, durchgeführt wurden. Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf dem Spielfeld sind jedoch körperlich aktiv. Im Fußball handelt es sich um eine intensive körperliche Aktivität mit hohen Tempowechseln und einer durchschnittlichen zurückgelegten Gesamtstrecke von mehr als elf Kilometern pro Spiel (Di Salvo et al., 2012). Meta-Analysen und Studien mit

Fußballschiedsrichtern zeigen, dass körperliche Belastung kognitive Prozesse, wie beispielsweise die Wahrnehmung, beeinflussen kann (Chang et al., 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010; Schmidt et al., 2019).

Auch die Wahrnehmung von Zeit kann durch körperliche Belastung beeinflusst werden (Meck, 1983; Penton-Voak et al., 1996; Lambourne, 2012; Droit-Volet, 2018). Die menschliche Zeitwahrnehmung wird durch eine sogenannte *innere Uhr* beeinflusst (Allman et al., 2014; Church, 1984). Diese Uhr enthält einen Pacemaker der bestimmt wie schnell die innere Uhr „tickt“. Arousal, wie beispielsweise körperliche Belastung, verändert die Geschwindigkeit des Pacemakers der inneren Uhr und führt zu einer schnelleren internen Taktrate. So wird die Darstellung einer Ereignisdauer in einem kürzeren Zeitraum akkumuliert (Lambourne, 2012), was dazu führt, dass Zeitintervalle unterschätzt werden. Erklären lässt sich dieser Effekt durch die Katecholamin-Hypothese (McMorris et al., 1999; McMorris et al., 2021). Körperliche Belastung führt zu einem Anstieg von Arousal, was wiederum die Konzentrationen von Noradrenalin und Dopamin erhöht. Dopamin ist in seiner Funktion als Neurotransmitter an der Zeitwahrnehmung beteiligt. Die Veränderung des Dopaminspiegels beeinflusst somit die Zeitwahrnehmung und die Zeiturteile (Lambourne, 2012). Der Einfluss von körperlicher Belastung auf die Zeitwahrnehmung könnte demnach auch einen Einfluss auf die Intentionsattribution und damit auf die schlussendliche Schiedsrichterentscheidung haben.

Urteilen und Entscheiden

Schiedsrichterentscheidungen sind hoch komplex und werden oftmals intuitiv getroffen. Faktoren wie Zeitdruck oder Blickwinkel erzeugen in dynamischen Spielsituationen die Notwendigkeit schneller unbewusster Denkprozesse (Plessner et al., 2009; Schweizer et al., 2011) und das Verwenden von Heuristiken (Bennis & Pachur, 2006). Diese intuitiven Entscheidungen lassen sich durch das Linsenmodell erklären (Brunswick,

1952). Ob ein Foulspiel vorliegt, lässt sich nicht direkt, sondern nur mit Hilfe vieler verschiedener Informationen – bestimmten Hinweisreizen – erschließen. Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter verwenden eine Vielzahl an Hinweisreizen, wie beispielsweise Bewegungsabläufe oder Bewegungsgeschwindigkeiten. Zudem werden Zuschauerlärm (Nevill et al., 2002; Unkelbach & Memmert, 2010), Trikotfarbe (Frank & Gilovich, 1988), Reputation (Jones et al., 2002; Findlay & Ste-Marie, 2004) oder auch das Verhalten der Spieler (Lex et al., 2015) von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern als Hinweisreize verwendet. Nicht immer bieten alle Hinweisreize reliable Informationen. Daher können bestimmte Entscheidungen durch das Verwenden „falscher“ Hinweisreize verzerrt werden. Das zuvor genannte Beispiel der verzerrten Zeitwahrnehmung durch Zeitlupendarbietungen zeigt, wie das subjektive Zeiturteil (kein objektiver Hinweisreiz, sondern eine verzerrte Zeitwahrnehmung) zu einer gesteigerten Intentionsattribution und härteren Sanktionen führt (Caruso et al., 2016, Spitz et al., 2018).

Game Management

Die Aufgaben von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern gehen weit über das reine Urteilen und Entscheiden hinaus. Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter im Fußball unterliegen zwar einem klaren Regelwerk (IFAB, 2022), doch nicht alle Situationen sind eindeutig und lassen ein „stures“ Anwenden des Regelwerks zu. Sie sollen Spielerinnen und Spieler schützen, aber auch den Spielfluss aufrechterhalten und „das Spiel laufen lassen“. Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter wenden somit nicht nur Regeln an, sondern betreiben aktives *Game Management* (Mascarenhas et al., 2002). Ziel ist es, die Kontrolle über das Spiel aufrecht zu erhalten und die „Integrität des Spiels“ zu bewahren. Unkelbach und Memmert (2008) konnten zeigen, dass Schiedsrichter, die ihre Entscheidungen an das momentane Spielgeschehen anpassen weniger gelbe Karten vergeben. Die Umsetzung des Game Managements geschieht durch die vier Säulen Sicherheit (präventives Agieren),

Fairness (Ahndung eindeutiger Vergehen), Akzeptanz (kontextuelle Entscheidungen) und Unterhaltung (Spielfluss aufrechterhalten; Russell et al., 2019). Es reicht daher nicht aus, Entscheidungen „nur“ regelkonform zu treffen. Entscheidungen müssen auch an den Kontext angepasst werden. So kann der Spielfluss beispielsweise durch einen verzögerten Pfiff aufrechterhalten werden (z.B. Vorteilregel). Dies dient schlussendlich der Spielkontrolle. Dieses Vorgehen im Entscheidungsprozess wird durch das Modell der akkuraten und adäquaten Entscheidungen erklärt. Akkurate Entscheidungen, sind ausschließlich am Regelwerk orientiert, wohingegen adäquate Entscheidungen situationsangemessen getroffen werden (Plessner et al., 2009; Schweizer & Plessner, 2016). Bezogen auf die Informationsverarbeitung von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern geht das Modell davon aus, dass akkurate Entscheidungen eher intuitiv und adäquate Entscheidungen deliberativ getroffen werden, da zusätzlich zum Regelwerk verschiedene Informationen einbezogen und abgewogen werden (Furley et al., 2015; Helsen et al., 2019). Eine adäquate Regelauslegung überlässt den Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern einen gewissen Ermessensspielraum. Das Schwellenmodell der Entscheidungen bezieht sich auf die Nutzung des ihnen zur Verfügung stehenden Ermessensspielraums (Raab et al., 2020). Ob eine Entscheidung eher strikt nach Regelanwendung, also akkurat, oder im Ermessen des Schiedsrichters, also adäquat, getroffen wird, ist abhängig von ihrem variierenden Schwellenwert für das Game Management. Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter haben unterschiedliche „Schwellen“ in Zweikampfbeurteilungen – niedriger oder höher. Je nach Anwendung des Ermessensspielraums haben Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter unterschiedliche Schwellen, ab wann sie ein Foulspiel ahnden. Durch die Dynamik des Spiels kann es jedoch auch passieren, dass Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter ihre Linie anpassen, um auf den Spielcharakter zu reagieren. Es kann beispielsweise auf die Ahndung eines Fouls (gelbe Karte) verzichtet werden, um ein Spiel zu beruhigen. Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter

können somit ihre eigene Linie der Konsistenz anpassen, um die Spielkontrolle zu bewahren (Raab et al., 2020; Paulsen, 2021).

Zusammenfassung und Fragestellung

Der Einsatz von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern ist durch eine dynamische Spielsituation, eine Vielzahl an Entscheidungen und Zeitdruck gekennzeichnet (Paulsen et al., 2021; Helsen et al., 2019). Die Aufgaben von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern gehen weit über das Anwenden des Regelwerks hinaus und beinhalten eine individuelle Spielgestaltung im Sinne des Game Managements (Mascarenhas et al., 2002; Plessner et al., 2009; Raab et al., 2020). Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter lassen sich durch eine Vielzahl von Faktoren in ihrer Entscheidungsfindung beeinflussen. Einige von diesen sind normativ nicht erwünschte, systematische Urteilsverzerrungen wie beispielsweise der Einfluss von Zuschauerlärm (Nevill et al., 2002; Unkelbach & Memmert, 2010), Trikotfarbe (Frank & Gilovich, 1988) sowie die Reputation eines Teams (Jones et al., 2002) oder einzelner Sportlerinnen (Findlay & Ste-Marie, 2004). Oftmals lässt die Position auf dem Feld und der damit verbundene Blickwinkel keine korrekte Wahrnehmung der Situation zu (Mallo et al., 2012). Um Fehler im Entscheidungsprozess zu vermeiden, und um den komplexen Wahrnehmungs- und Entscheidungsprozess von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern zu unterstützen, zu optimieren und den Sport fairer zu machen, wurde der Videoschiedsrichter eingeführt. Das Verwenden von Videomaterial soll die systematischen Einflussfaktoren, die zu Urteilsverzerrungen und Fehlentscheidungen führen, reduzieren. Das Videomaterial kann zur genaueren Analyse einer Situation mehrfach, aus verschiedenen Perspektiven und in Zeitlupe betrachtet werden.

Doch auch das Verwenden von Videomaterial scheint unter bestimmten Umständen (Zeitlupendarbietungen) systematische Urteilsverzerrungen und darauffolgende Fehlentscheidungen zu begünstigen. Das Betrachten von dynamischen Spielsituationen in

Zeitlupe und damit einhergehende Wahrnehmungsverzerrungen können das Urteil über eine Situation systematisch beeinflussen (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2016) und zu Fehlentscheidungen führen. Zeitlupe suggeriert demnach, dass der angreifende Spieler mehr Zeit hatte die Situation zu bewerten und seine Handlung abzuwägen. Die Dynamik einer Situation wird verändert und Zeit- sowie Intentionsurteile werden beeinflusst. Durch die Verwendung von Videomaterial entstehen somit auch wieder neue nicht erwünschte, systematische Urteilsverzerrungen die die Entscheidungsgenauigkeit von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern beeinflussen können.

Bisherige Studien untersuchten die vermeintliche Zeitverzerrung durch Zeitlupevideos jedoch ohne einen objektiven zeitlichen Vergleichswert. Ob es sich bei den Zeiteinschätzungen in Zeitlupe tatsächlich um eine Verzerrung handelt, lässt sich demnach nicht empirisch nachweisen, sondern nur spekulieren. Zudem untersuchten die bisherigen Studien den Einfluss von Darbietungsgeschwindigkeit auf Intentionsattribution immer kontextbezogen und mit Videos die viele potentielle Hinweisreize enthielten. Daher lässt sich nicht sicher feststellen, ob diese Effekte allgemeingültig und unabhängig vom den bisher untersuchten Kontexten gültig sind.

Dieser empirische Nachweis soll mit Hilfe dieser Dissertation erbracht werden. Ziel ist die beschriebenen einzelnen Paradigmen zunächst kontextreduziert, aus der Entscheidungssituation herausgelöst und anschließend systematisch mit praxisrelevanten Kontextinformationen (beispielsweise auditive, visuelle Hinweisreize) anzureichern und zu überprüfen. Hierfür werden die Effekte von Zeitlupe auf Zeiturteile und Intentionszuschreibung differenzierter betrachtet. In einem ersten Schritt soll der Frage nachgegangen werden, welchen Einfluss Zeitlupenbetrachtungen auf Zeiturteile haben. Die von Caruso et al. (2016) postulierte Verzerrung der Zeitwahrnehmung soll mit Hilfe von Videomaterial überprüft werden, indem Zeitschätzungen von Versuchspersonen in

Zeitlupenvideos mit der tatsächlichen, objektiven gemessenen Zeit verglichen werden. Da Zeiturteile auch durch körperliche Belastung beeinflusst werden (Lambourne, 2012), wird in einem nächsten Schritt der Einfluss dieser auf die Zeiturteile in Zeitlupenvideos, verglichen mit Echtzeitvideos, untersucht.

Der Zusammenhang von Zeitwahrnehmung, Kausalität und Intentionalität wurde bereits mehrfach bestätigt (Heider, 1958; Michotte, 1963; Scholl & Tremoulet, 2000). Auch Caruso et al. (2016) postulieren eine durch die Zeitverzerrung gesteigerte Intentionsattribution. In weiteren Studien wurde daher der Einfluss von Videogeschwindigkeit auf Intentionszuschreibung untersucht. Ziel ist es, den von Caruso et al. (2016) postulierten theoretischen Ansatz experimentell, zunächst kontextreduziert und anschließend kontextualisiert, zu untersuchen. Die Auswirkungen von Zeitlupendarbietungen und der Einfluss körperlicher Belastung soll unter systematisch variierenden Hintergrundinformationen auf Zeiturteile und die Intentionsattribution untersucht werden.

3. Zeiturteile

Manuskript 1: Zeiturteile unter Zeitlupe

Betrachtungen einer Situation in Zeitlupe bieten vermeintliche Vorteile, da durch das verlangsamte Darbieten mehr Details erkannt werden, die wiederum helfen, eine Situation klarer und genauer zu sehen (Caruso et al., 2016). Bisherige Untersuchungen zeigen jedoch, dass das Betrachten von Foulszenen in Zeitlupe zu systematischen Unterschieden in der Absichts- und Vorsatzbeurteilung führt (Caruso et al., 2016). Situationen werden anders wahrgenommen, da die Zeitperiode und somit der Handlungszeitraum eines faulenden Spielers, künstlich verlängert werden, was den Eindruck erweckt, er habe mehr Zeit seine Handlung abzuwägen.

Diese künstliche Verlängerung der Zeit wurde bisher nur subjektiv und nicht anhand objektiver Daten erfasst. Eine verzerrte Wahrnehmung der Zeit kann daher nicht nachgewiesen, sondern nur spekuliert werden. Da diese Zeitverzerrung jedoch als ursächlich für eine gesteigerte Intentionzuschreibung gesehen wird, sollte sie objektiv nachgewiesen werden. In drei Studien ($N_1 = 103$; $N_2 = 100$; $N_3 = 106$) wurde daher untersucht, ob Menschen sportliche Handlungen als länger andauernd wahrnehmen, wenn diese in Zeitlupe, verglichen mit Echtzeit, betrachtet werden.

Die Versuchspersonen der Studien sollten die Dauer einer motorischen Handlung (Studie 1, Sprinterin; Studie 2, Radfahlerin) und die Zeitunterschiede zweier Leistungen im Parallelschlalom (Studie 3) einschätzen (in Millisekunden). Die sportliche Handlung (15 Videos mit variierenden Distanzen) wurde in Zeitlupe (um den Faktor 4 verlangsamt, wie bei Caruso et al. (2016)) und in Echtzeit gezeigt. Alle Versuchspersonen sahen sowohl Echtzeit- als auch Zeitlupevideos in randomisierter Reihenfolge. In allen drei Studien wurden folgende Hypothesen getestet: Die Dauer einer sportlichen Handlung wird in Zeitlupe länger wahrgenommen als in Echtzeit (*Hypothese 1*). Die Zeitschätzung in Echtzeit ist genauer und

liegt näher an der objektiven Zeit als die Zeiteinschätzung in Zeitlupe (*Hypothese 2*). Die Ergebnisse bestätigten *Hypothese 1* und zeigten, dass die Dauer der sportlichen Handlung in Zeitlupe, über alle drei Studien hinweg, länger wahrgenommen wurde als in Echtzeit (Details siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: *Mittelwerte der Zeitschätzung (in Millisekunden) in Zeitlupe und Echtzeit.*

| | Zeitlupe | | Echtzeit | | <i>t</i> (99-105) | <i>p</i> | <i>d</i> |
|---------|----------|-----------|----------|-----------|-------------------|----------|----------|
| | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | | | |
| Sprint | 7243 | 3175 | 5701 | 1520 | 6.13 | <.001 | 0.54 |
| Fahrrad | 2694 | 1218 | 2319 | 820 | 3.71 | <.001 | 0.35 |
| Slalom | 1232 | 814 | 1092 | 565 | 2.34 | = .02 | 0.19 |

Anmerkung. *N*s = 100 - 106.

Mit Hilfe der zweiten Hypothese sollte gezeigt werden, dass die Zeitschätzung in Echtzeit genauer und näher an der objektiven Zeit liegt als in Zeitlupe. Hierfür wurden zwei neue Variablen erstellt. Für diese Variablen wurde die mittlere Zeitschätzung (absoluter Wert der Echtzeit- oder Zeitlupenschätzung [Betrag]) von der objektiv gemessenen Dauer der sportlichen Handlung subtrahiert. Die Ergebnisse zeigten, dass die mittlere Differenz der Zeitschätzung in Zeitlupe signifikant größer war als die mittlere Differenz der Zeitschätzung in Echtzeit. Die Dauer der sportlichen Handlung wurde bei der Betrachtung der Videos in Echtzeit exakter eingeschätzt als in Zeitlupe (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: *Mittlere Differenz der objektiven Zeit und Zeitschätzung in Zeitlupe beziehungsweise Echtzeit.*

| | Zeitlupe | | Echtzeit | | <i>t</i> (99-105) | <i>p</i> | <i>d</i> |
|---------|----------|-----------|----------|-----------|-------------------|----------|----------|
| | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | | | |
| Sprint | 4837 | 2002 | 3608 | 654 | 7.23 | <.001 | 0.67 |
| Fahrrad | 1197 | 978 | 856 | 566 | 3.77 | <.001 | 0.41 |
| Slalom | 707 | 543 | 529 | 317 | 4.18 | <.001 | 0.37 |

Anmerkung. *N*s = 100 - 106.

Andere Studien zeigten, dass die Wahrnehmung von Zeit auch mit der Wahrnehmung von Distanz korreliert (z. B. Loeffler et al., 2018). Daher wurde in zwei weiteren Studien der Einfluss von Videogeschwindigkeit auf die räumliche Wahrnehmung (Distanz) untersucht.

Konkret wurde untersucht, ob in Zeitlupe betrachtete sportliche Handlungen als länger wahrgenommen werden, weil die zugrunde liegende Distanz (z. B. die Strecke, die ein Athlet zurücklegt) als länger wahrgenommen wird. In Studie 4 ($N = 92$) und Studie 5 ($N = 106$) mussten die Versuchspersonen die Distanz der gleichen Läufe und Radrennstrecken einschätzen, die in den Studien 1 und 3 verwendet wurden. Die sportliche Handlung wurde auch hier in Zeitlupe und in Echtzeit gezeigt. In beiden Studien wurden folgende Hypothesen getestet: Die Distanz wird in Zeitlupe länger wahrgenommen als in Echtzeit (*Hypothese 3*). Die Distanzschätzung in Echtzeit ist exakter und liegt näher an der objektiven Distanz als die Distanzschätzung in Zeitlupe (*Hypothese 4*).

Die Ergebnisse aus Studie 4 (Sprint) zeigten, dass sich die Distanzschätzung in Zeitlupe nicht von der Distanzeinschätzung in Echtzeit unterschied. In Studie 5 (Fahrrad) hingegen wurden signifikante Unterschiede in der Distanzeinschätzung gefunden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: *Mittelwerte der Distanzschätzung (in Meter) in Zeitlupe und Echtzeit.*

| | Zeitlupe | | Echtzeit | | $t(91-105)$ | p | d |
|---------|----------|-------|----------|-------|-------------|--------|------|
| | M | SD | M | SD | | | |
| Sprint | 30.41 | 11.70 | 31.95 | 16.18 | -1.59 | .12 | 0.54 |
| Fahrrad | 10.71 | 4.33 | 9.67 | 3.74 | 4.59 | < .001 | 0.25 |

Anmerkung. $N_s = 92 - 106$.

Mit Hypothese 4 sollte geprüft werden, ob die Distanzschätzung in Echtzeit exakter und näher an der objektiven Distanz liegt als die Distanzschätzung in Zeitlupe. Die Ergebnisse zeigten, dass die Distanz einer sportlichen Handlung bei der Betrachtung von Videos in Zeitlupe exakter eingeschätzt wurde als bei der Betrachtung von Videos in Echtzeit (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: *Mittlere Differenz der Distanzschätzung in Zeitlupe und Echtzeit.*

| | Zeitlupe | | Echtzeit | | $t(91-105)$ | p | d |
|---------|----------|------|----------|------|-------------|-------|-------|
| | M | SD | M | SD | | | |
| Sprint | 9.81 | 7.06 | 13.42 | 9.91 | -5.71 | <.001 | -0.39 |
| Fahrrad | 4.41 | 1.82 | 4.04 | 1.61 | 2.53 | .01 | 0.21 |

Anmerkung. $N_s = 92 - 106$.

Ziel der ersten drei Studien ($N_s = 100 - 106$) war es zu untersuchen, ob sportliche Handlungen als länger andauernd und ungenauer (verglichen mit der objektiv gemessenen Zeit) beurteilt werden, wenn sie in Zeitlupe an Stelle von Echtzeit betrachtet werden. Hierfür mussten die Versuchspersonen die Sprintdauer beziehungsweise die Zeitunterschiede verschiedener Sportlerinnen und Sportler verschiedener Disziplinen in Zeitlupe und in Echtzeit schätzen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Dauer der sportlichen Handlung länger und ungenauer eingeschätzt wurde, wenn diese in Zeitlupe verglichen mit Echtzeit betrachtet wurde. Diese Ergebnisse tragen zu aktuellen Studienergebnissen bei, die zeigen, dass Zeitlupenbetrachtungen nicht in allen Situationen zielführend sind (IFAB, 2020; Spitz et al., 2020), da der Handlungszeitraum einer Person künstlich verlängert wird. Das wiederum kann dazu führen, dass Handlungen als absichtlicher wahrgenommen (Caruso et al., 2016) und härter bestraft werden (Spitz et al., 2018). In zwei weiteren Studien (Studie 4 und 5) wurde kontrolliert, ob Handlungen in Zeitlupe möglicherweise als länger andauernd wahrgenommen werden, weil die zurückgelegten Distanzen als länger wahrgenommen wurden. Daher sollten Versuchspersonen in diesen Studien die Distanzen in Echtzeit sowie in Zeitlupe schätzen. Die Ergebnisse aus diesen beiden Studien zeigten uneindeutige Ergebnisse. Daher sollten zukünftige Studien den Zusammenhang von Zeit und Raum in Bezug auf die Zeitlupenbetrachtung genauer untersuchen (für eine ausführlichere Diskussion siehe Manuskript 1 im Anhang).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass Zeitlupenbetrachtungen zu verzerrten Zeiturteilen führen. Ob diese verzerrten Zeiturteile zu stärkeren Intentionsurteilen führen,

kann mit dieser Studienreihe nicht beantwortet werden. Künftige Studien sollten daher die Auswirkungen der Zeitlupe und der daraus resultierenden Verzerrung in der Einschätzung der Dauer im Zusammenhang mit Disziplinarurteilen untersuchen. So kann der direkte Zusammenhang von Zeiturteilen und Intentionsattribution untersucht werden (siehe Kapitel 5). Um die Ergebnisse dieser Studie auf die Praxis von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern auf dem Feld zu übertragen, muss berücksichtigt werden, dass diese körperlich aktiv sind. Körperliche Belastung kann kognitive Prozesse, und somit potenziell auch Schiedsrichterentscheidungen, beeinflussen. Daher soll in einer weiteren Studie der Einfluss von körperlicher Belastung auf die Zeitschätzung untersucht werden.

4. Zeiturteile unter körperlicher Belastung

Manuskript 2: Zeiturteile und der Einfluss körperlicher Belastung

Bisherige Studien untersuchten den Einfluss von Videogeschwindigkeit auf Zeitwahrnehmung und Intentionsattribution im Ruhezustand ohne körperliche Belastung (Manuskript 1; Spitz et al., 2018; Caruso et al., 2016). Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf dem Feld sind jedoch körperlich aktiv (Di Salvo et al., 2012). Diese körperliche Belastung beeinflusst kognitive Prozesse wie beispielsweise die Wahrnehmung (Chang et al., 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010). Daher sollte die Nutzung von Videotechnologie nicht nur in Ruhe, sondern auch unter körperlicher Belastung untersucht werden.

Zeiturteile werden durch den Einsatz von Zeitlupenvideos verzerrt (Manuskript 1). Die menschliche Zeitwahrnehmung wird durch einen Pacemaker (Meck, 1983; Penton-Voak et al., 1996), die interne Uhr beeinflusst. Durch Arousal wie beispielsweise körperliche Belastung, kann diese innere Uhr beeinflusst werden, sodass diese schneller läuft (Lambourne, 2012). Das könnte beispielsweise dazu führen, dass zeitliche Abläufe unter Belastung generell als kürzer wahrgenommen und Zeitverzerrungen (Überschätzungen) reduziert werden. Diese Studie ging daher der Frage nach, ob körperliche Belastung die Zeitwahrnehmung beeinflusst und den negativen Einfluss der Zeitlupe auf die Genauigkeit der Zeitschätzung abschwächt. Es wurde angenommen, dass es einen generellen Effekt der körperlichen Belastung auf die Zeiteinschätzung gibt, sodass die Dauer einer sportlichen Handlung unter körperlicher Belastung kürzer eingeschätzt wird als in Ruhe (*Hypothese 1*). Zusätzlich wurde angenommen, dass die Dauer einer sportlichen Handlung unter körperlicher Belastung exakter wahrgenommen wird als in Ruhe (*Hypothese 2*).

In dieser Studie wurden die gleichen Methoden angewandt wie bei Schütz et al. (2021; Manuskript 1). Zusätzlich wurde die körperliche Belastung manipuliert. Versuchspersonen besuchten das Labor an zwei Tagen (mind. 1 Woche Abstand) und wurden einmal unter

körperlicher Belastung (45 Minuten unter 80 % ihrer HF_{\max} auf einem Fahrradergometer) und einmal in Ruhe getestet. Während des Betrachtens der Videos mussten die Teilnehmenden, die aerobe Belastung bei 80 % ihrer HF_{\max} beibehalten. In Ruhe saßen die Versuchspersonen auf dem Fahrradergometer und wurden aufgefordert die Pedale langsam zu bewegen. Die Versuchspersonen sahen das gleiche Videomaterial wie in Studie 1 aus Schütz et al. (2021; siehe Manuskript 1).

In einem ersten Schritt konnten mit dieser Studie die Ergebnisse aus Manuskript 1 repliziert werden. Es zeigte sich ein genereller Haupteffekt der Videogeswindigkeit auf die Zeitschätzung, $F(1,84) = 74.69, p < .001, \eta_p^2 = 0.471$. Die Dauer der sportlichen Handlung wurde in Zeitlupe ($M = 7.21; SD = 1.80$) länger eingeschätzt als in Echtzeit ($M = 5.93; SD = 0.99$). Es konnte kein Haupteffekt der körperlichen Belastung gefunden werden (Belastung [$M = 6.64, SD = 1.50$], vs. Ruhe [$M = 6.50, SD = 1.31$], $F(1,84) = .07, p = 0.79, \eta_p^2 = 0.001$). Zudem wurde die Dauer der sportlichen Handlung in Echtzeit ($M = 3.61; SD = 0.41$) exakter eingeschätzt als in Zeitlupe ($M = 4.41; SD = 1.09$), $F(1,84) = 62.13, p < .001, \eta_p^2 = 0.425$. Es konnte kein Haupteffekt der körperlichen Belastung gefunden werden (Belastung [$M = 4.06; SD = 0.81$], vs. Ruhe [$M = 3.95; SD = 0.70$], $F(1, 84) = 2.57, p = .11, \eta_p^2 = 0.03$).

Bei differenzierterer Betrachtung der körperlichen Belastung zeigte sich, dass die Versuchspersonen in der körperlichen Belastungsbedingung die Intensität unterschiedlich wahrnahmen, d. h. einige empfanden die Aktivität als intensiver als andere. Da in der Literatur diskutiert wird, dass die Einschätzung der Dauer durch die subjektive Intensität der körperlichen Belastung beeinflusst wird (Hanson & Lee, 2017; Edwards & McCormick, 2017), wurde die wahrgenommene Intensität der Versuchspersonen genauer analysiert. Für diese zusätzliche und ursprünglich ungeplante Analyse wurden die Versuchspersonen in zwei Gruppen eingeteilt (Versuchspersonen mit wahrgenommener subjektiver Belastung: RPE < 15 ($n = 24$) vs. ≥ 15 ($n = 62$); dieser Wert entspricht nach Borg (1982) 80% der maximalen

Herzfrequenz). Die Ergebnisse zeigten einen Haupteffekt für die subjektive körperliche Belastung $F(1, 84) = 10.62, p = .002, \eta_p^2 = 0.414$. Die Dauer der sportlichen Handlung wurde unter geringerer subjektiver Belastung ($RPE < 15$) länger eingeschätzt ($M = 7.98; SD = 2.41$) als unter subjektiv hoher Belastung ($RPE \geq 15; M = 6.57; SD = 1.95$), unabhängig von der Videogeschwindigkeit. Zudem zeigte sich eine signifikante Interaktion von Videogeschwindigkeit und subjektiver körperlicher Belastung, $F(1,84) = 5.95, p = .02, \eta_p^2 = 0.112$. Das zeigt, dass der Unterschied in der Zeiteinschätzung zwischen Echtzeit und Zeitlupe bei Versuchspersonen, die die körperliche Belastung als intensiv wahrgenommen hatten, geringer war.

Zudem wurde untersucht, unter welchen Bedingungen die wahrgenommene Dauer akkurater, also näher an der tatsächlich gemessenen objektiven Zeit, lag. Hier zeigte sich ein Haupteffekt der subjektiven körperlichen Belastung, $F(1,84) = 10.20, p = .002, \eta_p^2 = 0.108$. Teilnehmer, die die körperliche Belastung als hoch wahrnahmen ($RPE \geq 15$), schätzten die Dauer genauer ein ($M = 4.11; SD = 1.29$) als Versuchspersonen, die die subjektive Belastung als weniger intensiv wahrnahmen ($M = 4.92; SD = 1.73$) unabhängig von der Videogeschwindigkeit. Es zeigte sich zusätzlich eine signifikante Interaktion von Videogeschwindigkeit und subjektiver körperlicher Belastung, $F(1,84) = 8.37, p = .005, \eta_p^2 = 0.091$. Bei Versuchspersonen die die körperliche Belastung als hoch wahrnahmen ($RPE \geq 15$) unterschieden sich die Einschätzungen der Dauer, gemessen an der objektiven Zeit, in Echtzeit und in Zeitlupe weniger voneinander. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die körperliche Belastung den negativen Einfluss der Zeitlupe zu korrigieren scheint.

Ziel dieser Arbeit war es, zu untersuchen, ob die körperliche Belastung einen Einfluss auf die Zeitschätzung und deren Genauigkeit hat. Es wurde angenommen, dass körperliche Belastung den negativen Einfluss von Zeitlupe auf die Genauigkeit der Zeitschätzung abschwächt. Die Ergebnisse zeigen keinen Haupteffekt der körperlichen Belastung. Jedoch

konnten die Ergebnisse von Manuskript 1 repliziert werden. Die Dauer der sportlichen Handlung wurde in Zeitlupe länger und ungenauer geschätzt als in Echtzeit.

Bei genauerem Betrachten der subjektiven körperlichen Belastung zeigen sich andere Ergebnisse. Versuchspersonen, die die körperliche Belastung als intensiver erlebten, nahmen die Dauer der sportlichen Handlung als kürzer und somit genauer wahr. Die zusätzlich gefundenen Interaktionen zeigen, dass die Unterschiede in der Zeitschätzung (Zeitlupe vs. Echtzeit) bei diesen Versuchspersonen geringer waren und die Genauigkeitsschätzungen näher beieinander lagen. Diese Ergebnisse zeigen, dass die körperliche Belastung den negativen Einfluss der Zeitlupe auf die Genauigkeit der Zeitschätzung abschwächt.

Zusammengenommen deuten die Ergebnisse darauf hin, dass subjektive körperliche Belastung die Zeitschätzung hinsichtlich ihrer Dauer und Genauigkeit beeinflussen kann. Diese Ergebnisse zum Einfluss subjektiver körperlicher Belastung müssen mit Vorsicht interpretiert werden, liefern jedoch einen möglichen Hinweis, dass die subjektive körperliche Belastung, abgesehen von rein objektiven Markern, eine entscheidende Rolle bei wahrnehmungsbezogenen Prozessen spielt. Dieser Einfluss der subjektiven körperlichen Belastung sollte in zukünftigen Studien genauer betrachtet werden. Wenn wahrnehmungsbezogene Prozesse unter hoher körperlicher Belastung anders wahrgenommen werden als in Ruhe, könnte das dazu führen, dass Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf dem Feld, verglichen mit Videoschiedsrichterinnen und -schiedsrichtern, zu abweichenden Entscheidungen kommen. Zudem bleiben Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter während der Betrachtung der Videos am Spielfeldrand stehen. Daher sollten zukünftige Studien der Frage nachgehen, welchen Einfluss diese kurze Belastungspause auf die Wahrnehmungsprozesse hat.

Um nach der experimentellen Untersuchung der Zeiturteile der andauernden Diskussion um den Zusammenhang von Zeitwahrnehmung, Kausalität und

Intentionsattribution (Heider, 1958; Michotte, 1963; Scholl & Tremoulet, 2000; Eagleman, 2004; Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018) gerecht zu werden, wurden in vier weiteren Studien der Einfluss von Zeiturteilen auf die Intentionsattribution zunächst kontextreduziert (Studie 1) unter Berücksichtigung praxisrelevanter Kontextfaktoren wie visueller (Studie 2), audiovisueller (Studie 3) Hinweisreize und der Einfluss der körperlichen Belastung (Studie 4) experimentell untersucht.

5. Zeiturteile und Intentionsattribution

Manuskript 3: Intentionsattribution

Im Fußball wird derzeit diskutiert, wie Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter in ihrer Entscheidungsfindung durch Videomaterial unterstützt werden können. Die Grundidee des Videobeweises, und konkret der Zeitlupendarbietung, ist es, mit der Zeitlupe mehr Wahrheit zu finden, die Situation besser beziehungsweise korrekter wahrzunehmen – also zu sehen was wirklich passiert ist. Der Fußball soll durch den Einsatz von Videomaterial fairer, transparenter und gerechter werden (DFB, 2017). Auch im Fußball kann das Videomaterial in Zeitlupe und in Echtzeit betrachtet werden

Bisherige Untersuchungen deuten an, dass das Betrachten von Videos in Zeitlupe zu Veränderungen in der Wahrnehmung führt (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018, Manuskript 1 & 2). Die Dauer sportlicher Handlungen wird in Zeitlupe deutlich länger und inakkurater geschätzt (Manuskript 1 & 2). Bisherige Studien diskutieren, dass Videogeschwindigkeit nicht nur Zeiturteile, sondern auch andere kognitive Prozesse wie die Intentionsattribution beeinflusst (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018), da Zeitwahrnehmung (räumliche und zeitliche Abstände, relative Geschwindigkeit von Objekten) mit der subjektiven Beurteilung von Kausalität und Intentionsattribution (Heider, 1958; Michotte, 1963; Scholl & Tremoulet, 2000) zusammenhängt. Durch die Zeitlupenbetrachtung wird angenommen, dass die Person mehr Zeit zum Handeln und Überlegen hatte, als es tatsächlich der Fall war (Caruso et al., 2016). Der Beobachter misst der Aktion des Spielers mehr Vorsatz bei – die Handlung wird als intentionaler wahrgenommen (Spitz et al., 2018). Gleiche Handlungen werden unter Zeitlupe härter bestraft (Spitz et al., 2018). Eine Manipulation der Geschwindigkeit (Reduktion der Geschwindigkeit) kann somit die Wahrnehmung verändern und damit die darauffolgende Entscheidung.

In einer Studienreihe ($N_{\text{Total}} = 347$), bestehend aus vier Einzelstudien ($N_1 = 98$; $N_2 = 81$; $N_3 = 105$; $N_4 = 63$) wurde der Einfluss von Videogeschwindigkeit auf die Intentionsattribution mit Hilfe eines rigorosen experimentellen Ansatzes genauer untersucht. Ziel war es die bisherigen Befunde (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018) zunächst isoliert und kontextreduziert zu bestätigen. Im Anschluss sollten dann systematisch praxisrelevante sowie theoretisch relevante Kontextinformationen wie auditive oder visuelle Hinweisreize integriert werden. Die Forschungsfrage sollte damit auf die zentrale kausale Ebene heruntergebrochen und später systematisch und kontrolliert in den Kontext eingebettet werden. Dafür wurde das Videomaterial (Strichmännchenanimation) so reduziert, dass unsystematische und irrelevante Hinweisreize (z.B. Trikotfarbe, Reputation), die oftmals von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern zur Entscheidungsfindung verwendet werden (Frank & Gilovich, 1988; Findlay & Ste-Marie, 2004) eliminiert. Anschließend wurden experimentell kontrollierte, theoretisch relevante Hinweisreize (z.B., Zuschauerlärm) schrittweise in die Videos eingebettet. Das Videomaterial besteht aus vier ambigen Szenen (Foulszene im Fußball und im Hockey, Angriff mit Axt oder Waffe) in denen die Person auf der rechten Seite die Person auf der linken Seite schädigt (Abbildung 1).



Abbildung 1. Beispielhafte Darstellung einer Videosequenz (Studie 1 und 4).

In der *ersten Studie* wurde die Intentionsattribution unter verschiedenen Zeitlupenbedingungen betrachtet. Bei gleichem Videoinhalt wurde die Videogeschwindigkeit, beziehungsweise Videodauer (0.5, 1.0, 1.5 oder 2.0 Sekunden), variiert.

In der *zweiten Studie* wurde zusätzlich zur Videogeschwindigkeit der Einfluss von visuellen Kontextinformationen, in Form von Zuschauenden, auf die Intentionsattribution untersucht. Aus vorangegangenen Studien geht hervor, dass Situationen, in denen

Umstehende anwesend sind, von einer handelnden Person anders wahrgenommen werden. Das kann dazu führen, dass Personen in einer Situation in der Umstehende anwesend sind, anders Handeln als in einer Situation ohne Umstehende (Darley & Latané, 1968; Fisher et al., 2011). Das zeigt, dass die alleinige Anwesenheit anderer Personen einen Einfluss auf das Verhalten von Personen in kritischen Situationen hat (Darley & Latané, 1968). Ziel dieser zweiten Studie war es, zu untersuchen, wie sich die Reaktion anderer Umstehender, die eine schädigende Handlung gegen eine andere Person beobachten, auf die Bewertung einer Situation auswirkt.

In der *dritten Studie* wurde zusätzlich zur Videogeschwindigkeit der Einfluss von auditiven Kontextinformationen, in Form von Zuschauerlärm und dessen Valenz (Negativ: Buhen und Pfeifen; Positiv: Jubeln und Klatschen; Neutral: Hintergrundrauschen), auf die Intentionsattribution untersucht. Zuschauerlärm beeinflusst die Entscheidungen von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern (Nevill et al., 2002; Unkelbach & Memmert, 2010), wobei Valenz, Lautstärke oder Intensität als zusätzlicher Anhaltspunkt zur Beurteilung der Schwere von Fouls verwendet werden. In mehrdeutigen Situationen wird das Zuschauerrauschen als Informationsquelle genutzt, obwohl es keinen objektiven Ursprung hat (Rossi & Madden, 1979). Insbesondere negativer Lärm kann bei "ängstlicheren" Schiedsrichtern zu Leistungseinbußen führen (Sors et al., 2019). Ziel der dritten Studie war es daher, zu untersuchen, wie sich die Valenz von Zuschauerlärm auf die Intentionszuschreibung auswirkt.

In der *vierten Studie* wurde der Einfluss der körperlichen Belastung auf die Intentionsattribution untersucht. Bisherige Studien untersuchten die Intentionsattribution in Ruhe, ohne akute körperliche Belastung. Der Einfluss körperlicher Belastung auf kognitive Prozesse wie Zeiturteile (Caruso et al., 2016), wurde bereits in Kapitel 2 sowie Kapitel 4 (Manuskript 2) dargelegt. Erste Ergebnisse zeigten, dass die Zeit unter, als subjektiv intensiv

wahrgenommener körperlicher Belastung, kürzer und akkurater geschätzt wird, sodass die Zeitverzerrung in Zeitlupe verringert wird (Schütz et al., 2022; Manuskript 2). In Studie 4 gingen wir daher der Frage nach, ob eine subjektiv intensive körperliche Belastung den negativen Einfluss der Zeitlupe auf die Genauigkeit der Zeitschätzung abschwächt und demnach weniger stark die Intentionsattribution verzerrt. In dieser Studie wurde das gleiche Videomaterial wie in Studie 1 verwendet (siehe Abbildung 1). Die körperliche Belastung bestand aus einem fußballspezifischen Intervallprotokoll auf dem Fahrradergometer, bei dem die physiologischen Reaktionen mit den in Fußballspielen beobachteten Belastungsparametern vergleichbar sind (Drust et al., 2000).

In *Studie 1* konnte kein Haupteffekt von Videogeschwindigkeit auf die Intentionsattribution gefunden werden, $F(3, 96) = 0.81, p = .49, \eta^2 = 0.01$. Auch konnten wir nicht zeigen, dass die Intentionsattribution mit abnehmender Videogeschwindigkeit (steigendem Zeitlupenfaktor) über alle Videodauern hinweg steigt (linearer Trend), $F(1, 98) = 0.32, p = .57, \eta^2 = 0.00$. Es zeigte sich deskriptiv ein quadratischer Trend der Videogeschwindigkeit auf die Intentionsattribution, $F(1, 98) = 2.28, p = .13, \eta^2 = 0.02$. Die Intentionsattribution stieg bis zu der Videodauer von 1.5 Sekunden an und fiel anschließend wieder ab.

In *Studie 2* zeigte sich ein Haupteffekt von Videogeschwindigkeit auf die Intentionsattribution, $F(3, 78) = 7.56, p < .001, \eta^2 = 0.09$. Dem Handelnden wurde mit abnehmender Videogeschwindigkeit mehr Vorsatz für seine Tat zugemessen (linearer Trend), $F(1, 80) = 7.10, p = .009, \eta^2 = 0.08$. Die Ergebnisse zeigten zusätzlich einen signifikanten quadratischen Trend, $F(1, 80) = 12.45, p = .001, \eta^2 = 0.14$, der darauf hinweist, dass die Intentionsattribution abnahm, wenn die dargestellte Handlung länger als 1.5 Sekunden dauerte. Es zeigte sich kein Haupteffekt der Zuschauerreaktion auf die Intentionsattribution, $F(1, 80) = 3.02, p = .09, \eta^2 = 0.04$. Die Interaktion zwischen Zuschauerreaktion und

Videogeschwindigkeit wurde signifikant, $F(3, 78) = 7.55, p < .001, \eta^2 = 0.09$. Das zeigt, dass bei der langsamsten Geschwindigkeit (2.0 Sekunden) die Reaktion der Umstehenden zu einer höheren Intentionsattribution führten, wohingegen sie ohne Reaktion der Umstehenden abfiel.

In *Studie 3* konnte der signifikante Haupteffekt von Videogeschwindigkeit auf die Intentionsattribution bestätigt werden, $F(3, 102) = 3.13, p = .03, \eta^2 = 0.03$. Mit abnehmender Videogeschwindigkeit wurde die Intention des Handelnden höher eingeschätzt (linearer Trend), $F(1, 104) = 4.92, p = .03, \eta^2 = 0.05$. Es zeigte sich kein Haupteffekt des Zuschauerlärms auf die Intentionsattribution, $F(2, 103) = 2.40, p = .09, \eta^2 = 0.02$. Auch zeigte sich keine signifikante Interaktion zwischen Zuschauerlärm und Videogeschwindigkeit, $F(6, 99) = 1.00, p = .41, \eta^2 = 0.01$.

In *Studie 4* konnte erneut der Haupteffekt der Videogeschwindigkeit auf die Intentionsattribution repliziert werden, $F(3, 60) = 8.00, p < .001, \eta^2 = 0.11$. Auch hier zeigte sich ein signifikant linearer Trend, $F(1, 62) = 18.49, p < .001, \eta^2 = 0.23$. Mit abnehmender Videogeschwindigkeit wurde dem Handelnden mehr Vorsatz zugeschrieben.

In den vier vorgestellten Studien wurde der Einfluss der Videogeschwindigkeit auf die Intentionsattribution mit Hilfe experimentell kontrollierter Hinweisreize (Zuschauerlärm, Zuschauende) sowie unter körperlicher Belastung analysiert. Versuchspersonen sollten hierfür die Intention eines Täters, beziehungsweise Foulenden, mit Hilfe von animierten, vereinfachten Videos in unterschiedlichen Videogeschwindigkeiten bewerten. Ziel dieser Arbeit war es, zu untersuchen, ob die Videogeschwindigkeit die wahrgenommene Intention beeinflusst.

Die Ergebnisse zeigten einen Haupteffekt sowie einen signifikant linearen, beziehungsweise einen quadratischen Trend, der Videogeschwindigkeit auf die Intentionsattribution. Versuchspersonen schrieben dem Täter mehr Intention zu, je langsamer die Videos dargestellt wurden. Dieser Anstieg war jedoch nur bis zu einer Handlungsdauer

von 1.5 Sekunden zu beobachten. Dauert die Handlung 2.0 Sekunden stagnierte beziehungsweise sank der Verlauf der Intentionsattributionskurve wieder ab. Bisherige Befunde konnten somit teilweise bestätigt werden. Handlungen werden mit abnehmender Videogeschwindigkeit – bis zu einer gewissen Videodauer – als intentionaler beurteilt (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018). Es zeigte sich eine signifikante Interaktion von Zuschauenden und Videogeschwindigkeit auf die Intentionsattribution. Der Zuschauerlärm hatte keinen Einfluss auf die attribuierte Intention. Entgegen unserer Hypothese in Studie 4 verringerte die körperliche Belastung den linearen Trend von Videogeschwindigkeit und Intentionsattribution nicht.

Die Ergebnisse des quadratischen Trends könnten ein erster Hinweis darauf sein, dass sich Attributions- und Urteilsprozesse bei einer verlangsamten Handlungsdauer (2.0 Sekunden) verändern. Eine mögliche Erklärung bietet das Elaboration-Likelihood Model (Petty & Cacioppo, 1986). Durch die verlängerte Handlungsdauer haben die Versuchspersonen mehr Zeit die ausgewählte Szene zu betrachten und zu verarbeiten. Das könnte dazu führen, dass Korrekturprozesse, bezogen auf die Intentionsattribution, stattfinden. Starke Kontexthinweise (reagierende Umstehende) hingehen, die verstärkt Aufmerksamkeit auf sich ziehen, könnten dazu führen, dass keine kognitiven Ressourcen für die genannten Korrekturprozesse verbleiben, was den gefundenen Anstieg der Intentionsattribution erklären könnte.

Eine weitere Erklärung ist darin zu finden, dass die Verringerung von Videogeschwindigkeit nicht nur die Dauer einer Handlung, sondern auch die Dynamik einer Situation verändert. Studien, die sich mit Attribution befassen, zeigen, dass Attributionsverzerrungen in der Regel mehrdimensional sind (Garms-Homolová, 2021), demnach nicht nur von der Dauer einer Handlung, sondern auch andere relevanten Variablen wie Bewegung, Sequenzkomplexität (Eagelman, 2008; Brown 1931) oder wahrgenommener

Geschwindigkeit oder Beschleunigung (Brown 1931; Michotte, 1963; Scholl & Tremoulet, 2000) abhängen. Daher könnten nicht nur Verzerrungen in der Zeitwahrnehmung, sondern auch Verzerrungen in Bezug auf andere Variablen zu einer gesteigerten Intentionsattribution führen.

Der kognitive Prozess der Intention kann zudem nicht objektiv und messbar überprüft, sondern nur antizipiert werden. Die Zeitlupendarbietung verlangsamt nur die physisch sichtbare Handlung. Die kognitiven Prozesse der handelnden Person, d. h. ihre Denkprozesse und Absichten sind nicht sichtbar. Beobachtende müssten in ihren Urteilsprozessen also auch die kognitiven Prozesse verlangsamen, die nicht offensichtlich, wie die physischen Handlungen, zu erkennen sind. Das könnte den Effekt der Überschätzung dispositioneller und der Unterschätzung situativer Einflüsse reduzieren. Eine weitere Möglichkeit, Verzerrungen zu verringern, besteht darin, Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter über den Zeitlupenfaktor in den präsentierten Videos (Sperl et al., 2021) und die Tendenz zu informieren, dass Absichten überschätzt werden, wenn Videos in Zeitlupe gezeigt werden (Caruso et al., 2016). Diese Informationen beseitigen mögliche Verzerrungen nicht, verringern aber die Überschätzung von Zeit (Sperl et al., 2016) und Intention (Caruso et al., 2016). Eine weitere Möglichkeit wäre es Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern in ihrem Training nach jeder Entscheidung ein direktes Feedback über die Korrektheit ihrer Entscheidung zu geben. Nach Schweizer et al. (2011) reicht diese Rückmeldung, auch ohne weitere Erklärung, aus, um die Entscheidungsgenauigkeit zu steigern.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Zeitlupe zu einem Anstieg der wahrgenommenen Intention führt. Dieser Anstieg scheint abzuflachen, wenn eine dargestellte Handlung sehr langsam dargestellt wird und dementsprechend länger dauert. Die Verwendung von Zeitlupendarbietungen ist demnach nicht immer hilfreich, um mehr Wahrheit zu finden, da sie die wahrgenommene Intention systematisch beeinflusst. Diese

Ergebnisse und die gefundenen systematischen Verzerrungen von Zeit und Intention stellen das Ziel des Videoschiedsrichters – den Sport fairer zu machen – bezogen auf die Verwendung von verlangsamtem Videomaterial in Frage. Im Folgenden sollen die Ergebnisse aufeinander bezogen und praxisnah diskutiert werden.

6. Diskussion

Diese Dissertation befasste sich mit der Frage, *wie* der Einsatz von Videomaterial den Sport fairer macht. In zehn Studien wurde experimentell untersucht, *wie* Videomaterial im Sport angewendet werden kann und welche potenziellen Auswirkungen diese Anwendung auf die Wahrnehmungsprozesse und die damit einhergehenden Entscheidungsprozesse hat.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Insgesamt zeigen die zehn Studien, die sich mit der Frage *wie* der Einsatz von Videomaterial den Sport fairerer machen kann, dass das Verwenden von Zeitlupenvideos sowohl die Zeiturteile, als auch die Intentionsattribution, beeinflusst. Die Dauer sportlicher Handlungen wurde in Zeitlupe länger und inakkurater eingeschätzt als in Echtzeit (Manuskript 1). Auch unter körperlicher Belastung wurde die Dauer sportlicher Handlungen in Zeitlupe länger und inakkurater wahrgenommen als in Echtzeit (Manuskript 2). Die subjektiv wahrgenommene intensive körperliche Belastung beeinflusste ebenfalls die Zeiteinschätzung, sodass Zeitlupenvideos weniger verzerrt, also kürzer und akkurater, eingeschätzt wurden, als unter moderater körperlicher Belastung (Manuskript 2). In weiteren Studien konnte gezeigt werden, dass die Intentionsattribution mit abnehmender Videogeswindigkeit (künstlich verlängerte Handlungsdauer) anstieg (Manuskript 3). Handlungen wurden in langsamen Videos als intentionaler bewertet. Dieser Anstieg der attribuierten Intentionalität stieg jedoch nur bis zu einer Handlungsdauer von 1.5 Sekunden. wurde die Videogeswindigkeit weiter verlangsamt, sodass die Handlung länger dauert, stagnierte, beziehungsweise sank, die attribuierte Intentionalität wieder ab. Bei der Anwesenheit von Zuschauenden die eine Reaktion auf die schädigende Handlung zeigten, stieg die attribuierte Intentionalität auch bei weiter verlangsamer Videogeswindigkeit. Zuschauerlärm und körperliche Belastung hatten keinen Einfluss auf die Intentionsattribution (Manuskript 3).

Beitrag zur Theorie

Diese Dissertation untersuchte den Einsatz von Videomaterial im Sport, insbesondere den Einfluss von Zeiturteilen (Manuskript 1 & 2) auf die Intentionsattribution (Manuskript 3), gemäß den Grundlagen des experimentellen Ansatzes. Empirische Befunde wurden runtergebrochen und mit Hilfe von einfachen kontextreduzierten Experimenten (einfach Zeiturteile – losgelöst von Schiedsrichterentscheidungen, Intentionsattribution mit reduzierten und einzelnen systematisch induzierten Hinweisreize) analysiert und repliziert. Erst im nächsten Schritt wurden dann theoretisch sowie praxisrelevante Kontextinformationen (visuelle, auditive Hinweisreize, physiologische Reize) integriert und die Ergebnisse kontextbezogen repliziert. Diese Dissertation trägt somit zur experimentellen Überprüfung der Annahme von Caruso et al. (2016) bei, die besagt, dass das Verwenden von Zeitlupenvideos die Zeitwahrnehmung verzerrt, somit die Dynamik einer Situation verändert und zu einer gesteigerten Intentionsattribution führt. Durch die systematische Variation des Kontextes konnte die Gültigkeit der berichteten Ergebnisse (Caruso et al., 2016) über die bisher untersuchten Situationen hinaus aufgewiesen werden.

Die in Manuskript 2 präsentierten Ergebnisse zeigen, dass körperliche Belastung von Personen unterschiedlich wahrgenommen wurde. Die gleiche standardisierte körperliche Belastung – in diesem Fall 80% der maximalen Herzfrequenz – wurde von den Versuchspersonen unterschiedlich anstrengend, demnach unterschiedlich belastend, beurteilt. Diese Unterschiede in der subjektiv wahrgenommenen Belastung zeigte sich in signifikanten Unterschieden in wahrnehmungsbezogenen Prozessen – den Zeiturteilen. Objektive Belastungsparameter scheinen demnach nicht immer mit den subjektiven Belastungsparametern übereinzustimmen. Bisher befassen sich wenige Studien mit Unterschieden in Belastungsparametern und deren Auswirkungen auf beispielsweise Trainingsparameter (Impellizzeri et al., 2019) sowie Schiedsrichterentscheidungen (Bloß et

al., 2020). Impellizzeri et al. (2019) weisen in ihrem theoretischen Konzept der internen (z.B., Trainingszustand, psychologischer Zustand) und externen Belastung (z.B., Belastungsdauer, zurückgelegte Strecke) darauf hin, dass Versuchspersonen eine festgelegte Belastung unterschiedlich belastend wahrnehmen. Die Autoren schlagen daher vor körperliche Belastung in zukünftigen Studien mehr auf individueller Ebene zu kontrollieren und weniger mittels standardisierter Belastungen über alle Versuchspersonen zu operationalisieren. Weitere Studien geben davon aus, dass die Herzrate und die subjektiv wahrgenommene Belastung (RPE) Hinweise für unterschiedliche Ermüdungszustände geben. Demnach führen Ermüdungszustände der Muskulatur zu einer gesteigerten Herzrate als auch gesteigerten subjektiven Belastung (Marcora et al., 2008), wohingegen mentale Ermüdung lediglich zu einer Steigerung der subjektiven Belastung führt (Marcora et al., 2009).

Die in Manuskript 3 präsentierten Studien zeigen, dass Intentionsattributionen linear mit abnehmender Videogeschwindigkeit ansteigen, bei einer bestimmten Videodauer ihren Höhepunkt erreichen und anschließend wieder abfallen. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich Attributions- und Urteilsprozesse ab einer bestimmten Videogeschwindigkeit verändern. Die gefunden Ergebnisse lassen sich beispielsweise im Rahmen des Elaboration-Likelihood-Modells (Petty & Cacioppo, 1986) erklären. Durch die verlängerte Dauer der Videos haben die Versuchspersonen mehr Zeit die gezeigte Situation noch während der Beobachtung zu elaborieren und anschließend ein Urteil zu bilden. Dieses mehr an Zeit erlaubt ihnen möglicherweise den Kontext in den kontextualisierten Videos besser zu verarbeiten. Dies könnte erklären, warum der lineare Trend mit der Hinzunahme von Kontextinformationen (Zuschauende) weniger stark, beziehungsweise weiter ansteigt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Intentionsattribution durch den einbezogenen Kontext beeinflusst wird. Wird eine Szene durch weitere Kontextinformationen (reagierende Zuschauende) angereichert, steigt der lineare Trend, wohingegen er abfällt, sobald keine

weiteren Kontextinformationen (Zuschauende ohne Reaktion) eingebettet werden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Versuchspersonen ab einer bestimmten Videodauer andere Urteilsprozesse anwenden. Bezogen auf Urteilsprozesse sollten zukünftige Studien die Zeit als Einflussfaktor genauer betrachten, um zu verstehen, welche Urteilsprozess auf welche Handlungsdauer passen.

Beitrag für die Praxis

Die Studienergebnisse legen nahe, dass der Einsatz von mehr Technik nicht automatisch zu besseren Entscheidungen führt. Insbesondere der Einsatz von Zeitlupenvideos scheint nicht in allen Entscheidungssituationen geeignet zu sein. Besonders dann nicht, wenn es darum geht, die Zeit korrekt wahrzunehmen. Ein solches Beispiel stellt das Late-Tackling dar, wobei es darum geht zu erkennen, wann welcher Spieler wo war und wie lange der attackierende Spieler Zeit hatte sein Tackling zu starten. In solchen Situationen könnte es dazu kommen, dass Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter die zur Verfügung gestandene Zeit überschätzen, wenn sie sich die entsprechende Szene in Zeitlupe anschauen (Manuskript 1 & 2). Zudem werden wahrnehmungsbezogene Prozesse unter subjektiv hoher körperlicher Belastung anders wahrgenommen, als unter geringerer Belastung (Manuskript 2). Das könnte dazu führen, dass Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf dem Feld, verglichen mit Videoschiedsrichterinnen und -schiedsrichtern, zu unterschiedlichen Entscheidungen kommen, da sie die gleiche Videoszene unterschiedlich wahrnehmen. Zusätzlich steigt mit abnehmender Videogeschwindigkeit die wahrgenommene Intention (Manuskript 3). Dies könnte dazu führen, dass Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter, ein entsprechendes Foul als intentionaler wahrnehmen (Caruso et al., 2016) und härter bestrafen (Spitz et al., 2018). Daher stellt sich die Frage ob, bezogen auf spezifische Szenen in denen die attribuierte Intentionalität als zusätzlicher Faktor für das Strafmaß hinzugezogen wird (beispielsweise

absichtliches Handspiel im Fußball), das Regelwerk entsprechend angepasst werden sollte, sodass von Zeitlupendarbietungen nicht nur abgeraten wird, sondern diese untersagt werden.

Dieser rigorose Ansatz der Regelwerkänderung stellt jedoch nur eine Handlungsmöglichkeit dar. Alternativ könnte untersucht werden, inwieweit ein systematisches, ganzheitliches, nach wissenschaftlichem Standard entwickeltes Training die Entscheidungsgenauigkeit von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern steigern könnte und somit die genannten systematischen Urteilverzerrungen verringert. Die bisherige Diskussion um die Wirksamkeit von Videotechnik im Sport setzt sich weniger mit spezifischen Entscheidungstrainings, sondern vielmehr mit der bloßen Statistik und den entstandenen Kosten der Videotechnologie auseinander. Seit Einführung des VAR konnte die Entscheidungsgenauigkeit von 92.1 % auf 98.3% gesteigert werden (Spitz et al., 2020). Im Cricket belaufen sich die Kosten für den Videoschiedsrichter auf 100.000 US-\$ pro Spiel. Die Schiedsrichterentscheidungen werden im Gegenzug von 93,1% auf 95,8 % korrekte Entscheidungen verbessert (MacMahon et al., 2015). Der Fokus liegt in diesen Untersuchungen auf der Technik. Die Technik nimmt jedoch nur einen kleinen Teil im Entscheidungsprozess von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern ein. Hauptfaktor bleibt der Mensch. Ein ganzheitliches Training könnte jedoch systematisch dazu beitragen, die Entscheidungsgenauigkeit von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern zu verbessern. Bisherige und aktuelle Trainings sind häufig nicht realitätsnah genug (O'Brien & Rhyne, 2020; Kittel et al., 2021). Beispielsweise werden Videotrainings losgelöst vom vorherigen Spielgeschehen oder ohne den Einfluss körperlicher Belastung durchgeführt. In der Praxis zeigt sich langsam ein gesteigertes Bewusstsein für die genannten Einflussfaktoren. Das VAR-Training wird im Fußball teilweise unter körperlicher Belastung (UEFA, 2021) durchgeführt. Ein optimales Training sollte demnach verschiedene Einflussfaktoren, die sich in dieser Arbeit als relevant herausgestellt haben, berücksichtigen und integrieren. Angaben

zu dem verwendeten Zeitlupenfaktor (Sperl et al., 2021) können dazu beitragen, dass Verzerrungen bezogen auf Zeit und Intentionsurteile (Sperl, et al., 2021; Caruso et al., 2016) reduziert werden. Auch ein direktes Feedback bei Videotrainings kann die Entscheidungsgenauigkeit steigern, da die Verbindung zwischen den Entscheidungskriterien und expliziten Hinweisreizen aus der jeweiligen Situation verstärkt wird (Schweizer et al., 2011).

Insgesamt ist es von Vorteil, wenn ein ganzheitliches Videotraining an die Gegebenheiten eines tatsächlichen Spiels angepasst wird. Faktoren wie (1) Zeitdruck bei der Entscheidungsfindung, (2) Zuschauerlärm, (3) Zuschauende, (4) Interagierende Sportlerinnen und Sportler sowie interagierende Trainerinnen und Trainer, (5) Konsequenzen bei falschen Entscheidungen, (6) Körperliche Belastung, (7) vorherige Entscheidungen, sind nur wenige Einflussfaktoren und Kontextinformationen die in ein ganzheitliches Training integriert und dabei systematisch kontrolliert und variiert werden sollten, da bestimmte Kontextinformationen das Entscheidungsverhalten signifikant beeinflussen können (Manuskript 3; Kittel et al., 2021). Auch die Körperliche Belastung scheint nicht nur die Zeitwahrnehmung (Manuskript 2), sondern auch die schlussendliche Entscheidungsgenauigkeit (Samuel et al., 2019) zu beeinflussen. Samuel et al. (2019) konnten zeigen, dass Entscheidungstraining unter körperlicher Belastung dazu führt, dass weniger akkurate Entscheidungen gegen Ende eines Spiels getroffen werden. Weitere Studien die Blickverhalten und visuelles Suchverhalten, beispielsweise mit Eye Tracking, unter systematisch kontrollierten und variierenden Hinweisreizen untersuchten, kamen zu dem Ergebnis, dass ein Training das das visuelle Suchverhalten einschränkt (Videosequenzen unkenntlich machen [engl. blurred video training]) eine bessere Trainingsanpassungen im Videotraining zur Folge hat. Schlüsselinformationen werden schneller erkannt und irrelevante Hinweisreize ignoriert beziehungsweise relevante Hinweise stärker fokussiert (Van Biemen et

al., 2018). Auch vorherige Entscheidungen spielen eine entscheidende Rolle (Plessner & Betsch, 2001). Daher sollten ganzheitliche Trainingsansätze Serien von Entscheidungen und keine randomisierten Foulszenen verwenden, um den Befunden des Game Management Ansatzes (Mascarenhas et al., 2002) gerecht zu werden. Zusätzlich sollte berücksichtigt werden, dass es bei bestimmten ambiguen Handlungen nicht nur eine korrekte Lösung gibt (O'Brien & Rhyne, 2020), sondern auch zwischen akkuraten und adäquaten Entscheidungen unterschieden werden muss (Plessner et al., 2009; Schweizer & Plessner, 2016).

Dies führt auch zu der Frage welchen Mehrwert der Videobeweis für eine objektive, eindeutige Entscheidung bringt (MacMahon, 2015; Spitz et al., 2020). Demnach müsste klar definiert werden, was eindeutige Entscheidungen sind, bei denen ein Videobeweis helfen kann. Doch selbst dann bleiben offene Fragen, wie man Situationen handhabt, in denen kein ausreichendes Videomaterial vorhanden ist (falscher Kamerawinkel, Verdeckung der Situation durch andere Spieler etc.) oder uneindeutige Spielsituationen (sogenannte „Graubereiche“ [Spitz et al., 2020]), in denen keine klare Aussage über eine richtige oder falsche Entscheidung möglich ist.

Auch das zuvor genannte Beispiel aus dem Cricket lässt jedoch die Frage offen, ob die Kosten, die mit der Einführung von Videoschiedsrichterinnen und Videoschiedsrichtern und deren Aufrechterhaltung verbunden sind, dem Nutzen – einer gesteigerten Fairness – wirklich gerecht werden (MacMahon et al., 2015). Diese Frage kann mit Hilfe dieser Dissertation nicht beantwortet werden. Vielmehr sollten die Verantwortlichen der jeweiligen Sportverbände die anfallenden Kosten sowie Spielstatistiken kommunizieren, um so die Diskussion zu den Kosten und Nutzen von Videoschiedsrichterinnen und Videoschiedsrichtern transparent zu machen.

Limitationen und Ausblick

In den Befunden aus den Manuskripten und andere wissenschaftliche Studien (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018) wird der Einfluss von Zeitlupendarbietungen nur unzureichend auf die Befunde zum Game Management von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern (Raab et al., 2020) bezogen. In diesen Studien wurden Foulsituationen oftmals unabhängig vom Spielverlauf und in randomisierter Reihenfolge präsentiert. Die Spielsituation, der Ermessenspielraum der Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter, sowie die Schwellen der Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter werden ignoriert. Zwar wurden Kontextinformationen durch theoretisch relevante Hinweisreize (Zuschauende, Zuschauerlärm) systematisch in einzelne Studien integriert (Manuskript 3) und bestätigen die postulierten Befunde der Wahrnehmungsverzerrung (Caruso et al., 2016), trotzdem bleiben weitere potenzielle Einflussfaktoren wie vorherige Entscheidungen (Plessner & Betsch, 2001), die Foulreihenfolge (Brand et al., 2006) oder individuelle Schwellen von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern (Raab et al., 2020) unbeachtet. Zusätzlich sollten Kontextfaktoren auch bezogen auf die Unterteilung von adäquaten und akkuraten Entscheidungen berücksichtigt werden. Demnach sind akkurate Entscheidungen am Regelwerk orientiert, wohingegen adäquate Entscheidungen situationsangemessen getroffen werden (Plessner et al., 2009; Schweizer & Plessner, 2016). Situationsangemessene Entscheidungen wurden bisher, bezogen auf Zeiturteile und Intentionsattribution in Zeitlupenvideos, nur unzureichend untersucht, da verwendete Videos losgelöst vom vorherigen Spielgeschehen, der Spieldynamik und in randomisierter Reihenfolge präsentiert wurden. Kritische Szenen können in zahlreichen Sportarten nicht nur in Zeitlupe, sondern auch mehrfach betrachtet werden. Die Darbietungshäufigkeit kann jedoch auch die Wahrnehmung von Zeit und Dauer beeinflussen (Hintzmann, 1970). Daher sollte dieser Aspekt der mehrfachen Betrachtung auch in zukünftigen Studien berücksichtigt werden.

Zusätzlich wurden in den präsentierten Manuskripten keine Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter in realen Settings untersucht. Schiedsrichterverhalten wurde unter experimentell kontrollierten, aber künstlich-experimentellen Bedingungen, vor einem Computer, frei von Stress und Handlungskonsequenzen erfasst. Die Ergebnisse lassen sich daher nicht direkt auf das Verhalten von Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern auf dem Feld übertragen, sondern bieten vielmehr einen Anhaltspunkt für zukünftige Forschung.

Nach dem Prozessmodell von Plessner und Haar (2006) greifen Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter auf ihr Regelwissen und ihre Erfahrung zurück, insbesondere dann, wenn potenzielle Foulszenen erkannt werden und ihnen Bedeutung zugewiesen wird, sodass sie als regelwidriges Verhalten kategorisiert werden können. Bezogen auf die Erfahrung in der Verwendung von Videomaterial in Zeitlupe stellt sich die Frage, ob Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter, die im Umgang mit Zeitlupenvideos durch das Verwenden dieser im Spielalltag oder durch Trainings, erfahrener sind, weniger Anfällig für Verzerrungen sind. Caruso et al. (2016) konnten zeigen, dass Versuchspersonen, die auf die Wahrnehmungsverzerrung hingewiesen wurden, in Zeitlupe deutlich weniger Intention attribuierten, verglichen mit Versuchspersonen, ohne einen solchen Hinweis. Trotz alledem fiel die Intentionsattribution in Zeitlupe höher aus, als die in Echtzeit. Auch Sperl et al. (2021) konnten zeigen, dass Versuchspersonen, die auf den Zeitlupenfaktor des Videos aufmerksam gemacht wurden, weniger verzerrte Zeit berichteten. Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter, die bereits auf mögliche Wahrnehmungsverzerrungen und Zeitlupenfaktoren aufmerksam gemacht wurden, könnten demnach weniger von den berichteten Verzerrungen betroffen sein. Zukünftige Studien, die sich konkret mit der Intentionszuschreibung beschäftigen, sollten in ihrer Stichprobenauswahl auf Schiedsrichterinnen und Schiedsrichtern in realen Settings zurückgreifen.

Die wissenschaftlichen Befunde aus dieser Dissertation können die Aussage des DFB-Videochef, Jochen Drees, "[...] Dadurch lässt sich erneut zweifelsfrei belegen, dass der Fußball in der Bundesliga durch die Arbeit der Video-Assistenten gerechter und fairer geworden ist" (DFB, 2019) nicht ganzheitlich bestätigen. Das Verwenden von Zeitlupenvideos führt zu Wahrnehmungsverzerrungen, welche die durch den VAR neu gewonnene Entscheidungsgenauigkeit konterkarieren können. Werden die in dieser Dissertation gesammelten Befunde in der Praxis berücksichtigt, kann der VAR zu mehr Fair-Play im Sport führen.

Literatur

- Allman, M. J., Teki, S., Griffiths, T. D., & Meck, W. H. (2014). Properties of the internal clock: first-and second-order principles of subjective time. *Annual Review of Psychology*, *65*, 743-771. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115117>
- Bennis, W. M., & Pachur, T. (2006). Fast and frugal heuristics in sports. *Psychology of sport and exercise*, *7*(6), 611-629. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.06.002>
- Block, R. A., Hancock, P. A., & Zakay, D. (2010). How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. *Acta Psychologica*, *134*, 330–343. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.03.006>
- Bloß, N., Schorer, J., Loffing, F., & Büsch, D. (2020). Physical load and referees' decision-making in sports games: A scoping review. *Journal of Sports Science & Medicine*, *19*(1), 149.
- Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *14*(5), 377–381. <https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>
- Brand, R., Schmidt, G., & Schneeloch, Y. (2006). Sequential effects in elite basketball referees' foul decisions: An experimental study on the concept of game management. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *28*(1), 93-99. <https://doi.org/10.1123/jsep.28.1.93>
- Brown, J.F. (1931). The visual perception of velocity. *Psychol. Forsch.* *14*, 199–232. <https://doi.org/10.1007/BF00403873>
- Brunswick, E. (1952). *The conceptual framework of psychology* (Vol. 1, No. 10). University of Chicago Press.

- Caruso, E. M., Burns, Z. C., & Converse, B. A. (2016). Slow motion increases perceived intent. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(33), 9250–9255. <https://doi.org/10.1073/pnas.1603865113>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87-101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- Church, R. M. (1984). Properties of the internal clock. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423(1), 566-582.
- Darley, J. M., & Latané, B. (1968). Bystander intervention in emergencies: Diffusion of responsibility. *Journal of Personality and Social Psychology*, 8(4), 377–383. <https://doi.org/10.1037/h0025589>
- Deutscher Fußball Bund. (2017). Grundsätzliche Informationen zum Video-Assistenten. DFB. <https://www.dfb.de/sportl-strukturen/schiedsrichter/video-assistent/>
- Deutscher Fußball Bund. (2022). Video-Assistenten-FAQ. DFB. <https://www.dfb.de/sportl-strukturen/schiedsrichter/video-assistenten-faq/>
- Deutscher Fußball Bund. (2019). Saisonbilanz: Video-Assistent verhindert 82 Fehlentscheidungen. DFB. <https://www.dfb.de/news/detail/saisonbilanz-video-assistent-verhindert-82-fehlentscheidungen-203872/>
- Di Salvo, V., Carmont, M. R., & Maffulli, N. (2012). Football officials' activities during matches: A comparison of activity of referees and linesmen in European, Premiership and Championship matches. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 1(3), 106.
- Dohmen, T., & Sauermaun, J. (2016). Referee bias. *Journal of Economic Surveys*, 30(4), 679-695. <https://doi.org/10.1111/joes.12106>
- Droit-Volet, S. (2018). Intertwined facets of subjective time. *Current Directions in Psychological Science*, 27(6), 422-428. <https://doi.org/10.1177/0963721418779978>

- Drust, B., Reilly, T., & Cable, N. T. (2000). Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *Journal of Sports Sciences, 18*(11), 885-892. <https://doi.org/10.1080/026404100750017814>
- Eagleman, D. M. (2004). Time perception is distorted during slow motion sequences in movies. *Journal of Vision, 4*, 491. <https://doi.org/10.1167/4.8.491>
- Eagleman, D. M. (2008). Human time perception and its illusions. *Current Opinion in Neurobiology, 18*(2), 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.06.002>
- Edwards, A. M., & McCormick, A. (2017). Time perception, pacing and exercise intensity: Maximal exercise distorts the perception of time. *Physiology & Behavior, 180*, 98-102. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.08.009>
- Fédération Internationale de Football Association (2018). FIFA World Cup Russia 2018: refereeing statistics. FIFA. <https://fifa-backend.pressfire.net/media/newsletter/FWC18-Refereeing-VAR-Report-Statistics-Finals-STATS.pdf>
- Findlay, L. C., & Ste-Marie, D. (2004). A reputation bias in figure skating. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 26*, 154–166. <https://doi.org/10.1123/jsep.26.1.154>
- Frank, M. G., & Gilovich, T. (1988). The dark side of self- and social perception: Black uniforms and aggression in professional sports. *Journal of Personality and Social Psychology, 54*(1), 74–85. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.54.1.74>
- Furley, P., Schweizer, G., & Bertrams, A. (2015). The two modes of an athlete: Dual-process theories in the field of sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology, 8*(1), 106-124. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2015.1022203>
- Garicano, L., Palacios-Huerta, I., & Prendergast, C. (2005). Favoritism under social pressure. *Review of Economics and Statistics, 87*(2), 208-216. <https://doi.org/10.1162/0034653053970267>

- Garms-Homolová, V. (2021). Attributionstheorien und Suche nach Ursachen sozialer Ereignisse. In V. Garms-Homolová (Ed.), *Sozialpsychologie der Informationsverarbeitung über das Selbst und die Mitmenschen* (1st ed., pp. 33-45). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62922-2_3
- Han, B., Chen, Q., Lago-Peñas, C., Wang, C., & Liu, T. (2020). The influence of the video assistant referee on the Chinese Super League. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 15(5-6), 662-668. <https://doi.org/10.1177/1747954120938984>
- Hanson, N. J., & Lee, T. L. (2017). Time flies when you're at RPE13: How exercise intensity influences perception of time. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(12), 3546-3553. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002221>
- Heider, F., & Simmel, M. (1944) An experimental study of apparent behavior. *Am. J. Psychol.* 57, 243–249
- Heider, F. (1958). Perceiving the other person. In F. Heider (Ed.), *The psychology of interpersonal relations* (1st ed., pp. 20–58). John Wiley & Sons Inc. <https://doi.org/10.1037/10628-002>
- Helsen W., MacMahon C., & Spitz J. (2019) Decision making in match officials and judges. In A. M. Williams & R. C. Jackson (Eds.), *Anticipation and Decision Making in Sport* (pp. 250-266). Routledge.
- Helsen, W., & Bultynck, J. B. (2004). Physical and perceptual-cognitive demands of top-class refereeing in association football. *Journal of Sports Sciences*, 22(2), 179-189. <https://doi.org/10.1080/02640410310001641502>
- Hintzman, D. L. (1970). Effects of repetition and exposure duration on memory. *Journal of Experimental Psychology*, 83(3), 435–444. <https://doi.org/10.1037/h0028865>

- Hintzman, D. L., Summers, J. J., & Block, R. A. (1975). What causes the spacing effect? Some effects of repetition, duration, and spacing on memory for pictures. *Memory & Cognition*, 3(3), 287–294. <https://doi.org/10.3758/BF03212913>
- Holder, U., Ehrmann, T., & König, A. (2021). Monitoring experts: Insights from the introduction of video assistant referee (VAR) in elite football. *Journal of Business Economics*, 92, 285–308. <https://doi.org/10.1007/s11573-021-01058-5>
- International Football Association Board (2022). Spielregeln 22/23. IFAB. <https://downloads.theifab.com/downloads/spielregeln-2022-23?l=de>
- Impellizzeri, F.M., Marcora, S.M., & Coutts, A.J. (2019) Internal and external training load: 15 years on. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 270–273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>
- Jones, M. V., Paull, G. C., & Erskine, J. (2002). The impact of a team’s reputation on the decisions of association football referees. *Journal of Sports Sciences*, 20, 991–1000. <https://doi.org/10.1080/026404102321011751>
- Kanai, R., Paffen, C. L. E., Hogendoorn, H., & Verstraten, F. A. J. (2006). Time dilation in dynamic visual display. *Journal of Vision*, 6, 1421–1430. <https://doi.org/10.1167/6.12.8>
- Kebeck, G. (1997). Wahrnehmung: Theorien, Methoden und Forschungsergebnisse der Wahrnehmungspsychologie [Perception. Theories, methods and research findings of the psychology of perception]. Juventa.
- Kubayi, A., Larkin, P., & Toriola, A. (2021). The impact of video assistant referee (VAR) on match performance variables at men’s FIFA World Cup tournaments. *Journal of Sports Engineering and Technology*, 1–5. <https://doi.org/10.1177/1754337121997581>

- Lago-Peñas, C., Ezequiel, R., & Anton, K. (2019). How does Video Assistant Referee (VAR) modify the game in elite soccer? *Int J Perform Anal Sport*, *19*(4), 646–653. <https://doi.org/10.1080/24748668.2019.1646521>
- Lago-Peñas, C., Gómez, M.A., & Pollard, R. (2020). The effect of the Video Assistant Referee on referee's decisions in the Spanish LaLiga. *International Journal of Sports Science & Coaching*, *16*(3), 824-829. <https://doi.org/10.1177/1747954120980111>
- Lambourne, K. (2012). The effects of acute exercise on temporal generalization. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *65*(3), 526-540. <https://doi.org/10.1080/17470218.2011.605959>
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, *1341*, 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.091>
- Lex, H., Pizzera, A., Kurtes, M., & Schack, T. (2015). Influence of players' vocalisations on soccer referees' decisions. *European Journal of Sport Science*, *15*(5), 424-428. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.962620>
- Löw, J. (2022). *Der Videobeweis und sein Einsatz bei den Spielen der XXXII. Olympiade (Tokio 2020)* [Unveröffentlichte Bachelorarbeit]. Universität Heidelberg
- MacMahon, C., Mascarenhas, D. R. D., Plessner, H., Pizzera, A., Oudejans, R., & Raab, M. (2015). *Sports officials and officiating: Science and practice*. Routledge.
- Mallo, J., Frutos, P. G., Juárez, D., & Navarro, E. (2012). Effect of positioning on the accuracy of decision making of association football top-class referees and assistant referees during competitive matches. *Journal of Sports Sciences*, *30*(13), 1437-1445. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.711485>

- Mascarenhas, D. R. D., Collins, D., & Mortimer, P. (2002). The art of reason versus the exactness of science in elite refereeing: Comments on Plessner and Betsch (2001). *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *24*, 328-333.
- Marcora, S. M., Bosio, A., & de Morree, H. M. (2008). Locomotor muscle fatigue increases cardiorespiratory responses and reduces performance during intense cycling exercise independently from metabolic stress. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *294*(3), 874–883.
<https://doi.org/10.1152/ajpregu.00678.2007>
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, *106*(3), 857–864.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
- Mather, G. (2020). A Step to VAR: The vision science of offside calls by video assistant referees. *Perception*, *49*(12), 1371-1374.
<https://doi.org/10.1177/0301006620972006>
- Mather, G., & Breivik, S. (2020). Is the perception of intent by association football officials influenced by video playback speed? *Royal Society Open Science*, *7*, 192026. <https://doi.org/10.1098/rsos.192026>
- Matthews, W. J., Stewart, N., & Wearden, J. H. (2011). Stimulus intensity and the perception of duration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *37*, 303–313. <https://doi.org/10.1037/a0019961>
- McMorris, T. (2021). The acute exercise-cognition interaction: From the catecholamines hypothesis to an interoception model. *International Journal of Psychophysiology*, *170*, 75-88. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.10.005>

- McMorris, T., Myers, S., MacGillivray, W. W., Sexsmith, J. R., Fallowfield, J., Graydon, J., & Forster, D. (1999). Exercise, plasma catecholamine concentrations and decision-making performance of soccer players on a soccer-specific test. *Journal of Sports Sciences*, 17(8), 667-676. <https://doi.org/10.1080/026404199365687>
- Meck, W. H. (1983). Selective adjustment of the speed of internal clock and memory processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 9, 171-201.
- Memmert, D. (2019). *Fußballspiele werden im Kopf entschieden: Kognitives Training, Kreativität und Spielintelligenz im Amateur- und Leistungsbereich*. Meyer & Meyer.
- Michotte, A. (1963). *The perception of causality*. Basic Books.
- Nevill, A. M., Balmer, N. J., & Williams, A. M. (2002). The influence of crowd noise and experience upon refereeing decisions in football. *Psychology of Sport and Exercise*, 3(4), 261-272. [https://doi.org/10.1016/S1469-0292\(01\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S1469-0292(01)00033-4)
- Nevill, A., Balmer, N., & Williams, M. (1999). Crowd influence on decisions in association football. *The Lancet*, 353(9162), 1416. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(99\)01299-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)01299-4)
- Paulsen, H. (2021). *Psychologie für Schiedsrichter: Souverän urteilen und entscheiden*. Meyer & Meyer.
- Penton-Voak, I. S., Edwards, H., Percival, A., & Wearden, J. H. (1996). Speeding up an internal clock in humans? Effects of click trains on subjective duration. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 22, 307–320. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.22.3.307>
- Petty, R. E., & Cacioppo, J. T. (1986). The elaboration likelihood model of persuasion. In R. E. Petty & J. T. Cacioppo (Eds.), *Communication and persuasion* (1st ed., pp. 1-24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4964-1_1

- Plessner, H., & Betsch, T. (2001). Sequential effects in important referee decisions: The case of penalties in soccer. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 23(3), 254-259. <http://doi.org/10.1123/jsep.23.3.254>
- Plessner, H., & Haar, T. (2006). Sports performance judgments from a social cognitive perspective. *Psychology of Sport and Exercise*, 7(6), 555-575. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.03.007>
- Plessner, H., & MacMahon, C. (2013). The sport official in research and practice. *Developing Sport Expertise: Researchers and coaches put theory into practice*, 71-95.
- Plessner, H., & Raab, M. (1999). Kampf- und Schiedsrichterurteile als Produkte sozialer Informationsverarbeitung. *Psychologie und Sport*, 6(4), 130-145.
- Plessner, H., Schweizer, G., Brand, R., & O'Hare, D. (2009). A multiple-cue learning approach as the basis for understanding and improving soccer referees' decision making. *Progress in Brain Research*, 174, 151-158. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(09\)01313-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(09)01313-2)
- Pronin, E. (2013). When the mind races: Effects of thought speed on feeling and action. *Current Directions in Psychological Science*, 22, 282-88. <https://doi.org/10.1177/096372141348232>
- Put, K., Wagemans, J., Pizzera, A., Williams, A.M., Spitz, J., Savelsbergh, G.J.P., & Helsen, W.F. (2016). Faster, slower or real time? Perceptual cognitive skills training with variable video speeds. *Psychology of Sport and Exercise*, 25, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2016.03.007>
- Raab, M., & Helsen, W. (2015). How experts make decisions in dynamic, time-constrained sporting environments. In J. Baker & D. Farrow (Eds.), *Routledge handbook of sport expertise* (1st ed., pp. 64-73). Routledge.

- Raab, M., Avugos, S., Bar-Eli, M., & MacMahon, C. (2020). The referee's challenge: A threshold process model for decision making in sport games. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, *14*(1), 208-228.
<https://doi.org/10.1080/1750984X.2020.1783696>
- Rammsayer, T. H. (2014). The effects of type of interval, sensory modality, base duration, and psychophysical task on the discrimination of brief time intervals. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *76*(4), 1185–1196. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0655-x>
- Russell, S., Renshaw, I., & Davids, K. (2019). How interacting constraints shape emergent decision-making of national-level football referees. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*, *11*(4), 573-588.
<https://doi.org/10.1080/2159676X.2018.1493525>
- Samuel, R. D., Galily, Y., Filho, E., & Tenenbaum G. (2020). Implementation of the video assistant referee (VAR) as a career change-event: The Israeli Premier League case study. *Frontiers in Psychology*, *11*, 564-855.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.564855>
- Samuel, R. D., Galily, Y., Guy, O., Sharoni, E., & Tenenbaum, G. (2019). A decision-making simulator for soccer referees. *International Journal of Sports Science & Coaching*, *14*(4), 480–489. <https://doi.org/10.1177/1747954119858696>
- Schlüter, A., & Zander B. (2022, 15. August). KMD #135 - Deniz Aytakin Vol. II [Audio-Podcast]. In *kicker meets DAZN - Der Fußball Podcast*. Kicker / DAZN.
<https://www.dazn.com/de-DE/news/fußball/deniz-aytekin-exklusiv-im-kmd-podcast/wf1vn9ua0nbu1gjvdd2r9h6hc>

- Schmidt, S. L., Schmidt, G. J., Padilla, C. S., Simões, E. N., Tolentino, J. C., Barroso, P. R., Narciso, J. H., Godoy, E. S., & Costa Filho, R. L. (2019). Decrease in attentional performance after repeated bouts of high intensity exercise in association-football referees and assistant referees. *Frontiers in Psychology, 10*, 2014. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02014>
- Scholl, B. J., & Tremoulet, P. D. (2000). Perceptual causality and animacy. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(8), 299-309. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01506-0](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01506-0)
- Schweizer, G., & Plessner, H. (2016). The accuracy-adequacy model: A theoretical perspective for understanding referees' decisions. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 87*(S1), S 82.
- Schweizer, G., Plessner, H., Kahlert, D., & Brand, R. (2011). A video-based training method for improving soccer referees' intuitive decision-making skills. *Journal of Applied Sport Psychology, 23*(4), 429-442. <https://doi.org/10.1080/10413200.2011.555346>
- Sors, F., Tomé Lourido, D., Parisi, V., Santoro, I., Galmonte, A., Agostini, T., & Murgia, M. (2019). Pressing crowd noise impairs the ability of anxious basketball referees to discriminate fouls. *Frontiers in Psychology, 2380*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02380>
- Sperl, L., Hüttner, N., & Schröger, A. (2021). Why do actions in slow motion videos appear to last longer? On the effect of misconceiving video speed. *Perception, 50*(1), 69-79. <https://doi.org/10.1177/0301006620982212>
- Spitz, J., Moors, P., Wagemans, J., & Helsen, W. F. (2018). The impact of video speed on the decision-making process of sports officials. *Cognitive Research: Principles and Implications, 3*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0105-8>

- Spitz, J., Put, K., Wagemans, J., Williams, A. M., & Helsen, W. F. (2016). Visual search behaviors of association football referees during assessment of foul play situations. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 1(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s41235-016-0013-8>
- Spitz, J., Put, K., Wagemans, J., Williams, A. M., & Helsen, W. F. (2017). Does slow motion impact on the perception of foul play in football? *European Journal of Sport Science*, 17(6), 748–756. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1304580>
- Spitz, J., Wagemans, J., Mennert, D., Williams, A.M., & Helsen, W.F. (2020). Video assistant referees (VAR): The impact of technology on decision making in association football referees. *Journal of Sports Sciences*, 39(2), 147-153. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1809163>
- Sutter, M., & Kocher, M. G. (2004). Favoritism of agents—the case of referees' home bias. *Journal of Economic Psychology*, 25(4), 461-469. [https://doi.org/10.1016/S0167-4870\(03\)00013-8](https://doi.org/10.1016/S0167-4870(03)00013-8)
- Thomas, M. (1999). Einblicke in die Geschichte sportlicher Wettkämpfe und deren Entwicklung. In G. Thieß (Hrsg.), *Handbuch zur Wettkampflehre* (1. Aufl., S. 55-100). Meyer und Meyer.
- Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval. Implications for a model of the “internal clock”. *Psychological Monographs*, 77, 1–31. <https://doi.org/10.1037/h0093864>
- Treisman, M., Faulkner, A., Naish, P. L. N., & Brogan, D. (1990). The internal clock: Evidence for a temporal oscillator underlying time perception with some estimates of its characteristic frequency. *Perception*, 19, 705–742. <https://doi.org/10.1068/p190705>

Tse, P. U., Intriligator, J., Rivest, J., & Cavanagh, P. (2004). Attention and the subjective expansion of time. *Perception & Psychophysics*, *66*, 1171–1189.

<https://doi.org/10.3758/bf03196844>

UEFA. (2021). Man in the middle. UEFA TV. <https://www.uefa.tv/playlist/5595>

Unkelbach, C., & Memmert, D. (2008). Game management, context effects, and calibration: The case of yellow cards in soccer. *Journal of Sports and Exercise Psychology*, *30*(1), 95-109. <https://doi.org/10.1123/jsep.30.1.95>

Unkelbach, C., & Memmert, D. (2010). Crowd noise as a cue in referee decisions contributes to the home advantage. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *32*(4), 483-498. <https://doi.org/10.1123/jsep.32.4.483>

van Biemen, T., Koedijker, J., Renden, P. G., & Mann, D. L. (2018). The effect of blurred perceptual training on the decision making of skilled football referees. *Frontiers in Psychology*, *9*, 1803–1803. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01803>

Vercruyssen, M., Hancock, P. A., & Mihaly, T. (1989). Time estimation performance before, during, and following physical activity. *Journal of Human Ergology*, *18*(2), 169-179.

A n h a n g

Anhang A1 – Manuskript 1

Anhang A2 – Manuskript 2

Anhang A3 – Manuskript 3

Erklärung gemäß § 8 Abs. (1) c) und d) der Promotionsordnung der Fakultät

Anhang A1 – Manuskript 1

The Impact of Video Speed on the Estimation of Time Duration in Sport

Abstract

We investigated the impact of video speed on judging the duration of sports performance. In three experiments we investigated whether the speed of video presentation (slow motion vs. real time) has an influence on the accuracy of time estimation of sporting activities ($n_1 = 103$; $n_2 = 100$; $n_3 = 106$). In all three studies, the time estimation was more accurate in real time than in slow motion, in which time was overestimated. In two studies we initially investigated whether actions in slow motion are perceived to last longer because the distance they cycled or run are perceived to be longer ($n_4 = 92$; $n_5 = 106$). Our results support the hypothesis that the duration of sporting activities is estimated more accurately when they are presented in real time than in slow motion. Sporting officials' judgments that require accurate time estimation may thus be biased when based on slow-motion displays.

Keywords: judging sports performance, time perception, presentation mode, slow motion,

The Impact of Video Speed on the Estimation of Time Duration in Sport

In the 20th minute of the Rugby World Cup final 2015, Dan Carter, New Zealand's number 10, was tackled hard by an Australian opponent seemingly after passing the ball, a so-called Late Tackle¹. Nigel Owens, the game's referee, wasn't sure about the incident and required the scene to be played in "TMO" (Television Match Official), the world rugby association's video support system, which can play the requested scenes both in real time and in slow motion (World Rugby, 2015). The scene was immediately displayed on the stadium's screen in slow motion and the crowd groaned as response to the apparent heavy foul play. Interestingly, Nigel Owens seemed to be skeptical towards judgments based on slow motion displays. He specifically asked for the real-time speed of the video to better assess the situation. On the basis of the real-time display, he chose a relatively mild penalty for the Late Tackle offense. He justified his decision, as the defending player could not have slowed down the already started tackle after the ball was passed. This situation from the Rugby World Cup 2015 suggests that at least in some situations, real-world referees seem to be wary about basing their judgments on slow-motion videos. However, does psychological research suggest that this wariness is justified?

The tendency to support referees and judges in their decision-making processes with video footage has become more and more common in many sports such as football, rugby, volleyball or gymnastics. The goal here is to "[...] ensure accurate and consistent decisions are made on the field in a timely and efficient manner" (World Rugby, 2015b) and to make the sport more transparent and fairer (DFB, 2017). In order to achieve these objectives, one crucial element of video support systems is the opportunity for officials to watch videos of incidents both in real time and in slow motion. The rationale for this approach is that watching an incident in slow motion is widely believed to increase accuracy and thus quality of judgments. Among others, it is believed that slow motion helps to better assess the

formation of actors' intent. Ideally slow-motion footage should work like a magnifying glass, providing more details and helping to see the situation more clearly and more accurately (Caruso et al., 2016).

So far, there is surprisingly little research on the consequences of slow-motion displays for observation and judgments of human behavior in general and sports performance in particular. The present research aims at contributing to the debate about the validity of video control by investigating whether humans judge sports performances to last longer when observing them in slow motion than in real time. As we will argue below, seemingly simple judgments of duration (e.g., how long did it take an athlete to run from A to B) may underlie more complex and more consequential judgments (e.g., was this incident severe foul play).

Previous Findings on the Role of Slow Motion for Judgments

Time perception has been studied since at least William James (1890), and research into time perception has created an extensive body of literature (for excellent and detailed reviews on time-perception research see Matthews & Meck, 2014, 2016). However, psychological research on time perception provides few starting points for research on the question whether humans judge sports performances to last longer when observing them in slow motion than in real time, as most theories and findings refer to the perception of the duration of the presentation of a stimulus, which is different from the question we aim to investigate: We are not interested into the question how long humans estimate the *presented videos* to be. Instead, we are interested into the question how long they perceive the *depicted action* to be, particularly so when the duration of the action varies from the duration of its presentation (as when it is presented in slow motion). However, there is research into the judgment of actions depicted in different video speeds from sport and legal psychology.

There are several studies on the relationship between video speed and human judgments. Put, Wagemans, Pizzera and colleagues (2016) report that video speed affects

referee performance in offside situations. In their studies, international football referees improved their performance regarding offside decisions when viewing videos with decreasing speed (i.e., with first 125%, then 100%, last 75% of the real speed) as compared to increasing speed. Further, referees increased their accuracy in offside decisions when viewing the videos at their original or increased speed compared to videos at reduced speed. Spitz, Put, Wagemans, Williams and Helsen (2017) report that referees' accuracy for technical decisions (e.g., corner kicks) were higher in slow motion, however not their accuracy for disciplinary decisions (e.g., potential foul play). More expertise led to more accuracy on average, but there was no interaction with mode of presentation. Spitz, Moors, Wagemans and Helsen (2018) report that referees punish fouls stricter (i.e., they give more red cards) when watching them in slow motion than when watching them in real time. Caruso, Burns and Converse (2016, Study 2) report that participants perceived tackles from National Football League (NFL) players to be more intentional if they saw them in slow motion instead of real time. Importantly, this effect was mediated by the participants' perception that the infringing player had more time to assess the situation. In the same vein, in another study by Caruso and colleagues, (2016, Study 1), participants watching the video of a homicide in slow motion rated the crime as more deliberate, thoughtful, and intentional. Apparently, they perceived the period of time as longer and felt that the offender had more time to think and act, which in turn made them more likely to unanimously convict the offender.

Taken together, the studies described above paint an ambiguous picture of video speed's influence on referees' judgments and decisions. There seems to be some evidence that altering video speed may improve decisions regarding technical incidents, such as offside decisions or corner kicks. These findings are in line with the notion that slow motion may serve as some sort of magnifying glass that allows referees to perceive relevant cues more clearly, because they have more time for perception. At the same time, perceptions of duration

are not relevant for these kinds of decisions: Whether a ball crossed the line slowly or fast does not matter for deciding whether it was out-of-bounds or not.

On the other hand, there is at least some evidence suggesting that humans judge actions more harshly when perceiving them in slow motion, presumably, because they perceive the underlying time to be longer and, thus, the respective action to be more intentional (Spitz et al., 2018, Caruso et al., 2016). For these kinds of decisions, the perception of duration matters. If it is true that humans judge actions more harshly when perceiving the underlying time to be longer, this finding might have consequences for the use of slow-motion replays in certain situations (e.g., potential foul play). It is in this vein that Spitz and colleagues instructed the participants in their authoritative study on the impact of technology on refereeing decisions to use slow-motion replays only for certain situations, and not for others. Their instructions were in line with the IFAB's official guidelines as expressed in the Laws of the Game (2020): The Laws of the Game recommend that slow-motion replays only be used for "facts" (e.g., position of offence/player, ball out of play, goal or no goal) (IFAB, 2020, p.145). However, "normal speed should be used for the intensity of an offence or to decide whether it was a handball offence" (IFAB, 2020, p.145).

Despite the above reported findings and guidelines, so far there is only scarce evidence for the notion that humans perceive actions in slow motion to last longer than in real time, and there is no evidence at all regarding the question whether perception of time is more accurate when perceiving actions in slow motion or in real time. Thus, it is possible that humans do not overestimate the duration of actions in slow motion, but that they underestimate their duration in real time. With the present research, first, we aim to gather more evidence on the question whether humans indeed perceive actions to last longer when shown in slow motion than in real time. Second, we aim to investigate into the question whether estimations of actions in

real time are indeed more accurate than estimations of actions shown in slow motion, as often assumed but never shown in previous research.

The Present Research

In order to investigate whether video speed influences the accuracy of time estimations of sports activities we conducted five different experiments ($N_{\text{Total}} = 507$). In these studies, we assessed how slow motion influences duration judgments of sports performances and how slow motion influences judgments of distance covered by these performances (e.g., running over a certain extent). In Study 1 ($N = 103$), Study 2 ($N = 100$), and Study 3 ($N = 106$), we investigated the influence of video speed on the estimation of duration. In order to reduce the likelihood that our results depend on a specific set of stimulus material (Wells & Windschitl, 1999) we conducted several experiments with systematically varying stimuli. Between experiments we varied the activity depicted, the average time that needed to be judged, the camera perspective and whether the signals that marked the start and end of each sequence were stationary or dynamic. Thus, participants had to judge the duration of athletic runs (Study 1), a cyclist racing (Study 2), and the time differences of two performances (parallel slalom) (Study 3). With reference to the proposed distinction by Spitz and colleagues (2017) between technical and disciplinary decisions, these tasks would tend to belong to the former. Generally speaking, in technical tasks intentionality of the sporting actions does not play a role. Referees are thus not required to make judgements regarding intentionality in these cases. All videos of these performances were either presented in slow motion or in real time.

Literature shows that temporal and spatial estimation is dependent when it comes to estimate time (e.g., Loeffler, Cañal-Bruland, Schroeger et al., 2018). Consequently, we investigated whether performances judged in slow motion are perceived to last longer because the underlying distance (e.g., the distance an athlete was running) is perceived to be longer. The following studies should be seen as ‘initial investigations’ into the mechanisms

responsible for altered perceptions of duration of sporting actions when viewed slow motion. In Study 4 ($N = 92$) and Study 5 ($N = 106$), participants had to judge the distance of the same athletic runs and cyclist tracks that were used in Study 1 and 3, either presented in slow motion or in real time.

General Method

Here, we describe the rationale common to all five studies. In the sections below we describe characteristics unique to each study. In all studies, participants were informed about the procedure and the risks of the study in oral and written form. Participants gave their consent before participating voluntarily in the study and were thanked and debriefed before receiving some candy as compensation for participating. Participants were neither paid, nor were they incentivized dependent on their performance. Studies on time estimation (Studies 1-3) were preregistered (<https://aspredicted.org/blind.php?x=7s6xh7>). We planned to total 100 participants per study. According to G*Power, 97 participants are required in order to obtain a power of .9 to detect a small-to-medium sized effect ($d = .3$) at $p < .05$ when using a one-tailed test (which we consider justified as our hypotheses are directional). 100 participants would still yield a power of .84 to detect a small-to-medium sized effect ($d = .3$) at $p < .05$ when using a two tailed test. Deviations from the planned sample sizes occurred due to conservative planning.

All five studies employed a 2×2 mixed design (within-subjects factor: video speed [slow motion, real time], between-subjects factor: order [first slow-motion then real-time presentation of video clips and vice versa]). The dependent variable in Studies 1, 2, and 3 was participants' estimation of time. The dependent variable in Studies 4 and 5 was participants' estimation of distance covered by the depicted athletes. All five studies used different samples of participants.

After participants gave their consent, they were randomly assigned to the conditions. All participants watched 15 randomly displayed videos of athletic activities. The videos were presented in real time and in slow motion. One group started watching 15 randomly displayed real-time videos before watching the same videos in slow motion. The other group watched the same 15 randomly displayed slow-motion videos before watching the same videos in real time. In Studies 1, 2, and 3, after each video participants were asked to estimate the duration of the athletic activities (in milliseconds²). In Studies 4 and 5, after each video participants were asked to estimate the distance athletes depicted in the videos had covered (in meters).

In total, we tested four hypotheses, two of them in Studies 1-3 and two of them in Studies 4-5. In Studies 1, 2, and 3 we tested the following two hypotheses: Time is estimated to be longer in the slow-motion condition than in the real-time condition (*hypothesis 1*). Time estimation in the real-time condition is closer to the actual time than in the slow-motion condition (*hypothesis 2*). In Studies 4 and 5 we tested the following two hypotheses: Distance is estimated to be longer in the slow-motion condition than in the real-time condition (*hypothesis 3*). Distance estimation in the real-time condition is closer to the actual distance than in the slow-motion condition (*hypothesis 4*). Data collection was conducted between November 2018 and July 2019. In order to limit extreme values in the statistical data to reduce the effect of possibly spurious outliers we winsorized the data of all 5 studies (Field, 2018)³.

To test our first hypothesis, we compared the average estimated time in the real-time condition to the average estimated time in the slow-motion condition, independent of the between-condition (order). The between condition was used as a safeguard against order effects. Thus, we were able to analyze the data via dependent-sample t-tests. To test our second hypothesis two new variables were created. For these variables we subtracted the mean real-time estimation (absolute value) from the actual time of the sports performance.

The same was done for the slow-motion estimation. We then compared the newly-created variables in order to investigate which estimates were closer to the actual values. The third and fourth hypothesis were analyzed in the same manner, with estimates of distance instead of estimates of time. Additionally, we plotted density distributions of real-time and slow-motion estimates. Density distributions provide additional insights into the nature of potential results.

Study 1

Introduction

This preregistered study investigated the influence of video speed (slow motion vs. real time) on the accuracy of duration estimations of athletic movements. The goal of this study was to investigate whether video speed can change the subjective estimation of duration. We investigated the difference in duration estimation in slow-motion and real-time videos – compared to the actual, objective duration of an action. To our knowledge no study has investigated the subjective interpretation of duration with the help of objective comparative values – such as the objectively measured correct time of a specific action.

Method

Participants

A total of 103 participants (58 women), age 18 to 53 years ($M = 23.18$, $SD = 4.15$) participated in this study. Participants were sport science undergraduates from Heidelberg University.

Procedure

Participants ($N = 103$) had to judge the duration of athletic runs that were either presented in slow motion or in real time (in milliseconds).

Video Material

We recorded 15 videos of a female athlete running different distances. These videos were presented in real time and in slow motion (slowed down by a factor of 4, meaning that

the slow-motion videos last 4 times longer than the real-time videos (same slow-motion mode as used by Spitz et al., 2018). In the video clips the athlete was running in between two traffic cones, doing a running start. The shortest distance was 10 meters and the longest 48 meters (see Table 1 for all distances). The athlete was instructed to run as fast as possible. The athlete's performance duration was measured by two independent judges using a stop watch. Subsequently, we averaged both measurements per distance. Performance duration varied between 2.09 seconds for the shortest distance and 8.20 seconds for the longest distance (see Table 1 for all performance times). The background for the videos was selected so that the surrounding area would not provide any reference points or indicators for track length. The camera was set to film the performance from one side, so that the athlete would always run from the left to the right (as shown in Figure 1). The entire run was in view of the camera. The camera perspective was kept constant across the respective run and across all videos.

Results

To test our first hypothesis, we compared the average estimated duration in the real-time condition to the average estimated duration in the slow-motion condition, independent of the between-condition (order). Participants estimated the sprinting duration in the slow-motion videos ($M = 7243$ ms, $SD = 3175$) to be longer than in the real-time videos ($M = 5701$ ms, $SD = 1520$), $t(102) = 6.13$, $p < .001$, $d = 0.54$, 95% CI [0.35, 0.72].

Figure 2 shows the density distributions of duration estimation in slow motion and real time. The density distributions suggest that the effect described above is not caused by the fact that the distribution of the slow-motion estimates is simply shifted to the right, while retaining its shape. Instead, the left tail of the slow-motion distribution closely resembles the left tail of the real-time distribution, and the modes of both distributions are in close proximity. However, the right tail of the slow-motion distribution is wider than the right tail of the real-time distribution. This pattern suggests that i) participants' estimates in the slow-

motion condition vary more strongly than in the real-time condition, and that ii) this variation is caused by some but not all participants estimating the durations to be longer than they really are.

In our second hypothesis we wanted to show, that duration estimation in the real-time condition is closer to the actual duration than in the slow-motion condition. To test our second hypothesis two new variables were created. For these variables we subtracted the mean estimation of the real duration (absolute value) from the actual duration of the sports performance. The same was done for the slow-motion estimation. For this analysis it didn't matter whether participants over or underestimated the actual duration. It was only analyzed who estimated the time more correctly. The conducted *t*-test showed that the two newly created variables – mean difference between slow-motion estimates and the actual duration compared with the mean difference between real-time estimates and the actual duration – differ significantly, $t(102) = 7.23, p < .001, d = 0.67, 95\% \text{ CI } [0.47, 0.88]$. The mean difference between the slow-motion estimates ($M = 4838 \text{ ms}; SD = 2002$), and the actual duration was significantly larger than the mean difference between the real-time estimates ($M = 3608 \text{ ms}, SD = 654$) and the actual duration.

Discussion

In this study we wanted to investigate whether video speed can change the subjective interpretation of duration. Our results show, that the judgments of the same athletic movement watched in real time versus slow motion differ. Slow motion was subjectively perceived longer. Further we could show, that time estimations of real-time videos were more accurate than slow-motion videos. These results suggest that watching sport videos in slow motion may not be helpful in order to judge specific actions in sports when the accurate assessment of action duration is required. Watching slow-motion videos can lead to a distorted estimation of

duration which may have negative consequences for the accuracy of sports performance judgments.

In order to investigate whether our results depend on the specific stimulus material employed in Study 1, we conducted another study. Specifically, we aimed at utilizing stimulus material that shows a sportive activity other than running, that has a shorter duration on average and that is shown from a novel perspective in order to reduce the likelihood that our results depend on these factors.

Study 2

Introduction

In order to investigate into our hypotheses in another context, this preregistered study investigated the influence of video speed (slow motion vs. real time) on the accuracy of duration estimations of a cyclist sprinting.

Method

Participants

A total of 100 participants (59 women), age 18 to 59 years ($M = 23.55$, $SD = 6.21$) participated in this study. Participants were sport science undergraduates from Heidelberg University.

Procedure

Participants ($N = 100$) had to judge the duration of cyclists' sprints that were either presented in slow motion or in real time (in milliseconds).

Video Material

In Study 2 we used 15 self-recorded videos of a female cyclist sprinting. The same videos were presented in slow motion (slowed down by a factor of 4, meaning that the slow-motion videos last 4 times longer than the real-time videos) and real time. The cyclist was sprinting in between two traffic cones, doing a flying start. The shortest distance was 3 meters

and the longest 18 meters (see Table 1 for all distances). The athlete was instructed to cycle as fast as possible. The athlete's performance duration was measured by two independent judges using a stop watch. Subsequently, we averaged both measurements per distance. Performance duration varied between 0.74 for the shortest and 4.16 seconds for the longest distance (see Table 1 for all time differences). The environment for the video was selected so that the surrounding area would not provide any reference points or indicators for track length. The camera was set to film the performance from the front, so that the athlete would always cycle from back to front (as shown in Figure 3). The location of the finish line was kept constant relative to the camera position. The camera perspective was kept constant across the respective sprint and across all videos.

Results

To test our first hypothesis, we compared the average estimated duration in the real-time condition to the average estimated duration in the slow-motion condition, independent of the between-condition (order). Participants estimated the sprinting durations in the slow-motion videos ($M = 2694$ ms, $SD = 1218$) to be longer than in the real-time videos ($M = 2319$ ms, $SD = 820$, $t(99) = 3.71$, $p < .001$, $d = 0.35$, 95% CI [0.15, 0.54]). Figure 4 shows the density distributions of duration estimation in slow motion and real time. Again, the observed pattern suggests that participants' estimates in the slow-motion condition varied more strongly than in the real-time condition, and that this variation is caused by some but not all participants estimating the durations to be longer than they really are. On the one hand, this finding corresponds to the typical results in the field of basic research on time perception (Matthews & Meck, 2014, 2016). On the other hand, the interindividual variation regarding the duration estimation in our experiments may reflect participants' differences in prior experiences concerning observing and assessing sporting actions.

To test our second hypothesis two new variables were created. For these variables we subtracted the mean difference of the real-time estimation (absolute value) from the actual duration of the sports performance. The same was done for the slow-motion estimation. The conducted *t*-test showed that the two variables differ significantly, $t(99) = 3.77, p < .001, d = 0.41, 95\% \text{ CI } [0.19, 0.63]$. The mean difference between the slow-motion estimates ($M = 1197 \text{ ms}; SD = 978$), and the actual duration was significantly larger than the mean difference between the real-time estimates ($M = 856 \text{ ms}, SD = 566$) and the actual duration.

Discussion

In Study 2 we wanted to show that video speeds can change the subjective interpretation of duration. We wanted to replicate the results from Study 1 using a different sportive activity, video material and perspective. Our results are in line with Study 1, showing, that the duration estimation of a cyclist sprinting, watched in real time versus slow motion differ. Slow motion was subjectively estimated longer. Further, also in line with Study 1 we could show, that duration estimations of real-time videos were more accurate than those of slow-motion videos.

Although we used different stimulus material, we were able to replicate the findings from Study 1, showing that the duration of sports performance in slow motion is overestimated. In order to further investigate whether our results depend on the specific stimulus material employed in Studies 1 and 2, we conducted another study. In Study 3, we aimed at utilizing stimulus material that shows a sportive activity other than running or cycling and that has an even shorter duration on average. Most importantly, whereas the videos in Studies 1 and 2 showed only one athlete, the videos in Study 3 show two athletes. Participants' task was not to judge how long it takes one athlete to cover a certain distance. Rather, their task was to judge the difference between two athletes crossing the finish line. Thus, the estimation task in Study 3 was supposed to be more dynamical than in Studies 1 and

2: In Studies 1 and 2, the starting signal for the estimation task was when the depicted athlete crossed the starting line, and the ending signal was when the same athlete crossed the finish line. In Study 3, however, the starting signal was when the first athlete crossed the finish line, and the ending signal was when the second athlete crossed the same line. Furthermore, in Study 3 we utilized TV footage containing more potentially distracting information than the footage produced for Studies 1 and 2. Thus, the estimation task in Study 3 differed in several regards from the one employed in Studies 1 and 2.

Study 3

Introduction

In the first and second study participants had to estimate the duration of an athletic run and a cyclist sprinting. In order to investigate the effects found in Study 1 and 2 in another context, in a third preregistered study we investigated the influence of video speed (slow motion vs. real time) on the estimated time differences of two performances and the accuracy of estimated time differences. In order to underline our findings from Studies 1 and 2, the goal of this study was to investigate whether video speed can change the subjective interpretation of time differences. Therefore, we used videos of two athletes competing against each other in snowboard parallel slalom.

Method

Participants

A total of 106 participants (42 women), age 18 to 58 years ($M = 24.65$, $SD = 7.58$) participated in this study. Participants were sport science undergraduates from Heidelberg University.

Procedure

Participants ($N = 106$) had to judge the time difference of two snowboarders when crossing the finish line (in milliseconds).

Video Material

We used 15 videos of the men's snowboard parallel slalom at the Olympics 2014 in Sochi, and 2010 in Vancouver. The same videos were presented in slow motion (slowed down by a factor of 4, meaning that the slow-motion videos last 4 times longer than the real-time videos) and real time. During the parallel slalom two athletes competed against each other trying to reach the finish line first. The interval for the time difference estimation started with the first athlete crossing the finish line and ended with the second athlete crossing the finish line. The time differences of the two athletes were provided in the video material. In order to not show these results to participants we covered the time display. The time differences between athletes varied between 400 ms and 2580 ms (see Table 1 for all time differences). Participants saw the performance from the front, so that the athletes would always snowboard from the back to the front, crossing a clearly visible finish line (as shown in Figure 5).

Results

To test our first hypothesis, we compared the average estimated time in the real-time condition to the average estimated time in the slow-motion condition, independent of the between-condition (order). Participants estimated the time differences in the slow-motion videos ($M = 1232$ ms, $SD = 814$) to be longer than in the real-time videos ($M = 1092$, $SD = 565$), $t(105) = 2.34$, $p = .02$, $d = 0.19$, 95% CI [0.03, 0.35]. Just like in Studies 1 and 2, the observed pattern suggests that participants' estimates in the slow-motion condition vary more strongly than in the real-time condition, and that this variation is caused by some but not all participants estimating the durations to be longer than they really are.

To test our second hypothesis two new variables were created. For these variables we subtracted the mean difference of the real-time estimation (absolute value) from the actual time difference of the sports performance. The same was done for the slow-motion

estimation. The conducted t -test showed, that the two variables differ significantly, $t(105) = 4.18, p < .001, d = 0.37, 95\% \text{ CI } [0.19, 0.55]$. The mean difference between the slow-motion estimates ($M = 707 \text{ ms}, SD = 543$), and the actual time difference was significantly larger than the mean difference between the real-time estimates ($M = 529 \text{ ms}, SD = 317$) and the actual time.

In order to facilitate comparisons between studies, we present the results and effect sizes of Studies 1, 2 and 3 in Table 2.

Discussion

In Study 3 we wanted to investigate whether video speeds can change the subjective interpretation of time differences. We wanted to show that the results from Study 1 and 2 are consistent for different sports, video material and perspectives. Our results are in line with Study 1 and 2, showing, that the estimation of time differences watched in real time versus slow motion differ. Time differences in slow motion are subjectively perceived longer. Further, also in line with Study 2 and 3 we could show that estimated time differences of real-time videos are more accurate than slow-motion videos.

Although we used different stimulus material and did not ask for the duration, but the time differences of two athletes crossing a finish line, our findings are in line with the findings from Study 1 and 2.

Previous research suggests, that temporal and spatial cognition are dependent when people have to estimate movement-related durations and distances (for an overview see Loeffler, Cañal-Bruland, Schroeger et al., 2018). When people estimate covering one distance to last longer than covering a second one, like in our studies reported above, there may be at least two explanations for this finding: First, people may judge the physical distance covered to be the same in both instances, but they judge the athlete covering the distance to need more time in one instance than in the other. Effectively, this comes down to judging the athlete to

move slower in the first instance than in the second one. In the context of our studies, participants would perceive the distance covered in both the real-time and the slow-motion condition to be the same, but they estimate the depicted athlete to need more time (i.e., to move slower) in the slow-motion condition. The second explanation is that participants perceive the distance covered to differ in both instances. In this case, the depicted athlete is simply perceived to need more time in one condition because the distance underlying the athlete's activity in this condition is estimated to be longer. The difference in time and duration estimations would then be a side effect of a perceived difference in physical distance covered. In the context of our studies, participants would perceive the distance covered in the slow-motion condition to be longer than in the real-time condition, and based on this perception they estimate the activity's duration to be longer (without necessarily perceiving the athlete to move slower). A third explanation would be a mixture of the above explanations. That means participants judge the athlete both to be slower and the distance to be longer in the slow-motion condition⁴.

In two initial investigations (Studies 4 and 5), we investigated into the role of perceived distance for time and/or duration estimation. Importantly, we can rule out explanations 2 and 3 above when the distances depicted in our material are estimated to be the same in both the real-time and the slow-motion condition. In this case, we can rule out that participants judge durations in slow motion to last longer because they judge the covered distances to be longer. Conversely, when estimates of distance differ between real time and slow motion, we cannot rule out this explanation.

Study 4

Introduction

In two initial studies we investigated into the question whether duration estimation in our studies is connected to distance estimation. If this is not the case, then we can rule out the

possibility that participants overestimated duration in Studies 1-3 because they perceived the distances covered by the respective athletes to be longer. Study 4 investigated the influence of video speed (slow motion vs. real time) on the accuracy of estimations of the distance a cyclist covered.

Method

Participants

A total of 92 participants (45 women), age 18 to 76 years ($M = 31.36$, $SD = 12.08$) participated in this study.

Procedure

Participants ($N = 92$) had to judge the distance of cyclists' sprints that were either presented in slow motion or in real time (in meters).

Video Material

In this study we used the same videos as in Study 3 (15 self-recorded videos of a female cyclist). The same videos were presented in slow motion (slowed down by a factor of 4, meaning that the slow-motion video lasts 4 times longer than the real-time videos) and real time.

Results

To test our third hypothesis, we compared the average estimated distance in the real-time condition to the average estimated distance in the slow-motion condition, independent of the between-condition (order). Participants estimated the distances covered in the slow-motion videos ($M = 10.71$ m, $SD = 4.33$) to be longer than in the real-time videos ($M = 9.67$ m, $SD = 3.74$), $t(91) = 4.59$, $p < .001$, $d = 0.25$, 95% CI [0.14, 0.36].

To test our fourth hypothesis two new variables were created. For these variables we subtracted the mean estimation of the distance covered by the cyclist shown in real time (absolute value) from the actual length of the cycle track. The same was done for the slow-

motion estimation. The conducted *t*-test showed, that the two variables differed significantly, $t(91) = 2.53, p = .01, d = 0.21, 95\% \text{ CI } [0.04, 0.38]$. The mean difference between the slow-motion estimates ($M = 4.41 \text{ m}, SD = 1.82$), and the actual length was significantly larger than the mean difference between the real-time estimates ($M = 4.04 \text{ m}, SD = 1.61$) and the actual length.

Discussion

In Study 4, participants estimated the distances covered by the cyclist to be longer when cycling performances were shown in slow motion than when they were shown in real time. Furthermore, participants estimated distances less accurately in the slow-motion condition than in the real-time condition. Thus, we cannot rule out the possibility, that participants in Studies 1-3 estimated times in the slow-motion videos to be longer because they perceived the underlying distances to be longer. In order to reduce the likelihood that results depend on a specific set of stimulus material, we investigated into the same question again, using different stimulus material.

Study 5

Introduction

In a second initial study, we again investigated into the question whether duration estimation in our studies is connected to distance estimation. Study 5 investigated the influence of video speed (slow motion vs. real time) on the accuracy of estimations of the distance a runner covered.

Method

Participants

A total of 106 participants (43 women), age 18 to 68 years ($M = 35.55, SD = 14.33$) participated in this study.

Procedure

Participants ($N = 106$) had to judge the distance of athletic runs that were either presented in slow motion or in real time (in meters).

Video Material

In Study 5 we used the same videos as in Study 1 (15 self-recorded videos of a female athlete running). The same videos were presented in slow motion (slowed down by a factor of 4, meaning that the slow-motion videos last 4 times longer than the real-time videos).

Results

To test our third hypothesis, we compared the average estimated distance in the real-time condition to the average estimated distance in the slow-motion condition, independent of the between-condition (order). Participants do not differ in estimating the distances covered in the slow-motion videos ($M = 30.41$ m, $SD = 11.70$) compared to the real-time videos ($M = 31.95$ m, $SD = 16.18$), $t(91) = 4.59$, $t(105) = -1.59$, $p = .12$., $d = -0.101$, 95% CI [-0.23, 0.03].

To test our fourth hypothesis two new variables were created. For these variables we subtracted the mean estimation of the distance covered by the runner shown in real time (absolute value) from the actual length of the running track. The same was done for the slow-motion estimation. The conducted t -test showed, that the two variables differ significantly, $t(105) = -5.71$, $p < .001$, $d = -0.39$, 95% CI [-0.53, -0.24]. The mean difference between the slow-motion estimates ($M = 9.81$ m; $SD = 7.06$), and the actual length was significantly smaller than the mean difference between the real-time estimates ($M = 13.42$ m, $SD = 9.91$) and the actual length.

Discussion

In Study 5, there is no evidence for hypothesis 3, as estimates of covered distance does not differ between the slow-motion condition and the real-time condition. There was also no evidence for hypothesis 4: Participants estimated covered distance more accurately in the

slow-motion than in the real-time condition, which is the opposite pattern from the one predicted by hypothesis 4. Taken together, this second initial investigation does not provide evidence for the explanation that estimates of running times differ when comparing slow motion to real time because participants perceive the underlying distances covered by the runner to be longer in slow motion than in real time. If at all, Study 5 points into the opposite direction: Estimates of covered distance were more accurate in the slow-motion condition, which is precisely the condition where estimates of duration are less accurate.

General Discussion

Discussion of results

The aim of this paper was to investigate whether video speed influences the accuracy of time estimations of sports activities. We hypothesized that activities are estimated to last longer when they are shown in slow motion than when they are shown in real time. Furthermore, we hypothesized that estimation in the real-time condition is closer to the actual time than in the slow-motion condition. In order to address these questions, we conducted three experiments. In Study 1, 2 and 3, participants ($N_s = 100-106$) had to judge the duration of athletic runs, a cyclist racing and the time differences of two performances (parallel slalom) shown in 15 videos. All videos were presented both in slow motion or in real time. The results of Studies 1-3 show that athletic activities depicted in slow motion are estimated to last longer. We could also show that durations of athletic activities depicted in real time are estimated more accurately than those depicted in slow motion – as indicated by the comparison with the objectively measured duration. Thus, looking at the time perception our results can possibly contribute to the understanding of the underlying processes of previous study results that suggest that humans judge actions depicted in slow motion more harshly, because they perceive the depicted actions to be more intentional (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018). However, our study did not address a direct relationship between perceived

duration of actions and possible intention attributions, so this assumption remains speculative. Further, this study focused on technical tasks and not disciplinary tasks when looking at the proposed distinction by Spitz and colleagues (2017). Thus, it should be mentioned, that in technical tasks referees are not required to make judgements regarding intentionality. Nevertheless, our studies provide support for the idea that the use of slow-motion replays in sport decisions does not make sense under all conditions (IFAB, 2020; Spitz et al., 2020). At least if the estimated duration of an action is important for a decision, we would advise against it in order to generate a more accurate situation assessment.

In two initial studies, we investigated into the question whether participants estimate activities in slow motion to take longer because they perceive the distances covered by the depicted athletes to be longer. These initial investigations provided mixed evidence. In Study 4, participants estimated the distance covered to be longer in slow motion than in real time. They also estimated the length of the track more correctly in real time than in slow motion. However, in Study 5, estimates of track length do not differ, and participants' estimates were even more accurate in the slow-motion than in the real-time condition. Thus, although we cannot rule out the possibility that participants used perceived distance as a proxy for their estimation of time and/or duration, neither do our results provide strong evidence in favor of this idea. In any case, this question is interesting mainly from a theoretical perspective. Furthermore, future research might address the relationship between estimates of duration and estimates of distance when stimulus material is provided in slow motion. Although Study 4 and 5 in this paper were only intended as first investigations into this relationship, they may provide some starting points. The mixed evidence they provide might suggest that estimates of physical distance depend on cues that differed between the stimulus material employed in our initial investigations. Thus, future research might benefit from systematically varying potentially relevant cues. Furthermore, future research might investigate into direct

associations between (changes in) perceived distance and perceived task duration, as this provides a more direct test of the respective hypothesis (i.e., that estimates of duration are based on estimates of distance)⁵.

With regard to participants' estimation of duration in Studies 1-3, the density distributions we plotted for our results provide insights that go beyond simply comparing means of the experimental conditions. First, they suggest that participants' estimates in the slow-motion condition vary more strongly than in the real-time condition, and that this variation is caused by some but not all participants estimating the durations to be longer than they really are. Second, they show that not only in the slow-motion condition, but already in the real-time condition there is substantial variation between participants' estimates of duration. As has been outlined before this is in line with the finding from basic research that there is interindividual variation regarding time perception (Matthews & Meck, 2014, 2016). Although speculative, if the perception of duration really influences perception of intention and thus the severity of penalties, then this finding suggests that even when not employing slow-motion displays there might be a need to calibrate referees' time perception and/or associated judgments. Furthermore, and more speculatively, this finding might help explain why some referees are stricter than others when it comes to taking disciplinary actions: Maybe referees differ regarding their perception of intentionality because they differ regarding their perception of time. It seems to be an interesting question for future research whether humans can learn to correct for the distorting influence of slow motion, just like referees can learn to correct for the influence of the flash lag effect when judging offside (Catteeuw, Gilis, Jaspers Wagemans, & Helsen, 2010; Catteeuw, Gilis, Wagemans, & Helsen, 2010).

Strength and limitations

The results reported in this paper were obtained with systematically varying stimuli (activity depicted, duration of activity, camera perspective, dynamic of the situation, presence of distracting stimuli), thus reducing the likelihood that they are dependent on a highly-specific set of stimulus material. Furthermore, we obtained these results both with sports students and with other participants (i.e., students with other majors than sports and non-students). Still, our samples were not highly diverse regarding age, cultural background and ethnic background, just to name a few potential characteristics.

The studies reported in this paper were adequately powered to detect small-to-medium sized effects. Furthermore, the sample sizes allowed us to report effect sizes with an adequate amount of precision, as apparent from the width of the respective confidence intervals. The high power of our studies is particularly important for interpreting potentially non-significant findings. Whereas from a perspective of planning-for-power it does not seem necessary to suggest even larger sample sizes for future research, larger sample sizes might be needed for even more precise estimates of effect sizes. This again might be desirable when researchers aim to compare effects between different studies or treatments (e.g., different slowing-down factors, different activities, or different participants groups).

The tasks used in this study were technical rather than disciplinary tasks. As mentioned before, intentionality of the sporting action does not play a role in technical tasks. Nevertheless, the present research aims at contributing to the debate about the validity of video control by investigating whether humans judge sports performances to last longer when observing them in slow motion than in real time. We strongly believe that this study contributes to this debate. Nevertheless, future studies should test effects of slow-motion on estimations of duration in the context of disciplinary judgements and directly calculate associations with perceived intentionality and harshness.

One limitation of the present research is that most of our participants were not referees. For the present research question, we decided to trade power and precision for transferability to the field. However, we are convinced that the present results provide fruitful starting points for future research employing referees as participants. The combination of high-powered studies with participants from limited or hard-to-access populations proposes a challenge for research in sport psychology. Among other potential remedies (e.g., N-equals-1 studies, sequential testing methods), we believe that it is important to provide the ground with high-quality and high-powered studies employing ‘regular’ participants. Once this ground is provided, studies with referees as participants offering high transferability to the field may follow. We will gladly share our research material with researchers interested in conducting these studies. Still, we feel the need to emphasize that applied conclusions based on the present research should only be taken with considerable care.

Conclusions

More and more organizations in professional sports use video assistance in order to support the referees and judges. The referees can watch all potential situations in slow motion and in real time. Earlier studies showed that slow motion can change the judgment of intentionality (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018). In addition to these studies, our results suggest that humans estimate the duration of actions depicted in slow motion less accurately than when they are depicted in real time.

We started with the episode of the world class rugby referee Nigel Owens who demanded a video replay in real time rather than in slow motion in order to decide a critical situation during the World Cup final. Our results support his intuition that slow motion is not always helpful to find more correct answers, at least in situations that require an accurate time estimation (e.g., as described in the initial example).

Together with the work by Spitz and colleagues (2020) our studies may serve as a basis for future studies with the explicit aim to assess situations in which slow-motion video material can improve decision making of referees, and in which real-time replay is more suitable. These results should then be used to further develop clear and evidence-based rules about the use of slow-motion and real-time replay for video footage in sport context.

References

- Caruso, E. M., Burns, Z. C., & Converse, B. A. (2016). Slow motion increases perceived intent. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *113*(33), 9250–9255. <https://doi.org/10.1073/pnas.1603865113>
- Catteeuw, P., Gilis, B., Jaspers, A., Wagemans, J., & Helsen, W. (2010). Training of perceptual-cognitive skills in offside decision making. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *32*, 845-861. <https://doi.org/10.1123/jsep.32.6.845>
- Catteeuw, P., Gilis, B., Wagemans, J., & Helsen, W. (2010). Perceptual-cognitive skills in offside decision making: Expertise and training effects. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *32*, 828-844. <https://doi.org/10.1123/jsep.32.6.828>
- Deutscher Fußball Bund (2017). *Grundsätzliche Informationen zum Video-Assistenten*. Retrieved from <https://www.dfb.de/sportl-strukturen/schiedsrichter/video-assistent/>
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. (5th Edition). Los Angeles: Sage.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2005). *Fundamentals of physics* (7th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- IFAB – The International Football Association Board. (2020). *The Laws of the Game 2020/21*. Zurich, Switzerland: IFAB.
- James, W. (1890). The perception of reality. *Principles of psychology*, *2*, 283-324.
- Loeffler, J., Cañal-Bruland, R., Schroeger, A., Tolentino-Castro, J. W., & Raab, M. (2018). Interrelations between temporal and spatial cognition: The role of modality-specific processing. *Frontiers in Psychology*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02609>
- Matthews, W. J., & Meck, W. H. (2014). Time perception: The bad news and the good. *WIREs Cognitive Science*, *5*, 429-446. <https://doi.org/10.1002/wcs.1298>

- Matthews, W. J., & Meck, W. H. (2016). Temporal cognition: Connecting subjective time to perception, attention, and memory. *Psychological Bulletin*, *142*, 865-907.
<https://doi.org/10.1037/bul0000045>
- Put, K., Wagemans, J., Pizzera, A., Williams, A. M., Spitz, J., Savelsbergh, G. J. P., & Helsen, W. F. (2016). Faster, slower or real time? Perceptual-cognitive skills training with variable video speeds. *Psychology of Sport and Exercise*, *25*, 27–35.
<https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2016.03.007>.
- Spitz, J., Moors, P., Wagemans, J., & Helsen, W. F. (2018). The impact of video speed on the decision-making process of sports officials. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *3*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0105-8>
- Spitz, J., Put, K., Wagemans, J., Williams, M. A., & Helsen, W. F. (2017). Does slow motion impact on the perception of foul play in football? *European Journal of Sport Science*, *17*(6), 748–756. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1304580>
- Spitz, J., Wagemans, J., Memmert, D., Williams, A. M., & Helsen, W. F. (2020). Video assistant referees (VAR): The impact of technology on decision making in association football referees. *Journal of Sports Sciences*.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1809163>
- Wells, G. L., & Windschitl, P. D. (1999). Stimulus sampling and social psychological experimentation. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *25*(9), 1115-1125.
<https://doi.org/10.1177%2F01461672992512005>
- World Rugby (2015). *Laws of the game of rugby union. Incorporating the Playing Charter*. Dublin: World Rugby.
- World Rugby (2015b). Clarification on the role of the TMO at Rugby World Cup 2015. World Rugby. <http://www.rugbyworldcup.com/news/96575>.

Footnote

¹"Late Tackle" means the execution of a tackle of the defending team, even though the ball carrier of the attacking team has already played or kicked the ball; also called "late charging" (World Rugby, 2015).

² We chose milliseconds for a more precise answer. For each video participants were given the hint, that 1000 milliseconds are one second.

³Calculations using the original non winsorized data did not show any differences regarding significance.

⁴At first glance, it might seem that using estimates of athletes' speed instead of time as dependent variable might eliminate this issue. However, there are two reasons why we did not use speed as dependent variable. First, we assume that humans have trouble judging speed. After all, it should be easier to estimate only time than the fraction of time and distance. Second, and more importantly, from a theoretical perspective it is time we are interested in, not speed: Perceived intentionality should be a function of time actors have at their command, not of the speed with which they act.

⁵We would like to thank an anonymous reviewer for suggesting this approach.

Table 1*Distances and performance times from the videos used*

| | Videos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | <i>M</i> | <i>SD</i> |
|-------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|-----------|
| Study 1 (running) | time | 8180 | 7875 | 7405 | 7295 | 6775 | 6095 | 5580 | 5190 | 5040 | 4260 | 5145 | 3270 | 2520 | 2330 | 2110 | 5271.33 | 2039.63 |
| | distance | 48 | 46 | 43 | 41 | 38 | 35 | 32 | 30 | 28 | 24 | 20 | 18 | 14 | 12 | 10 | 29.27 | 12.59 |
| Study 2 (cyclist) | time | 670 | 980 | 980 | 1402 | 1310 | 1610 | 1720 | 1630 | 1940 | 2190 | 2070 | 2260 | 2540 | 2790 | 2740 | 1788.80 | 652.32 |
| | distance | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 10.93 | 4.59 |
| Study 3 (slalom) | time | 400 | 510 | 520 | 800 | 1120 | 740 | 440 | 720 | 1120 | 2580 | 1720 | 1200 | 960 | 760 | 920 | 967.33 | 564.63 |
| | distance | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Note. Distance in meters, time in milliseconds. In study 1 and 2 we measured performance times of one athlete and in study three we measured time differences of two athletes.

Table 2*Mean differences of slow-motion (SM) and real-time (RT) estimation compared to actual time*

| | Difference SM | | Difference RT | | <i>t</i> (99-105) | <i>p</i> | <i>d</i> |
|---------|---------------|-----------|---------------|-----------|-------------------|----------|----------|
| | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | | | |
| run | 4837 | 2002 | 3608 | 654 | 7.23 | <.001 | 0.67 |
| slalom | 707 | 543 | 529 | 317 | 4.18 | <.001 | 0.37 |
| cyclist | 11197 | 978 | 856 | 566 | 3.77 | <.001 | 0.41 |

Note. $N_s = 100-106$.

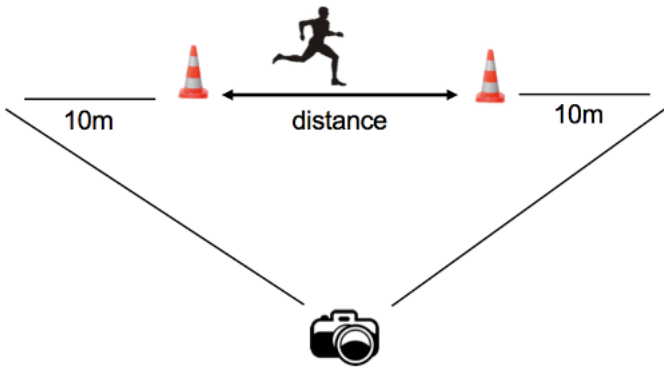


Figure 1. Set-up and camera perspective of Study 1 (running).

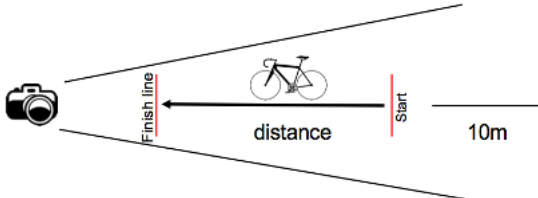


Figure 3. Set-up and camera perspective of Study 2 (cycling).



Figure 5. Video material and camera perspective of Study 3 (snowboard).

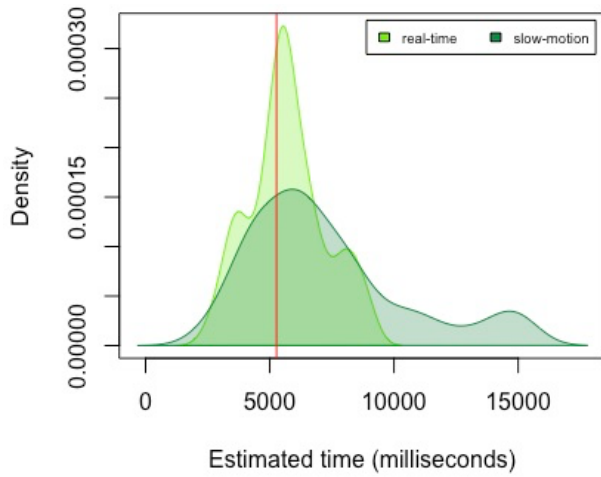


Figure 2. Density distributions of time estimation in slow motion and real time in Study 1 (running). The vertical red line designates the mean of the accurate durations, averaged over all video clips.

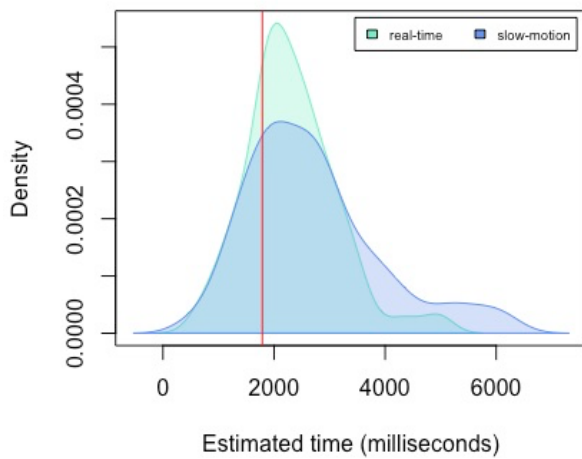


Figure 4. Density distributions of time estimation in slow motion and real time in Study 2 (cycling). The vertical red line designates the mean of the accurate durations, averaged over all video clips.

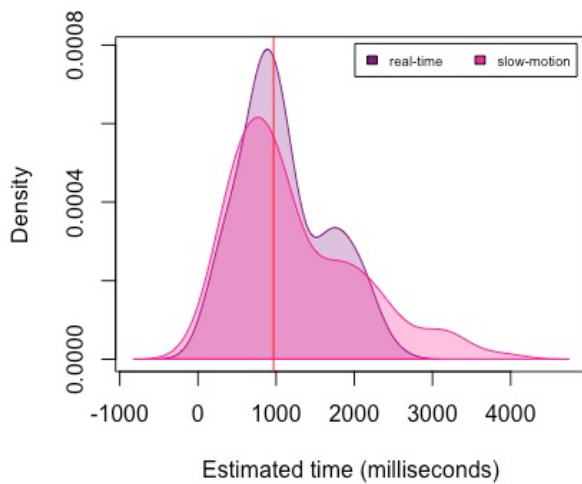


Figure 6. Density distributions of time estimation in slow motion and real time in Study 3 (parallel slalom). The vertical red line designates the mean of the accurate durations, averaged over all video clips.

Anhang A2 – Manuskript 2

The Impact of Physical Load on Duration Estimation in Sport

Abstract

We investigated whether physical load has an influence on the accuracy of duration estimation of sporting activities presented in real time and slow motion. 86 participants were studied in two single sessions of 45 min each.

Our results show, no general effects for physical load, when comparing physical load versus rest. However, we could replicate findings of past research (Schütz et al., 2021), showing that the duration of sports performance is estimated more accurately when presented in real time compared to slow motion. Further we found, that under physical load, participants perceiving the physical exercise as hard ($RPE \geq 15$) estimated time significantly shorter and more accurately compared to participants perceiving the physical exercise as light or moderate ($RPE < 15$).

Thus, our results suggest, that using slow motion may worsen the assessment of sports performance. Additionally, we could show that intense physical exertion contributes to reducing the overestimation of time.

Keywords: judging sports performance, time judgements, slow motion, RPE, video speed

The Impact of Physical Load on Duration Estimation in Sport

Referees may use video footage in order to make correct and consistent decisions (NFL, 2021) and to make the sport fairer (DFB, 2017). Only a few studies have examined the use of video technology in sports so far. Especially the usage of different video speeds is discussed controversially, as it influences the perceived duration of an action, severity of judgements and the perceived intention of the alleged acting person (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018; Sperl et al., 2021; Schütz et al., 2021).

All these findings are helpful to better understand the use of video technology, but they suffer from one common limitation – they examine duration estimation at rest without physical load. Referees on the field, however, are physically active. On average referees cover an overall distance longer than 11 kilometers, which is considered to be an intense physical activity (Di Salvo et al., 2012). Meta-analyses show that physical load can influence attentional resources and thus cognitive processes, such as perception (Chang et al., 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010) and perception of temporal cues (Block et al., 2010). Therefore, the use of video technology should not only be investigated under rest but also under physical load.

Previous Findings on the Role of Physical Load for Time Estimation

Research on psychological time focuses on the estimation of duration, often referred to as time estimation or time judgements and has been studied very intensively (see Matthews & Meck, 2014, 2016). However, little is known about the influence of physical load on time estimation (Droit-Volet, 2018) and specifically when a depicted action is shown in slow motion or in real time. In this study we are interested into the question how long participants perceive a depicted action of relatively short duration (in the range of seconds) to be, particularly so when participants are experiencing physical load, and the duration of the action varies from the duration of its presentation (as when it is presented in slow motion).

According to the Scalar expectancy theory (SET), the estimation of time is influenced by an internal clock (Allman et al., 2014; Church, 1984). This clock contains a pacemaker generating impulses like the ticks of a mechanical clock. These impulses (also referred to as ticks) are emitted randomly at a constant average rate (Wearden, 2016) into the pacemaker, which then sends them to the accumulator to count the pulses when a duration needs to be timed. The accumulator allows to compare the perceived time of the present event with timing information of previous events (Lambourne, 2012; Wearden, 2016). Accordingly, the pacemaker feeds increment into a mental representation contingent upon the time an episode is lasting. The larger the magnitude of the mental representation the longer will be the subjective time experience. This means, that the number of ticks the pacemaker emits grow linearly with real time (Wearden, 2016).

The process of the SET theory, and especially the pacemaker, can be influenced by several factor such as arousal, mood, emotional stimuli, fear and the frequency of environmental events (Allman et al., 2014; Cheng et al., 2016; Droit-Volet, 2018; Fayolle et al., 2015; Meck, 1983; Penton-Voak et al., 1996; Pronin, 2013). Fayolle et al. (2015) found in a study analyzing time perturbation, that participants judge time to elapse more in threatening situations compared to neutral situation.

In the context of the current study, physical load can be seen as a possible form of arousal influencing time estimation of humans (Lambourne, 2012). A change in the level of arousal can thus lead to proportional changes in the representation of event durations (Allmann et al., 2014). Increasing arousal can speed up the rate of the pacemaker (so that it ticks faster), and thus accumulate the representation of an event duration in a shorter time period (Lambourne, 2012). This means that more subjective time passes in the same objective time and thus time passes subjectively faster. The underlying mechanisms can be explained using the catecholamine hypothesis. This hypothesis states, that exercise increases cognitive

arousal, which increases the concentrations of noradrenaline and dopamine in the brain. This change in hormone and neurotransmitter concentrations triggers timing activity (so that time runs faster) through an increased rate of cortical oscillation (Lambourne, 2012; Cheng et al., 2016).

Possible consequences are, that under physical load, time intervals are estimated shorter as the pacemaker rate increases (Vercruyssen et al., 1989; Lambourne, 2012), and faster tempi are expected to be the standard (Jakubowski et al., 2015). The higher the intensity level of physical load, the shorter the perceived duration (Hanson & Lee, 2017; Edwards & McCormick 2017; Brewer et al., 2019).

Previous Findings on the Role of Video Speed on Time Estimation

Video speed plays an important role in the evaluation of sporting actions. Referees can use video technology, showing a depicted scene at different video speeds. Previous studies have investigated the effects of video speed on referee decisions and duration judgement. In slow motion referees seem to punish fouls more harshly (Spitz et al., 2018), and participants perceive both tackles and crimes to be more intentional (Caruso et al., 2016); presumably because they perceive the period of time to be longer and thus believe the actors to have more time to think and act. Schütz et al. (2021) found, that the speed of video presentation (slow motion vs. real time) has an influence on the accuracy of time estimation. The time estimation was more accurate in real time than in slow motion, in which time was overestimated. This could imply that referees perceive foul scenes in slow-motion as longer, and therefore punish them more severely (vgl. Schütz et al., 2021). However, there are exceptions. Time estimation was not always found to be more accurate in real time (e.g., video content was suggested to play a role; Rossi et al., 2018; Sperl et al., 2021).

Purpose of the Present Study

With the present research, we aim to investigate the impact of physical load on the estimation of time. The goal is to investigate whether humans perceive actions to last shorter when under physical load, and thus whether physical load might attenuate the negative influence of slow motion on the accuracy of time estimation. Another goal is to gather more evidence on the question whether humans perceive actions to last longer when shown in slow motion rather than in real time.

To investigate this, we look at how prospective *duration estimation* and the *accuracy of time estimation* are affected by physical load but also by video speed (slow motion vs. real time). Duration estimation and accuracy are related to each other; however, they also contain distinct information: *Duration estimation* indicates to what extent participants under- or overestimate real time on average over several trials (i.e., positive and negative values cancel each other out over several trials). *Accuracy of time estimation* indicates how far the absolute values differ from the real time on average over several trials (i.e., positive and negative values do not cancel each other out).

More precisely, we hypothesize that duration estimation is shorter in real time than in slow motion, meaning overestimated in slow-motion (main-effect hypothesis one; replication of previous findings [Schütz et al., 2021]). In addition, we assume that physical load reduces duration estimation in both presentation conditions (main-effect hypothesis two).

Furthermore, we assume, that time estimation in the real-time condition is more accurate (closer to the objectively measured time, regardless of whether participants over- or underestimated duration) than in the slow-motion condition (main-effect hypothesis three; replication of previous findings [Schütz et al., 2021]). Without any further assumptions, no hypothesis regarding accuracy of time estimation for the physical load manipulation can be derived from the presented theoretical background. However, as we assume that physical load

reduces duration estimation in both presentation conditions (main-effect hypothesis two) and that time estimation in the real-time condition is more accurate than in the slow-motion condition (main-effect hypothesis three), physical load should lead to more accurate estimates in both presentation conditions if duration is overestimated (main-effect hypothesis four). This study applies the same method for time manipulation and judgment as Schütz et al. (2021). In contrast to the prior studies, physical load is additionally manipulated.

Method

The study employed a 2 (video speed: slow motion vs. real time) \times 2 (physical load: cycling at 80% of the maximal heart rate vs. resting) \times 2 (order of physical load manipulation) design. The first and second factor were manipulated within subjects, the third factor between subjects. As the dependent variable we assessed participants' estimations of time.

We planned our sample size in order to obtain a power of .95 to detect a small-to-medium sized effect (partial eta squared = .035) at $p < .05$ when using ANOVA (repeated measures, within main effect). According to G*Power, 92 participants are required (Faul et al., 2007). In order to limit extreme values in the statistical data to reduce the effect of possibly spurious outliers we winsorized the data of our study (Field, 2018)¹.

Participants

A total of 86 participants (36 women), between 18-20 ($n = 28$, 33%), 21-25 ($n = 50$, 58%) and 26 and older ($n = 8$, 9%) participated in this study. The number of participants is slightly below the required number of the power analysis due to a lack of willingness to participate and the time-consuming nature of the study. Participants were sports science undergraduates from Heidelberg University. Participants were informed in advance about the procedure and the risks of the study in oral and written form. Participants gave their consent before participating voluntarily in the study and were thanked and debriefed before receiving

some candy as compensation for participating. The study was approved by the Ethics Committee of the Heidelberg University (AZ Schü 2019 / 2-1).

Procedure

After participants gave their consent, they were asked to fill out a questionnaire on the exclusion criteria (over- or underweight, physical illness or mental disorders, heavy smokers, older than 35 years and physically inactive for more than 6 months). Participants visited the laboratory on two occasions separated by a minimum of seven days. In both sessions, participants watched 15 randomly displayed videos of athletic activities in slow motion and the same videos in real time. After each video presentation, participants were asked to estimate the duration of the athletic activities ("How long did it take the runner (in seconds) to get from the first to the second cone?"). Each answer was given in a free response format. Participants knew before watching the video, that they had to estimate the duration of the athletic activities (prospective duration estimation). The difference between the sessions was the physical load and the resting condition. The order (physical load and rest) of the two sessions was counterbalanced across participants.

Physical load was operationalised by an aerobic exercise session which consisted of 45 minutes of cycling on an ergometer. Participants warmed up and cycled until they reached 80% of their maximum heart rate (HRmax). They cycled on at 80% of their HRmax. After 20 minutes the actual study started, namely watching the videos and assessing their duration. While watching the videos participants were asked to maintain aerobic exercise at 80% of their HRmax. After participants stopped cycling, they were asked to answer the RPE scale.

The resting session consisted of 25 minutes seated rest on the ergometer. Participants were asked to move the pedals of the ergometer slowly so that they would not perceive physical exertion.

Physical Load

Participants were asked to cycle under constant 80% of their estimated HRmax on an ergometer (using the Matrix, U7xe UPRIGHT BIKE). The HRmax was estimated using a formula ($MHR = 208 - 0.7 \times \text{age}$) generally accepted for cycling ergometry (Tanaka, 2001). Mean HRmax was 196.83 ($SD = 2.33$). Mean HR for the intensity while cycling was 157,48 ($SD = 1.86$), which equated to 80% of the actual HRmax. The target heart rate was shown on the ergometer display for the duration of the exercise. The ergometer automatically adapted the resistance according to participants' cycling speed. Thus, a heart rate of 80 % of the HRmax could be kept constant without further manual adjustments.

Perceived exercise intensity

To assess the participants' perceived exertion of the cycling exercise, the rating of perceived exertion (RPE), was used (Borg, 1982). The scale rates exertion on a scale of 6-20, where 6 means "no exertion at all" and 20 means "maximal exertion". Participants had to choose the number, that best describes their level of exertion during physical load. Participants' mean RPE ratings range from 9 to 20 ($M = 15.41$; $SD = 1.92$).

Video Material

The same video material was previously used and described in Study 1 by Schütz et al. (2021). We used 15 videos of a female athlete running different distances. All videos were presented in real time and in slow motion (slowed down by a factor of 4). In the video clips the athlete was running in between two traffic cones, doing a running start. All distances and performance durations are shown in Table 1 (Supplementary material). The athlete was instructed to run as fast as possible. The entire run was in view of the camera. The camera perspective was kept constant across every run and across all videos.

Results

Planned Analyses

All analyses reported in the results section are based on participants' raw estimates, indicating absolute deviations from the correct time. Alternatively, one could transform all estimates and the accuracy values derived from these estimates into percentage scores, indicating relative deviations from the correct time². If participants' estimates are relative to the correct durations of the stimuli, then analyses based on raw estimates and analyses based on percentage scores should not differ much. However, to the extent that estimates are not relative to correct durations, analyses based on raw estimates and analyses based on percentage scores should differ from each other. For the present data, analyses based on raw estimates and analyses based on percentage scores produce the same conclusions regarding all hypotheses. We present all analyses based on percentage scores in a supplement.

To investigate whether *duration estimation* is affected by physical load and video speed we calculated a repeated measure ANOVA. Results reveal a significant main effect for video speed, $F(1,84) = 74.69, p < .001, \eta_p^2 = 0.471$, showing that duration estimation was longer when watching slow-motion videos ($M = 7.21; SD = 1.80$) compared to real-time videos ($M = 5.93; SD = 0.99$) independent of physical load (in line with hypothesis one). There was no main effect for general physical load (cycling [$M = 6.64, SD = 1.50$], vs. rest [$M = 6.50, SD = 1.31$]), $F(1,84) = 1.50, p = 0.224, \eta_p^2 = 0.018$ (contrary to hypothesis two) and no main effect for order, $F(1,84) = 2.56, p = 0.11, \eta_p^2 = 0.03$. The results show, that in rest and under physical load, duration estimation differs for watching the video in slow-motion versus real time. So that duration is estimated longer in the slow-motion condition (Figure 1). In addition, we found an unexpected two-way-interaction, $F(1,84) = 5.32, p = 0.02, \eta_p^2 = 0.06$. It shows that participants' duration estimation was shorter at rest independent of video speed, when starting with the physical load condition and not at rest (Order). That means

participants who started the study with the physical load condition generally had shorter times. The main effect for video speed remained.

To analyze our third and fourth hypotheses, we used similar methods as done by Schütz et al., (2021). Thus, one new variable for four conditions was created. For this variable we subtracted the mean estimation (absolute value) from the actual duration (measured duration) of the sport performance for all four combinations of the respective conditions (1) duration estimation of the real-time videos under physical load, (2) duration estimation of the real-time videos under rest, (3) duration estimation of the slow-motion videos under physical load, (4) duration estimation of the slow-motion videos under rest.

Results of the repeated measure ANOVA revealed a significant main effect for video speed, $F(1,84) = 62.13, p < .001, \eta_p^2 = 0.425$, showing that participants were more accurate in estimating duration of sporting actions in real time ($M = 3.61; SD = 0.41$) compared to slow motion ($M = 4.41; SD = 1.09$), independent of physical load (in line with hypothesis three; Figure 2). There was no main effect for physical load (cycling [$M = 4.06; SD = 0.81$], vs. rest [$M = 3.95; SD = 0.70$]), $F(1, 84) = 2.57, p = .11, \eta_p^2 = 0.03$ (contrary to hypothesis four). We found a main effect for order (first rest, then cycling and vice versa), $F(1, 84) = 3.99, p = .05, \eta_p^2 = 0.045$, showing that participants estimated the duration slightly shorter when starting with the physical load condition. All data patterns described above for physical load and video speed stayed the same in both order conditions.

Additional Analyses

Our results suggest that participants in the physical load condition varied regarding their perception of intensity, i.e., some perceived the activity to be more intense than others. As literature shows, that duration estimation is affected by the intensity of physical load (Hanson & Lee, 2017; Edwards & McCormick 2017), we further had a closer look at the participants' perceived intensity. For all further calculations only data from the physical load

condition was used and participants were assigned to two different groups. The differentiation was made using the RPE scale. Participants with a high RPE rating (≥ 15) were assigned to one group ($n = 62$) and subjects with lower RPE rating (< 15) to the other group ($n = 24$)³. We choose this cut off, because an RPE Rating of 15 is defined as hard physical exertion (Borg, 1982).

Results of the repeated measure ANOVA show a main effect for video speed, $F(1, 84) = 59.40, p < .001, \eta_p^2 = 0.414$, showing that duration estimation was longer when watching slow-motion videos ($M = 7.79; SD = 3.49$) compared to real-time videos ($M = 6.14; SD = 1.45$). We further found a main effect for physical load when looking at RPE rating, $F(1, 84) = 10.62, p = .002, \eta_p^2 = 0.112$. Figure 3 shows, that duration is estimated longer in the RPE < 15 condition ($M = 7.98; SD = 2.41$) for both real-time and slow-motion condition. Whereas duration is estimated shorter in the RPE ≥ 15 condition ($M = 6.57; SD = 1.95$). The interaction of video speed and RPE rating was significant, $F(1, 84) = 5.95, p = .02, \eta_p^2 = 0.066$, showing that the difference of duration estimation between real time and slow motion was smaller for participants with high RPE ratings (Figure 2).

To test the *accuracy of time estimation*, when looking at the effect of intensity of physical load, one new variable with four conditions were created. For this variable we subtracted the mean estimation (absolute value) from the actual duration (measured duration) of the sport performance for all four combinations of the respective conditions (1) duration estimation of the real-time videos for participants with high RPE ratings, (2) duration estimation of the real-time videos for participants with low RPE ratings, (3) duration estimation of the slow-motion videos for participants with high RPE ratings, (4) duration estimation of the slow-motion videos for participants with low RPE ratings. Results of the repeated measure ANOVA show a main effect of video speed $F(1, 84) = 54.63, p < .001, \eta_p^2 = 0.394$, showing that participants were more accurate in estimating duration when watching

videos in real time ($M = 3.66$; $SD = 0.48$) compared to slow motion ($M = 4.47$; $SD = 1.32$). We further found a main effect of RPE ratings, $F(1, 84) = 10.20$, $p = .002$, $\eta_p^2 = 0.108$, showing that participants were more accurate in estimating the duration when RPE ratings were high ($M = 4.11$; $SD = 1.29$) compared to lower RPE ratings ($M = 4.92$; $SD = 1.73$). The interaction of video speed and RPE was significant, $F(1, 84) = 8.37$, $p = .005$, $\eta_p^2 = 0.091$, showing that for participants with high RPE ratings the accuracy estimates in the slow-motion and real-time conditions were closer to each other than in subjects with lower RPE ratings.

Discussion

The aim of this paper was to investigate whether physical load influences duration estimation and accuracy of time estimations of sports activities. Another goal was to gather more evidence on the question whether humans perceive actions to last longer when shown in slow motion rather than in real time.

While physical activity compared to resting had no effect on duration estimations, we found that participants experiencing the activity to be more intense estimated the videos to be shorter and made more accurate estimates. Thus, high physical load influenced duration estimation.

In line with hypotheses one and three, we found that duration is estimated to be longer when videos are presented in slow motion, and that estimations are more accurate in real time than in slow motion. Results regarding hypotheses two and four were not in line with our predictions: Duration was not estimated to be shorter in the physical load condition as compared to the rest condition, and neither were estimations more accurate under general physical load.

When restricting the sample to observations from the physical load condition, and when comparing participants who experienced the activity to be highly intense to participants who experienced the activity to be less intense, a different pattern of results emerged. Again,

results were in line with hypotheses one and three. Additionally, this time, participants who experienced the activity to be more intense estimated the videos to be shorter and made more accurate estimates (in line with hypotheses two and four). Furthermore, we found two interactions. The first one indicates that the difference of duration estimation between real time and slow motion was smaller for participants who perceived the activity to be more intense. The second one indicates that for participants who perceived the activity to be more intense the accuracy estimates in the slow-motion and real-time conditions were closer to each other. Thus, high physical load attenuates the negative influence of slow motion on the accuracy of time estimation. Judging with the benefit of hindsight, these interactions make sense and could have been anticipated. As explained above, physical load should lead to shorter duration estimation. As duration is overrated in the slow-motion condition, it makes sense that the influence of physical load is particularly strong in this condition (high perception of intensity).

We emphasize that splitting the sample based on perceived intensity was not part of our original analysis plan, and thus all related results should be treated with caution. The interactions constitute a chance finding that we did not anticipate, and thus should be treated with particular caution. We suggest replicating all results based on the physical load condition only and particularly so the resulting interactions as part of an additional study with preregistered hypotheses, thus combining the merits of a more exploratory approach with those of a strictly confirmatory one (Gelman & Loken, 2014). Another limitation of this study is the method of exercise protocol used in this study. Based on the scalar expectation theory and the mentioned pacemaker, one could argue, that rhythmic movements, like cycling on an ergometer, might impact the internal pacemaker. Studies looking at contextual variations of subjective time found, that rhythm can influence time estimation (Droit-Volet & Gril, 2009; see Matthew & Meck, 2016, for a review). Thus, this might have impacted the results. Future

studies might want to employ physical load induced by non-rhythmic movements for investigations into the effects of exertion on the estimation of time and slow motion.

Furthermore, future studies might benefit from using other tasks for measuring time (see Matthew & Meck, 2016, for an overview). In our study, we used an explicit time rating, where participants had to indicate the time in milliseconds. In research on time judgments, several other tasks have been used, such as psychophysical tools (where participants have to compare a target interval to a standard interval in order for researchers to estimate a psychophysical function based on these comparisons), temporal reproduction (where participants have to reproduce an interval that they previously encountered, e.g., by pressing a button for the duration of the previous interval) and temporal generalization (where participants first learn a standard interval and then have to indicate whether a novel interval is the same or different), just to name a few. Crucially, different measures of time judgments allow for testing different aspects of theories of time estimation. For the present research, particularly temporal reproduction might be an interesting method, as it allows for manipulations being present either before or during the production interval (Matthew & Meck, 2016).

The transferability of the current findings to sports in which video footage is used is limited by potential differences between the footage used in the present research and the footage used for refereeing in different kinds of sports. Further research might benefit from analyzing ‘typical’ video footage as used in different kinds of sports and from using respective footage in experimental studies. For example, real-life footage might be more dynamical, involve more actors, include more interactions between actors and might include movement in more directions than the footage used in the present research. Future research might benefit particularly from formulating differential theory-based hypotheses regarding the above-mentioned characteristics of video footage. For example, effects might be smaller when

there is information present that allows participants to assess the slow-down factor of the slow-motion footage and thus correct for it.

Taken together, our results show that physical load may influence length and accuracy of estimates, but only when comparing participants with high perceived intensity to participants with low perceived intensity, not when comparing physical intensity to rest. These results are in line with previous literature. Brewer et al. (2019) also showed in three experiments that the duration of physical exertion was retrospectively estimated to be shorter the more intense it was perceived to be. Edwards & Mc Cormack (2017) could show that the higher the intensity, the shorter the time is perceived, in response to the chronologically elapsed time.

Further results replicate the earlier finding on the influence of video speed on the length and the accuracy of duration estimations. Although our results on the effects of physical load must be considered to be preliminary, they may constitute valuable starting points for future research, as they underline those future studies on time estimation in sports (and on cognition in sports in general) should take into account the potential impact of physical load, at least when there is theoretical reason to believe that physical load might exert such an impact. Therefore, more research on the role of physical load is needed particularly in the assessment of slow-motions video when an experimental manipulation of physical intensity occurs. Furthermore, and maybe most importantly, they suggest that physical load is better investigated based on comparisons of perceived intensity, and not based on comparisons of load to rest.

References

- Allman, M. J., Teki, S., Griffiths, T. D., & Meck, W. H. (2014). Properties of the internal clock: first-and second-order principles of subjective time. *Annual Review of Psychology*, *65*, 743-771. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115117>
- Block, R. A., Hancock, P. A., & Zakay, D. (2010). How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. *Acta Psychologica*, *134*, 330–343. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.03.006>
- Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *14*(5), 377–381. <https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>
- Brewer, B. W., Schwartz, L. O., Cornelius, A. E., Van Raalte, J. L., Urbina, E. L., & Stubbs, J. S. (2019). It's about time: effects of physical exertion on duration estimates. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, *4*(1), 6. <https://doi.org/10.3390/jfmk4010006>
- Caruso, E. M., Burns, Z. C., & Converse, B. A. (2016). Slow motion increases perceived intent. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *113*(33), 9250–9255. <https://doi.org/10.1073/pnas.1603865113>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Research*, *1453*, 87-101.
- Cheng, R. K., Tipples, J., Narayanan, N. S., & Meck, W. H. (2016). Clock speed as a window into dopaminergic control of emotion and time perception. *Timing & Time Perception*, *4*(1), 99-122. <https://doi.org/10.1163/22134468-00002064>
- Church, R. M. (1984). Properties of the internal clock. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *423*(1), 566-582.

DFB (2017). *Grundsätzliche Informationen zum Video-Assistenten*. DFB.

<https://www.dfb.de/sportl-strukturen/schiedsrichter/video-assistent/>

Di Salvo, V., Carmont, M. R., & Maffulli, N. (2011). Football officials' activities during matches: a comparison of activity of referees and linesmen in European, Premiership and Championship matches. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 1(3), 106.

Droit-Volet, S. (2018). Intertwined facets of subjective time. *Current Directions in Psychological Science*, 27(6), 422-428. <https://doi.org/10.1177/0963721418779978>

Droit-Volet, S., & Gil, S. (2009). The time–emotion paradox. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1943-1953.

<https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0013>

Edwards, A. M., & McCormick, A. (2017). Time perception, pacing and exercise intensity: maximal exercise distorts the perception of time. *Physiology & Behavior*, 180, 98-102.

<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.08.009>

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>

Fayolle, S., Gil, S., & Droit-Volet, S. (2015). Fear and time: Fear speeds up the internal clock. *Behavioural processes*, 120, 135-140.

<https://doi.org/10.1016/j.beproc.2015.09.014>

Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. (5th Edition). Los Angeles: Sage.

Gelman, A., & Loken, E. (2014). The statistical crisis in science: data-dependent analysis – a “garden of forking path” – explains why many statistically significant comparisons don't hold up. *American scientist*, 102(6), 460.

- Hanson, N. J., & Lee, T. L. (2017). Time flies when you're at RPE13: How exercise intensity influences perception of time. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(12), 3546-3553. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002221>
- Jakubowski, K., Halpern, A., Grierson, M., & Stewart, L. (2015). The effect of exercise-induced arousal on chosen tempi for familiar melodies. *Psychonomic Bulletin and Review*, 22, 559–565. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0687-1>
- Lambourne, K. (2012). The effects of acute exercise on temporal generalization. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(3), 526-540.
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12-24.
- Matthews, W. J., & Meck, W. H. (2014). Time perception: The bad news and the good. *WIREs Cognitive Science*, 5, 429-446. <https://doi.org/10.1002/wcs.1298>
- Matthews, W. J., & Meck, W. H. (2016). Temporal cognition: Connecting subjective time to perception, attention, and memory. *Psychological Bulletin*, 142, 865-907. <https://doi.org/10.1037/bul0000045>
- Meck, W. H. (1983). Selective adjustment of the speed of internal clock and memory processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 9, 171-201.
- NFL (2021). *History of Instant Replay*. National Football League. <https://operations.nfl.com/officiating/instant-replay/history-of-instant-replay/>
- Penton-Voak, I. S., Edwards, H., Percival, A., & Wearden, J. H. (1996). Speeding up an internal clock in humans? Effects of click trains on subjective duration. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 22, 307–320.
- Pronin, E. (2013). When the mind races: effects of thought speed on feeling and action. *Current Directions in Psychological Science*, 22, 282–88

- Rossi, F., Montanaro, E., & de'Sperati, C. (2018). Speed biases with real-life video clips. *Frontiers in Integrative Neuroscience, 12*, 11.
<https://doi.org/10.3389/fnint.2018.00011>
- Schütz, L.-M., Schweizer, G., & Plessner, H. (2021). The impact of video speed on the estimation of time duration in sport. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 43*, 419-429. <https://doi.org/10.1123/jsep.2020-0248>
- Sperl, L., Hüttner, N. & Schröger, A. (2021). Why do actions in slow motion videos appear to last longer? On the effect of misconceiving video speed. *Perception, 50*(1), 69-79.
<https://doi.org/10.1177%2F0301006620982212>
- Spitz, J., Moors, P., Wagemans, J., & Helsen, W. F. (2018). The impact of video speed on the decision-making process of sports officials. *Cognitive Research: Principles and Implications, 3*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0105-8>
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the american college of cardiology, 37*(1), 153-156. .
[https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8)
- Vercruyssen, M., Hancock, P. A., & Mihaly, T. (1989). Time estimation performance before, during, and following physical activity. *Journal of Human Ergology, 18*(2), 169-179.
<https://doi.org/doi:10.11183/jhe1972.18.169>
- Wearden, J. (2016). SET and human timing. In *The psychology of time perception* (pp. 27-63). Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1057/978-1-137-40883-9_3

Footnote

¹ Calculations using the original non winsorized data did not show any differences regarding significance.

² We would like to thank an anonymous reviewer for this suggestion.

³ An alternative way to test this hypothesis would be to conduct an analysis of covariance including RPE rating as a continuous variable. Doing this yields the same results. Details of the results can be found in the supplemental material.

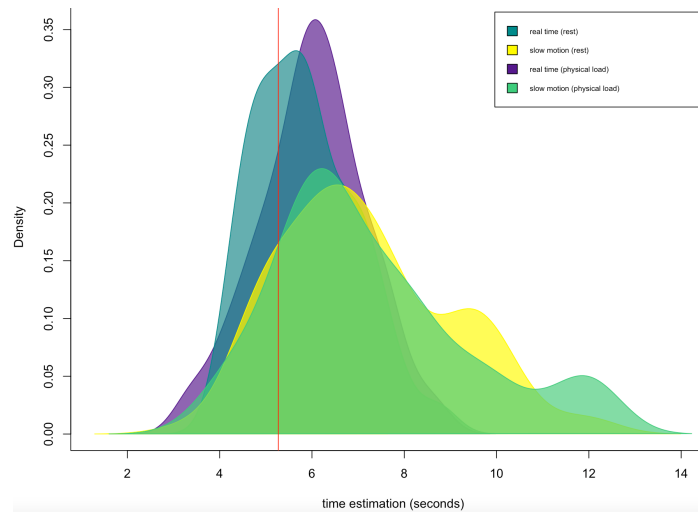


Figure 1. Density distributions of time estimates in slow motion and real time in the resting condition and in the physical load condition. The vertical line designates the mean of the accurate times, averaged over all video clips.

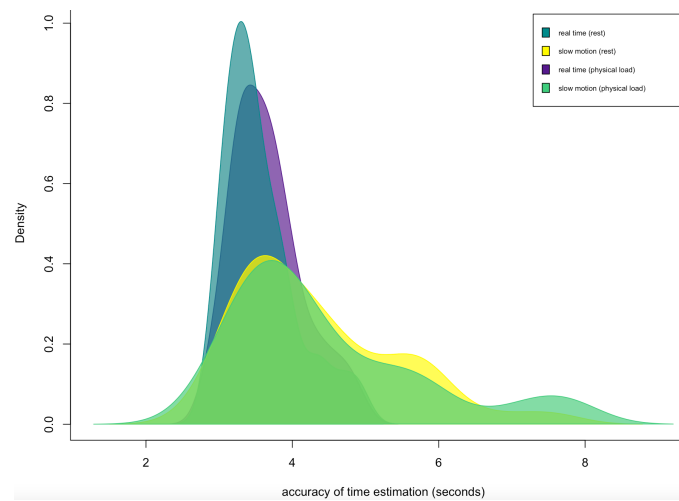


Figure 2. Density distributions of the accuracy of time estimation in slow motion and real time in the resting condition and in the physical load condition.

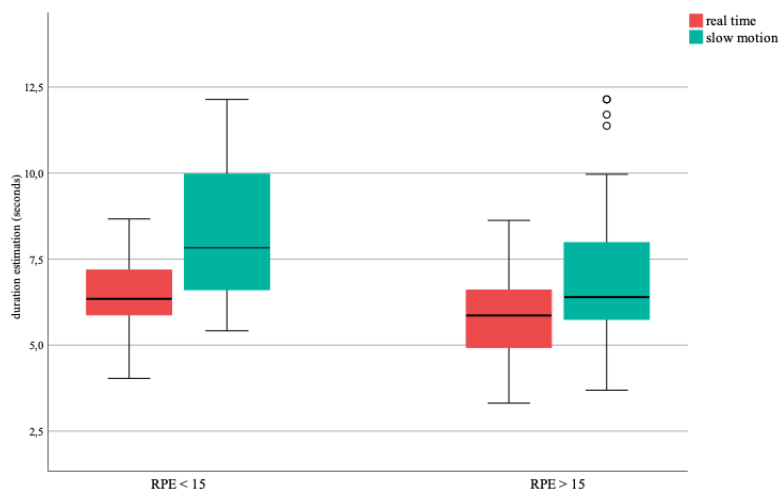


Figure 3. Boxplot of duration estimates in slow motion and real time under physical load, separate by effort intensity (RPE < 15 vs. RPE \geq 15).

Supplements

Percentage Scores

This supplement contains all analyses from the results section of the main manuscript, only redone with percentage scores instead of raw estimates. For the present data, analyses based on raw estimates and analyses based on percentage scores produce the same conclusions regarding all hypotheses. There is only one very minor difference between analyses conducted with raw estimates and analyses conducted with percentage scores. We marked this difference in red and additionally presented the different results from the main manuscript (see below).

Results

Planned Analyses

To investigate whether duration estimation is affected by physical load and video speed we calculated a repeated measure ANOVA. Results reveal a significant main effect for video speed, $F(1, 84) = 76.235, p < .001, \eta_p^2 = 0.476$, showing that duration estimation was longer when watching slow-motion videos compared to real-time videos (independent of physical load (in line with hypothesis one). There was no main effect for general physical load, $F(1, 84) = 2.077, p = 0.153, \eta_p^2 = 0.024$ (contrary to hypothesis two) and no main effect for order, $F(1, 84) = 2.901, p = 0.92, \eta_p^2 = 0.033$. The results showed, that in rest and under physical load, duration estimation differs for watching the video in slow-motion versus real time. So that duration is estimated longer in the slow-motion condition. In addition, we found an unexpected two-way-interaction, $F(1,84) = 4.7676, p = 0.032, \eta_p^2 = 0.054$. It shows that participants' duration estimation was shorter at rest independent of video speed, when starting with the physical load condition and not at rest (Order). That means participants who started the study with the physical load condition generally had shorter times.

To analyze our third and fourth hypotheses, we used similar methods as done by Schütz et al., (2021). Thus, one new variable for four conditions was created. For this variable we subtracted the mean estimation (absolute value) from the actual duration (measured duration) of the sport performance for all four combinations of the respective conditions (1) duration estimation of the real-time videos under physical load, (2) duration estimation of the real-time videos under rest, (3) duration estimation of the slow-motion videos under physical load, (4) duration estimation of the slow-motion videos under rest. Results of the repeated measure ANOVA revealed a significant main effect for video speed, $F(1, 84) = 69.358, p < .001, \eta_p^2 = 0.452$, showing that participants are more accurate in estimating duration of sporting actions in real time compared to slow motion, independent of physical load (in line with hypothesis three). There was no main effect for physical load vs. rest, $F(1, 84) = 2.915, p = .091, \eta_p^2 = 0.034$ (contrary to hypothesis four). We did not find a main effect for order (first rest, then cycling and vice versa), $F(1, 84) = 3.668, p = .059, \eta_p^2 = 0.042$. In the analyses with raw estimates, we did find the respective main effect, but differences between both analyses are tiny. The respective numbers for the analyses with raw estimates are $F(1, 84) = 3.99, p = .05, \eta_p^2 = 0.045$. All data patterns described above for physical load and video speed stayed the same in both order conditions.

Additional Analyses

Our results suggest that participants in the physical load condition varied regarding their perception of intensity, i.e., some perceived the activity to be more intense than others. As literature shows, that duration estimation is affected by the intensity of physical load (Hanson & Lee, 2017; Edwards & McCormick 2017), we further had a closer look at the participants' perceived intensity. For all further calculations only data from the physical load condition was used and participants were assigned to two different groups. The differentiation was made using the RPE scale. Participants with a high RPE rating (≥ 15) were assigned to

one group ($n = 62$) and subjects with lower RPE rating (< 15) to the other group ($n = 24$). We choose this cut off, because an RPE Rating of 15 is defined as hard physical exertion (Borg, 1982).

Results of the repeated measure ANOVA show a main effect for video speed, $F(1, 84) = 59.512, p < .001, \eta_p^2 = 0.415$, showing that duration estimation was longer when watching slow-motion videos compared to real-time videos. We further found a main effect for physical load when looking at RPE rating, $F(1, 84) = 10.652, p = .002, \eta_p^2 = 0.113$. Figure 2 shows, that duration is estimated longer in the RPE < 15 condition for both real-time and slow-motion condition. Whereas duration is estimated shorter in the RPE ≥ 15 condition.

The interaction of video speed and RPE rating was significant, $F(1, 84) = 5.192, p = .025, \eta_p^2 = 0.058$, showing that the difference of duration estimation between real time and slow motion was smaller for participants with high RPE ratings (Figure 2).

To test the accuracy of time estimation, when looking at the effect of intensity of physical load, one new variable with four conditions were created. For this variable we subtracted the mean estimation (absolute value) from the actual duration (measured duration) of the sport performance for all four combinations of the respective conditions (1) duration estimation of the real-time videos for participants with high RPE ratings, (2) duration estimation of the real-time videos for participants with low RPE ratings, (3) duration estimation of the slow-motion videos for participants with high RPE ratings, (4) duration estimation of the slow-motion videos for participants with low RPE ratings. Results of the repeated measure ANOVA show a main effect of video speed $F(1, 84) = 56.651, p < .001, \eta_p^2 = 0.403$, showing that participants are more accurate in estimating duration when watching videos in real time compared to slow motion. We further found a main effect of RPE ratings, $F(1, 84) = 10.607, p = .002, \eta_p^2 = 0.112$, showing that participants are more accurate in estimating the duration when RPE ratings were high compared to lower RPE ratings. The

interaction of video speed and RPE was significant, $F(1, 84) = 6.409, p = .013, \eta_p^2 = 0.071$, showing that for participants with high RPE ratings the accuracy estimates in the slow-motion and real-time conditions were closer to each other than in subjects with lower RPE ratings.

Analysis of covariance

Additionally, we calculated an analysis of covariance for both *time estimation* and *accuracy of time estimation* including RPE as a continuous variable. Results of the analysis show, that after adjusting for RPE, *time estimation* differed statistically significant for the different presentation modes (slow-motion vs. real-time), $F(1, 84) = 12.96, p < .001, \eta_p^2 = .134$. Further the analysis revealed that the covariate RPE has a statistically significant effect on time estimation, $F(1, 84) = 5.78, p = .02, \eta_p^2 = .06$. This shows, that the higher the RPE rating, the shorter times were estimated to be. We also found a significant interaction of presentation mode and RPE rating on time estimation, $F(1, 84) = 7.31, p = .008, \eta_p^2 = .08$. This shows, that with higher RPE ratings, the time estimates were shorter, especially in slow-motion. Thus, slow-motion estimates experienced a stronger correction than real time estimates, the higher RPE rating were.

Results of the second analysis of covariance showed, that after adjusting for RPE, *duration accuracy* differed statistically significant for the different presentation modes (slow-motion vs. real-time), $F(1, 84) = 13.60, p < .001, \eta_p^2 = .139$. Further the analysis revealed that the covariate RPE has a statistically significant effect on *accuracy of time estimation*, $F(1, 84) = 6.83, p = .01, \eta_p^2 = .08$. This shows, that the higher the RPE rating, the more accurate the time estimates. We also found a significant interaction of presentation mode and RPE rating on *accuracy of time estimation*, $F(1, 84) = 8.24, p = .005, \eta_p^2 = .09$. This shows, that with higher RPE ratings, the more accurate are time estimates especially in slow-motion. Thus, slow-motion accuracy experienced a stronger correction than the accuracy in real time, the

higher RPE ratings were. This makes sense, since the time estimates of slow-motion videos are more distorted.

Anhang A3 – Manuskript 3

The Impact of Video Speed on Intention Attribution

Abstract

The tendency to support referees and judges with video footage is very common in sports. Recent research investigating video footage in sport suggests that video speed influences duration estimation (Schütz et al., 2021; Sperl et al., 2021). It is also discussed that changes in video speed (e.g., slow motion) can lead to harsher penalties because the intention is overestimated (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018). In four experiments we investigated whether video speed influences time judgement and intention attribution. Participants ($n_1 = 98$; $n_2 = 81$; $n_3 = 105$, $n_4 = 63$) saw four different animated video contexts of stick figures acting (fouls scene in soccer and jockey, assault with an axe and gun) in different video durations (0.5, 1.0, 1.5 or 2.0 seconds). In study 2 and study 3, video material was modified, integrating bystanders (Study 2) and crowd noise (Study 3). In study 4, participants saw the video material while cycling for 45 minutes at 15 +/- 2 of their perceived exertion (RPE). Results show a main effect of video speed for time estimation, and for intention attribution. With decreasing video speed intention attribution was higher, suggesting a linear trend (Study 2-4). We found an interaction of video speed and bystander reaction on intention attribution (Study 2). The valence of crowd noise had no effect on intention attribution (Study 3). Physical load did not influence the linear trend of video speed on intention attribution. These studies help to generate a more differentiated picture about the influence of video speed on duration estimation and attribution of intentionality.

Keywords: video footage, misperception, crowd noise, bystander, physical load, judgments of duration, attribution of intention

The Impact of Video Speed on Intention Attribution

In soccer, there is an ongoing discussion about how referees can be supported in their decision-making using video footage. The basic idea of video footage in sports and specifically of slow motion is to see an ambiguous situation better or more correctly in order to judge what really happened. Video footage is reviewed by the video assistant referee (VAR). Thus, the VAR was introduced to make soccer fairer and to allow more accurate decisions (DFB, 2017).

However, recent research suggests that viewing videos in slow motion leads to changes in perception (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018, Schütz et al., 2021). Slow motion replays influence the perception and impression of duration (Spitz et al., 2018). So that actions are perceived longer and less accurate, compared to the original speed (Schütz et al., 2021; Sperl et al., 2021). Recent studies (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018) suggest that video speed does not only influence time perception but also other cognitive-evaluative processes such as intention judgement (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018), as time perception (spatial and temporal gaps, relative speed of objects) is related to subjective judgment about causality and attributed intentionality of an action (Heider, 1958; Michotte, 1963; Scholl & Tremoulet, 2000). As a consequence, participants watching video replays in slow motion were more likely to believe that a foul play was intentional compared to participants watching the same scene in real time, as the slower speed implies that the person acting had more time to think and act than they actually the case had (Caruso et al., 2016). Spitz et al. (2018) conducted a study with professional soccer referees, demonstrating that in sports, expert judgements can be influenced by video speed. They found that when watching foul scenes in slow motion, experts tend to punish more harshly, awarding more red cards, compared to watching the same scene in real time. The mentioned studies do not specify the exact time interval in which the participating referees or participants indicated how much time

they think the person in the video had to assess the shown action. However, it would be advantageous to compare the estimated time and the actual time. Only this would allow to make a statement about estimation biases, since we can statistically prove whether the estimated time in slow motion or in real time is closer to the objectively measured time. Further we can then systematically compare the attributed intent of all manipulated interval durations (e.g., different modes of video speed).

The videos used in previous studies are embedded in an explicit context and in addition to the harmful action they contain further information that could be used as a cue for intentionality, such as position of the player, facial expression, skin color, the presence of others or the valence of crowd noise. Studies have shown that the sole presence of others has an impact on participants behavior in critical situations (Darley & Latané, 1968; Fischer et al., 2011). Further, crowd noise influences referee decisions. Referees tend to use the valence, volume or intensity as an additional cue in order to decide on the severity of fouls (Nevill et al., 2002; Unkelbach & Memmert, 2010). Watching the videos in slow motion participants might have more time to encode those cues, than in real time. Thus, it could be, that the effect of a higher attributed intention could therefore not only be caused by the temporal misperception but also by the use of unsystematic and irrelevant cues. Another important influencing factor that has received little attention is that referees on the field are physically active. Referees on the field can also use video footage. However, previous studies have not investigated the influence of physical load on the use of video footage and the interpretation of the depicted action (e.g., foul play), especially on time and intention attribution. This would be specifically interesting, as we know, that physical load influences cognitive processes (Chang et al., 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010).

Thus, the aim of the present studies is to investigate the extent to which participants intention estimation depends on video speed, when no unwanted and unsystematic cues as

present in previous studies, were present (Study 1) only experimentally manipulated and theoretically relevant cues (Study 2 and 3) are available, or participants are under physical load (Study 4). These studies therefore follow an experimental approach. In the same paradigm, scenes are first presented as an isolated and context-reduced video material. Then, systematic and relevant contextual information such as auditory or visual cues are integrated. The goal is to pull the research question down to the central causal level and then integrate it back into the context. Thus, this paper contributes to the backbone of social psychology by systematically varying contextual information to show that context influences perception and decision behavior – so to say, that context always matters (Bless et al., 2000).

The Present Research

In order to investigate whether video speed influences subjectively attributed intention we conducted four different experiments ($N_{\text{Total}} = 347$). In these studies, we assessed how different video speeds, respectively the duration of an action (0.5, 1.0, 1.5 or 2.0 seconds) influence time judgement and intention attribution. In study 1 ($N = 98$) we investigated the influence of video speed on time judgement and the subjectively attributed intention using different video material. In study 2 ($N = 81$) we investigated how subjectively attributed intention is influenced when bystanders are watching and reacting to a presented action shown in different video speeds. In study 3 ($N = 105$) we investigated the influence of crowd noise (positive, negative and neutral) on intention attribution and time judgement. In study 4 ($N = 63$) we investigated the influence of physical load on intention attribution and time judgement.

All studies were based on the same video material. Participants saw four different video contexts of stick figures acting (fouls scene in soccer and jockey, assault with an axe and gun; see Figure 1 for details) and had to first judge the intention and then the duration of a depicted action. All videos were presented in different video speeds, respectively in varying

durations of an action (0.5, 1.0, 1.5 or 2.0 seconds). In study 2 and study 3 video material was modified, integrating bystanders (Study 2) and crowd noise (Study 3). Study 4 used the same video material as study 1, while participants performed a referee like interval exercise.

General Method

The rationale common to all four studies is described in this section. In the sections below we describe the unique characteristic of each study. We report how we determined our sample size, all manipulations, and all measures in the study. In all studies, participants were informed about the procedure and the risks of the study in oral or written form. Participants gave their consent before participating voluntarily in the study and were thanked and debriefed after the study.

The general within-subjects' factor was video duration (0.5, 1.0, 1.5 or 2.0 seconds). The dependent variable was participants' attribution of intentionality and the estimation of duration. In study 2, 3, and 4 an additional within-subjects' factor was added. In study 2 the within-subjects' factor was 'bystander and their reaction' (with reaction, without reaction). In study 3 the additional within-subjects' factor was the valence of crowd noise (positive, negative, neutral). In study 4 the additional within-subjects' factor was physical load, assessed through an aerobic exercise session (cycling ergometer).

After participants gave their consent, they watched 16 randomly displayed videos of ambiguous scenarios, where a person on the right harms a person on the left (stick figures). As the nature of the experimental approach is to pin down scenarios to the central causal level and then systematically return context, video material was impoverished showing only reduced contextual information, no gender, or facial expression. The content varied showing videos of a soccer foul, a jockey foul, one assault with an axe and one assault with a gun. Theoretically relevant contextual content was added systematically across the studies (Study 2: bystanders; Study 3: crowd noise; Study 4: physical load). In terms of content, the

scenarios were to be ambiguous with respect to the intentionality of the person acting. So that participants did not immediately recognize a clear intention behind the action, but that the intentionality of the action was to be understood ambiguously (see Figure 1 for video details). The videos were presented in different video speeds (0.5, 1.0, 1.5 or 2.0 seconds). Video speed and video context was randomized over all video presentations. The videos started automatically and were played once before participants were asked to make a judgement. In the first block, participants rated all videos in terms of the perceived intention of the perpetrator. In the second block, participants were asked to estimate the duration of the harmful action. After each video of the first block participants were asked to estimate the intention of the person harming the other person ("Estimate the extent to which the person on the right intended to harm the person on the left"). Participants gave their answer using a slide control with one pole labeled "No intention" and the other pole labeled "Full intention" (as done by Caruso et al., 2016). The slide control was coded from 1 to 101, (1 = No intention; 101 = Full intention). The same was done in the second block for the duration judgements, where the depicted scene was colored in blue in order to only judge the duration of the harmful action and not the duration of the full video. Thus, participants were asked to "estimate the duration of the blue colored sequence". The order of the first and the second block was chosen to minimize the demand effect (Orne, 1962), in which participants influence the presumed outcome of a study. Participants were informed that the time interval of the harmful action would vary between 0.5 seconds and 2.0 seconds. Before the start, participants were given a tutorial, a sample video and answered a control question to ensure that participants were assessing intentionality, rather than harmfulness of the depicted action.

According to Hintzman (1970; 2004) and Betsch et al. (2010), humans are able to discriminate duration in the second range when performing duration judgement tasks. In order to control that the prolonged duration of the harmful actions shown (0.5, 1.0, 1.5, or 2.0

seconds) is noticed as such we also focus on relative time judging, suggesting a positive linear trend for the subjective duration estimation when video speed is increasing. Therefore, we hypothesize, that participants are able to discriminate different video speeds in the second range (*hypothesis 1*).

In order to investigate the influence of video speed, respectively the duration of a harmful action (0.5, 1.0, 1.5, or 2.0 seconds), on intention attribution we hypothesize that actions are judged to be more intentional with decreasing video speed, suggesting a linear trend (*hypothesis 2*).

Study 1

Introduction

This study investigated the influence of video speed on the subjectively attributed attention. The goal of this study was to investigate whether video speed can change the subjectively attributed intention. We investigated intention attribution using impoverished video material, showing no gender or facial expression, presented in different video durations (0.5, 1.0, 1.5 or 2.0 seconds).

Method

Participants

A total of 98 participants (86 women; $M = 21.09$, $SD = 1.89$) participated in this study. Participants were undergraduates from the University of Erfurt.

According to G*Power, 86 participants are required in order to obtain a power of .95 to detect a small-to-medium sized effect ($f = .46$) at $p < .05$ when using a multi-factorial analysis of variance with repeated measurements. We used the effect size of Hintzman (2004) in order to plan the number of participants.

Procedure

Participants had to judge the intention and the duration of ambiguous scenes, that were presented in different video speeds. After every single video the answer was given using a slide control. Participants watched 32 videos showing stick figures (4 scenarios, 4 video speeds, shown twice [first intention attribution, then duration judgement]).

Video Material

We created videos using Adobe Animate, showing stick figures in four different scenarios (soccer foul, jockey foul, assault with an axe, assault with a gun). In the videos, the person on the right always causes the person on the left harm. For example, the video of the soccer fouls, shows a person on the left playing the ball. A second person on the right takes the ball, jumps towards the left person and hits him with the ball and his foot in the head, whereupon the left person falls to the ground. According to DFB (2019), this scene is considered foul play, as the player jumps excessively hard into his opponent and endangers his opponent's health. All video scenes are shown in Figure 1. All videos were presented in different video durations (0.5, 1.0, 1.5 or 2.0 seconds).

Results

To test our first hypothesis, that participants can discriminate duration in the second range, we hypothesized a positive linear trend for the subjective duration estimation. Analyses reveal a significant main effect for duration estimation, $F(3, 96) = 270.30, p < .001, \eta^2 = 0.73$, and a significant linear trend, $F(3, 96) = 355.78, p < .001, \eta^2 = 0.78$. This shows that participants recognized the systematic extension of duration in the videos used in this study.

We did not find a main effect of video speed on intention attribution, $F(3, 96) = 0.81, p = .49, \eta^2 = 0.01$, nor did we show that intention attribution increased (linear trend) with decreasing video speed (increasing slow motion factor), $F(1, 98) = 0.32, p = .57, \eta^2 = 0.00$.

Results descriptively indicate a quadratic trend on intention attribution with decreasing video

speed, $F(1, 98) = 2.28, p = .13, \eta^2 = 0.02$. Intention attribution increases up to the video duration of 1.5 seconds and then decreases (see Figure 3).

Discussion

In this study we wanted to investigate whether video speed influences subjectively estimated intention using different video material. Results of time estimation show a significant linear trend. This means that participants recognized the prolonged duration of the actions shown. Analyses do not show a main effect of video speed on intention estimation, nor a linear trend, but a significant quadratic trend. Figure 3 shows that intention attribution increases and drops after 1.5 seconds. The study results might be a first indication that attribution and judgment processes change at a certain video speed. The results found can be explained by the Elaboration-Likelihood Model (Petty & Cacioppo, 1986). Due to the extended duration of the videos, the participants have more time to elaborate a scene while watching and to form a judgement afterwards. If subjects have more time to observe a situation, this could lead to them being able to process the context better. In this specific case this could mean, that participants change their elaboration processes when judging the specific scenes at two seconds, resulting in lower intentions attributed as correction processes are applied. Thus, in a second study we wanted to analyze whether visual context information, such as bystanders and their reactions influences the slope of the assumed linear trend, so that strong cues could be integrated into the decision-making process and lead to increased intention. Especially we were interested in replicating the course of the intention attribution curve (Figure 3) when context information is available. Or whether, depending on the contextual information, cognitive processes and thus the intention attribution and with that the course of the curve changes.

Study 2

Introduction

In order to investigate our hypotheses in another practically relevant context, study 2 investigated the influence of video speed on intention and duration estimation when bystanders were presented in the video background. Video footage of foul play can show observers of the situation, such as teammates, spectators or bystander and their depicted reactions to a specific situation. There is a lot of research on the influence of bystanders on decision making and actions of people, called bystander effect (Darley & Latané, 1968). Thus, a situation where bystanders are present is perceived differently by the person acting and may cause that person to act differently compared to a situation without a bystander (Darley & Latané, 1968; Fisher et al., 2011).

The goal of this study was to investigate how theoretically and practically relevant visual context information influences intention attribution when video material is shown at different video speeds. More specific, we were interested in analyzing whether the reaction of other bystanders (e.g., raising arms), who observe a harmful action against another person, affect the assessment of a situation, as the sole presence of others has an impact on participants behavior in critical situations (Darley & Latané, 1968).

Method

Participants

A total of 81 participants (17 males; $M = 25.91$, $SD = 11.27$) participated in this study. Participants were undergraduates from the University of Erfurt.

Procedure

Participants had to judge the intention and the duration of ambiguous scenes, that were presented in different video speeds. In this study videos showing stick figures were used. After every single video the answer was given using a slide control. Participants watched 64

videos showing stick figures (4 scenarios, 4 video speeds, 2 bystander reactions [reaction, no reaction], shown twice [first intention, then duration judgement]).

Video Material

In study 2, we enriched the videos from study 1 with contextual material including bystanders. In every video, three to four bystanders were present. In 50 % of all scenes, they reacted as soon as the right person had carried out the damaging action. In 50 % of all scenes there was no reaction. All reactions of the bystanders were not identical, varying in terms of added accessories, background items and the way the bystanders raise their arms. All bystanders in the video stand behind a window, allowing them to fully observe the action (see Figure 2). Every video was shown twice: once with reaction and once without reaction for both, the intention and the duration judgement.

Results

Analyses show a significant main effect for duration estimation, $F(3, 78) = 267.30, p < .001, \eta^2 = 0.77$, and a significant linear trend, $F(3, 96) = 364.44, p < .001, \eta^2 = 0.82$. This shows that participants recognized the systematic extension of duration in the videos used in this study.

We found a main effect of video speed on intention attribution, independent of bystander response, $F(3, 78) = 7.56, p < .001, \eta^2 = 0.09$. With decreasing video speed, more intention was attributed to the person causing the harmful action (linear trend), $F(1, 80) = 7.10, p = .009, \eta^2 = 0.08$. Results also reveal a significant quadratic trend, $F(1, 80) = 12.45, p = .001, \eta^2 = 0.14$, showing that intention estimation decreased when the depicted action lasted more than 1.5 seconds. There was no main effect of bystander response on intention attribution, $F(1, 80) = 3.02, p = .09, \eta^2 = 0.04$. The interaction between bystander response and video speed reached significance, $F(3, 78) = 7.55, p < .001, \eta^2 = 0.09$ (see Figure 4). It

can be seen that attributed intent is higher when bystander react to the depicted scene, compared to bystander showing no reaction.

Discussion

In study 2 we wanted to show that video speed, respectively the duration of a video, can change intention attribution. Results show, that participants recognize the prolonged video duration as time was estimated longer, the longer the videos lasted. Further results show that participants attributed more intention to a harmful action when videos were shown in slower speed. Intention attribution decreased when the harmful action lasted longer than 1.5 seconds. This effect was independent of bystander's reaction. Thus, in study 2 we were able to replicate the trend shown in figure 3, study 1. This trend changed when adding contextual information. We found an interaction showing that reacting bystanders lead to higher intention attribution when video speed is slowest, showing a linear trend. Whereas when bystanders were not reacting, a quadratic trend was observed. Thus, taking different context information (bystanders reacting vs. bystander watching) into account does not only alter the magnitude but also leads to vastly different slopes (see Figure 4) that run in contrary directions (increase vs. decrease of intention attribution after 1.5 seconds). This shows that contextual information can change cognitive processes, influence elaboration processes and lead to different judgement outcomes, although the actual action to be judged has remained the same.

Our results show, that intention attribution is influenced by the slow-motion factor that is used in videos. Suggesting that watching videos in slow motion can influence the perception, and thus subsequent decision-making processes, to the extent that more intention is attributed, especially when strong contextual cues (bystanders reacting) are present. Thus, it could be that participants direct their attention to the reacting bystanders and include them in their judgment process, leading to an increase in intention attribution. This could possibly

depend on the strength of the cues. If less strong cues (bystander without reaction) are available that attract the participants' attention, this contextual information might be less involved in the decision-making process. This could lead to a correction process taking place as subjects can direct more attention and time to the actual action, leading to a decrease in intention attribution. These are in line with the mentioned elaboration process that might influence intention attribution at 2.0 second of video duration, as participants are able to process the context longer and better. These results of our experimental approach confirm, that context matters (Bless et al., 2000), as the results change with contextual information: reaction bystanders lead to higher intention attribution whereas no reaction leads to a decrease of intention attribution when videos are presented at the slowest speed (duration of 2.0 seconds).

To investigate whether our results depend on the selected sample and to examine other theoretically and practically relevant cues, we conducted another study. Specifically, we wanted to investigate the influence of auditive cues (crowd noise) on intention attribution.

Study 3

Introduction

This online study investigated the influence of video speed on the subjectively attributed intention when additive cues such as crowd noise were present. In the context of sport, research shows that crowd noise influences referee decisions (Nevill & Holder, 1999; Nevill et al., 1999, 2002; Unkelbach & Memmert, 2010). Referees might use the valence, volume or intensity as an additional cue in their decision on the severity of fouls. Studies show, that referee decisions are influenced by the perceived social pressure triggered by crowd noise (Nevill et al., 2002; Di Corrado et al., 2011; Dohmen & Sauermann, 2016). Referees tend to award more decisions in favor of the home team, such as fewer fouls against home players (Balmer et al., 2007; Neville et al., 1999, 2002) and more yellow cards for the

away team (Unkelbach & Memmert, 2010). In ambiguous situations crowd noise is used as a source of information, although it is not an objective cue. Negative noise can even lead to performance loss in more "anxious" referees (Sors et al., 2019). Thus, the goal of this study was to investigate how crowd noise affects the assessment of a foul scene (time judgements and intention attribution).

Method

Participants

A total of 105 participants (52 women; $M = 25.85$, $SD = 8.95$) participated in this study. Participants were undergraduates from Heidelberg University and the University of Erfurt. The study was conducted online.

Procedure

Participants ($N = 105$) had to judge the intention and the duration of ambiguous scenes, that were presented in different video speeds. In this study videos showing stick figures were used. Video material was enriched, so that crowd noise was added. After every single video the answer was given using a slide control. Participants watched 96 videos (4 scenarios, 4 video speeds, 3 different crowd noises [positive, negative, neutral], shown twice [first intention, then duration judgement]) in total.

Video Material

We used the same stick figure video material as described in study 1 and enriched the video material, by including crowd noise. In every video, participants could hear crowd noise. In 30 % of all scenes, we used noise of spectators with positive connotation (cheering, clapping and shouting), in 30% negative (whistling, booing) and in 30% neutral noise (construction side noise). Crowd noise started as a response to the harmful action of the person on the right. Every video was shown with positive, with negative, and with neutral crowd noise, for both, the intention and the duration judgement and all video speeds.

Results

Study 3 confirmed the significant main effect for duration estimation, $F(3, 102) = 848.64, p < .001, \eta^2 = 0.89$, and a significant linear trend, $F(3, 102) = 1150.37, p < .001, \eta^2 = 0.92$. This shows that participants recognized the systematic extension of duration in the videos used in this study.

We further replicated the main effect of video speed on intention attribution, $F(3,102) = 3.13, p = .03, \eta^2 = 0.03$. As video speed decreased, the intention of the actor was estimated to be higher (linear trend), $F(1, 104) = 4.92, p = .03, \eta^2 = 0.05$. No main effect of crowd noise on intention attribution emerged, $F(2, 103) = 2.40, p = .09, \eta^2 = 0.02$. Also, no significant interaction between crowd noise and video speed emerged, $F(6, 99) = 1.00, p = .41, \eta^2 = 0.01$ (see Figure 5).

Discussion

In study 3 we wanted to investigate whether video speed, meaning the duration of a video, can change intention attribution when crowd noise is present. Again results show that participants recognize the prolonged video duration. Further we found a linear trend for intention attribution, showing that intention attribution increases with decreasing video speed, independent of crowd noise. We did not find any main effect for crowd noise.

Study 3 confirmed the results of study 2, showing that intention attribution is influenced by the slow-motion factor that is used in videos. The slower the video the more intention is attributed to the person performing the harmful action. The valence of crowd noise had no effect on intention attribution. Suggesting that in this study crowd noise did not affect perception and decision-making processes to the extent that elaboration processes were reduced. An experimental approach to change attentional processes and thus reduce elaboration processes is the influence of physical load. Previous studies suggest that cognitive processes (Chang et al., 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010) and especially duration

estimation (Schütz et al., 2022) can be influenced by physical load. This is relevant as referees on the field are physically active. E.g., in soccer, these referees also have access to the VAR video material, as it can be shown on a screen on the sidelines. Thus, it might be that the use of slow-motion footage influences referees on the field differently compared to watching the VAR without engaging in physical activity. Perceiving the same situation differently can lead to misunderstandings, conflicts and could, as a result, affect the credibility of the referees. It is therefore particularly important to further investigate the influence of physical load on the field referee, especially because he has the final decision-making power in the game.

Study 4

Introduction

This study investigated the influence of physical load on intention and duration ratings. Referees on the field are under constant physical load while making their decision, since they follow the game over the field (Di Salvo et al., 2012). Physical load influences cognitive processes, such as decision making (Chang et al., 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010) or duration estimation (Schütz et al., 2022). Duration estimation, and video speed seems to be an important factor contributing to intention attribution (Study 2, Study 3, Caruso et al., 2016). Thus, the use of video technology should also be investigated under physical load.

Human time perception itself is influenced by an inner clock, a so-called pacemaker. Arousal, such as physical load, can influence this pacemaker so that it ticks faster. As a consequence, the subjective time passes faster (Lambourne, 2012; Schütz et al., 2022).

As time perception is linked to intention attribution (Caruso et al., 2016), the goal of this study is to investigate how soccer specific physical load affects the assessment of different foul situations. As physical load leads to faster subjective perception of time, it might reduce the negative influence of slow motion on time estimation and thus reduce

perceived intent. The research question arises whether physical load attenuates the negative influence of slow motion on time estimation and thus reduces intention attribution? We therefore hypothesize that physical load reduces the linear increase of intention attribution.

Method

Participants

A total of 63 participants (20 women; $M = 24.51$, $SD = 3.56$) participated in this study. The study was approved by the Ethics Committee of the Heidelberg University (AZ Schü 2021 1/1).

Procedure

The study was conducted in the laboratory of the institute of sport and sports science of Heidelberg University. After participants gave their consent, they were asked to fill out a questionnaire on the exclusion criteria (over- or underweight, physical illness or mental disorders, heavy smokers, older than 35 years and physically inactive for more than six months). Participants were asked to rate different videos with respect to the intention of the acting person on the right and the duration of the depicted action while being exposed to physical load.

Physical load was operationalized by an aerobic exercise session which consisted of 45 minutes of cycling on an ergometer. Participants warmed up and cycled until they reached 80% of their maximum heart rate (HRmax). During testing participants cycled according to a soccer specific interval protocol where physiological responses are comparable to values previously observed in soccer matches (Drust et al., 2000). Participants were asked to cycle at 15 +/- 2 of their perceived exertion, including 1-minute breaks every 2-3 minutes. In these breaks the videos were rated.

Participants watched 32 videos showing stick figures (4 scenarios, 4 video speeds, shown twice [first intention, then duration judgement]). Intention and duration of the depicted

action was rated during the 1-minute exercise breaks, using a slide control. Participants maintained seated on the ergometer while rating the videos.

Video Material

We used the same stick figure video material as described in study 1.

Results

Study 4 confirmed the significant main effect for duration estimation, $F(3, 60) = 78.07, p < .001, \eta^2 = 0.56$, and a significant linear trend, $F(3, 60) = 110.89, p < .001, \eta^2 = 0.64$. Further, study 4 replicated the main effect of video speed on intention attribution, $F(3, 60) = 8.00, p < .001, \eta^2 = 0.11$, showing a significant linear trend, $F(1, 62) = 18.49, p < .001, \eta^2 = 0.23$. As video speed decreased, more intention was attributed to the actor (see Figure 6).

Discussion

The goal of study 4 was to investigate how soccer specific physical load affects the assessment of different foul situations. More precise we wanted to show that physical load reduces the linear increase of intention attribution, as it attenuates the negative influence of slow motion on time estimation. Results did not confirm our hypothesis. Contrary to what was assumed, the results replicate the findings shown in study 2 and 3. Results show that participants attribute more intention to the harmful actions when videos are played at slower speed. Further intention attribution seems to decrease at 2.0 seconds of video duration. In this study cognitive load did not influence decision making such as elaboration processes. This might be due to the fact that the sample was homogenous concerning the fitness level of all participants, as previous studies show, that fitness level of participants influences cognitive processes (Chang et al., 2012). Exclusion criteria did only allow highly fit participants to take part in this study. The physical load could thus not have had a sufficient effect on the cognitive processes of the very fit participants in this study.

If one tries to transfer the results of the study to soccer and the discussion about VAR mentioned at the beginning, one could cautiously conclude that study 4 showed no evidence that referees on the field, under physical load, assess intention differently than e.g., VAR without physical load. Since we do not have a concrete control group without physical load in this study, this conclusion should be treated with caution. In this study, we did not use referees, but sports students as a sample. Future studies should investigate the influence of physical load again with referees and in a more realistic setting to assure more generalizability.

General Discussion

Discussion of results

The aim of this paper was to investigate whether video speed, meaning the duration of a video, influences attributed intent. More specific, within four studies we wanted to analyze intention attribution when no unwanted and unsystematic cues, but only experimentally manipulated and theoretically relevant contextual cues are available. We hypothesized that participants are able to discriminate different video speeds in the second range. Furthermore, we hypothesized that actions are judged to be more intentional with decreasing video speed, suggesting a linear trend. For study 4, investigating the influence of physical load, we hypothesized that physical load reduces the linear increase of intention attribution.

We conducted 4 experiments ($N = 63 - 102$) to answer our hypotheses. In study 1 participants had to estimate the intention of an impoverished stick figure action harming another one, shown in different slow-motion factors. In study 2 and study 3 bystanders and crowd noise were added respectively. In study 4 participants were under physical load while watching the same videos used in study 1. The results of all four studies showed significant main effect and linear trend of time estimation. THE longer the duration of the video, meaning the slower the slow-motion of the video, the longer the participants perceived the

video to be. This shows that participants are able to discriminate different video speeds. Further results of study 2, 3 and 4 show a significant main effect and linear trend of video speed on intention attribution. We found a significant interaction of bystanders and video speed, showing that at slowest speed (2.0 seconds) bystanders reacting leads to higher intention attribution. Crowd noise did not influence perceived intent. Contrary to our hypothesis in study 4, physical load did not reduce the linear trend of video speed and intention attribution, as results replicate the findings of study 2 and 3. The longer the harmful action lasted, the more intention was attributed to the persons acting. Thus, looking at time and intention attribution, our results are in line with previous findings, and can partly contribute to the understanding on the underlying processes of previous fundamental research study results that suggest, that time perception is related to subjective judgement about causality and intentionality (Heider, 1958; Michotte, 1963). Our results also support recent findings (Caruso et al., 2016; Spitz et al., 2018; Schütz et al., 2021), showing that humans judge actions depicted at slower speed more harshly, because they attribute more intention to it.

Results of the quadratic trend also reveal that intention attribution did not increase at the slowest video speed, respectively the longest duration of an action. Results even show a decline of intention attribution when the action lasted 2.0 seconds. Intention attribution is perceived the highest at 1.5 seconds. This might be due to the fact, that the reduction of video speed (e.g., the use of slow motion) does not only change the duration of an action, but also the dynamic of a situation. At the slowest speed that we used in all four studies, this change of the dynamic of the situation might have been most pronounced. Studies looking at attribution show that attribution bias are usually multidimensional which means that they result from different processes (Garms-Homolová, 2021). Thus, not only duration is used as a relevant cue for intention attribution and can lead to possible biases, but also other relevant variables

such as motion, sequence complexity (Eagleman, 2008; Brown, 1931) or the visual perception of velocity or acceleration of an object (Brown, 1931; Michotte, 1963; Scholl & Tremoulet, 2000). Slowing down a situation does not only affect the duration of an action, but also leads to changes in velocity and acceleration. Thus, not only biases in time perception but also biases concerning the mentioned variables might cause an overestimation of causality or intentionality.

Another explanation could be provided by the Elaboration-Likelihood Model (Petty & Cacioppo, 1986). Due to the extended duration of the videos, participants have more time to elaborate a scene while watching and to consequently form a judgment afterwards. This longer time (period) may allow them to better process the context in the specific videos and might lead to a correction of the judgement. Strong additional context information might distract and require attention, leaving no cognitive capacity for correction processes. As some contextual information seem to have greater impact on elaboration processes, such as bystanders reacting to a scene, this may explain why the linear trend increases in this case. The results suggest that intention attribution is influenced by the respective context. When strong contextual cues (reacting bystanders) are embedded in a scene, the linear trend increases. Whereas weaker contextual information, needing less cognitive resources, might lead – due to elaboration processes – to a correction process, resulting in a decrease in attention attribution as we observed. This correction process can be seen as a form of debiasing. The results suggest that participants use different judgment processes after a certain video duration. With respect to judgment processes, future studies should have a closer look at time as an influencing factor to understand which judgment process fits which action duration.

Further intention cannot be proved, as it is not measurable using objective data. The cognitive process cannot be seen objectively. Thus, referees have to anticipate intentionality

of players' actions using different cues. Video speed only slows down the action that can be seen physically. The cognitive processes of the persons' action, and as such his intention, is not visible. The observer thus also has to slow down the cognitive processes that are not as obvious as his physical actions. This might even increase the effect of the overestimation of dispositional attribution and an underestimation of situational attribution. Kelley (1973) found that humans tend to use different explanations for causality in situations of uncertainty.

Related to referee decisions, the so-called covariation model explains that whenever the acting player shows a consistency in his behavior, in this situation aggressive behavior in different situations, it is attributed to the person rather than the situation. A referee might think that a certain player is playing aggressively because the aggressiveness is in his personality and does not arise from the situation. Especially when a referee reprimands this specific player a second or third time, as referees are influenced by previous decisions, his decision might be biased (Plessner & Betsch, 2001). Intention attribution does not directly correspond to the sanctions (yellow card, red card) used by the referee as it is only a proxy referees tend to use. Studies show, that more experienced and higher-ranking referees show better anticipation skills and are able to better (Spitz et al., 2016).

When looking at the practical implications that can be drawn from our research, we suggest, that slow-motion replays might not be suitable for all situations, as intentionality might be overestimated, leading to harsher penalties (Spitz et al., 2018).

These findings suggest that it is important to not only put the finger on the weak spots and what is wrong, but also, to give empirical evidence for future directions practice. One such direction could be, that the results obtained in these studies are also used in the training of referees. Trainings should focus more on the visual perception, so that referees learn to distinguish relevant stimuli from irrelevant stimuli.

One possibility to reduce bias in intention attribution, is to inform referees about the slow-motion factor used in the presented videos (Sperl et al., 2021) and the tendency that intention is overestimated when videos are shown in slow motion (Caruso et al., 2016). This information does not eliminate possible biases, but reduces the overestimation of time (Sperl et al., 2021) and intent (Caruso et al., 2016). Further, immediate feedback during video training has been shown to increase decision accuracy by strengthening the link between decision criteria and explicit cue stimuli from the situation at hand (Schweizer et al., 2011).

Strength and limitations

The results presented in this paper were obtained following a rigorous experimental approach, where context information was systematically isolated, varied and gradually re-embedded under highly controlled conditions according to theoretically and practically relevant criteria, all within the same paradigm. Thus, results are based on the foundations of experimental social psychological research. The results reported in this paper were obtained using different stimulus material (different video contexts), different samples in each study and varying additional cues (bystanders, crowd noise). Further, in all four similar pattern of results were found. Thus, results seem to be robust and independent of stimulus material.

Results were obtained online and in situ, with psychology students, sport students and other participants. The sample was heterogenous, but participants were not referees or judges. Thus, our results and especially the conclusions drawn therefrom should only be taken with considerable care and must be seen as a starting point for future research which includes referees or judges into the sample.

These studies investigated a very applied question. The application of VAR in soccer is still being debated and adjustments are being made regularly. This paper provides the basis for concrete research to improve the practical application of VAR. As results show, slow

motion should not be used in order to assess disciplinary sanctions such as foul play or intent in handling the ball in soccer.

Conclusion

Not only in soccer, but also in other sports there is an ongoing discussion about how referees and judges can be supported in their decision-making using video footage. Different sports use different modes and rules for the use of video material. Often videos are displayed in slow motion. Previous studies have shown that slow motion can lead to biases in time estimation (Schütz et al., 2021; Sperl et al., 2021) resulting in an increase in attribution of intention (Caruso et al., 2016) and harsher penalties (Spitz et al., 2018).

Our results suggest that slow motion leads to an increase in intention attribution when no unsystematic or only theoretically relevant contextual cues are available. This increase seems to decrease again when a depicted action lasts too long, suggesting a change in elaboration processes. Our results therefore show that the use of slow motion-video footage is not always helpful to find more truth, as it systematically influences intention attribution. Thus, further research is needed in order to analyze this change in elaboration processes. Time, specifically duration, seem to influence elaboration processes. Future studies should contribute to a better understanding of the mechanisms behind this phenomenon – analyze at what time exactly elaboration processes are changed and what other contextual information influence this process.

References

- Balmer, N. J., Nevill, A. M., Lane, A. M., & Ward, P. (2007). Influence of crowd noise on soccer refereeing consistency in soccer. *Journal of Sport Behavior*, 30(2), 130-145.
- Betsch, T., Glauer, M., Renkewitz, F., Winkler, I., & Sedlmeier, P. (2010). Encoding, storage and judgment of frequency and duration. *Judgment and Decision Making*, 5(5), 347-364. <http://journal.sjdm.org/10/91221b/jdm91221b.pdf>
- Bless, H., Igou, E. R., Schwarz, N., & Wänke, M. (2000). Reducing context effects by adding context information: The direction and size of context effects in political judgment. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 26(9), 1036-1045. <https://doi.org/10.1177%2F01461672002611002>
- Brown, J. F. (1931). The visual perception of velocity. *Psychologische Forschung* 14, 199–232. <https://doi.org/10.1007/BF00403873>
- Caruso, E. M., Burns, Z. C., & Converse, B. A. (2016). Slow motion increases perceived intent. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(33), 9250–9255. <https://doi.org/10.1073/pnas.1603865113>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87-101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- Darley, J. M., & Latané, B. (1968). Bystander intervention in emergencies: Diffusion of responsibility. *Journal of Personality and Social Psychology*, 8(4), 377–383. <https://doi.org/10.1037/h0025589>
- Deutscher Fußball Bund. (2017). Grundsätzliche Informationen zum Video-Assistenten. DFB. <https://www.dfb.de/sportl-strukturen/schiedsrichter/video-assistent/>

- Deutscher Fußball Bund. (2019). Saisonbilanz: Video-Assistent verhindert 82 Fehlentscheidungen. DFB. <https://www.dfb.de/news/detail/saisonbilanz-video-assistent-verhindert-82-fehlentscheidungen-203872/>
- Di Corrado, D., Pellarin, E., & Agostini, T. A. (2011). The phenomenon of social influence on the football pitch: Social pressure from the crowd on referees' decisions. *Review of Psychology, 18*(1), 33-36.
- Di Salvo, V., Carmont, M. R., & Maffulli, N. (2012). Football officials' activities during matches: A comparison of activity of referees and linesmen in European, Premiership and Championship matches. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal, 1*(3), 106-111.
- Dohmen, T., & Sauermann, J. (2016). Referee bias. *Journal of Economic Surveys, 30*(4), 679-695. <https://doi.org/10.1111/joes.12106>
- Drust, B., Reilly, T., & Cable, N. T. (2000). Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *Journal of Sports Sciences, 18*(11), 885-892. <https://doi.org/10.1080/026404100750017814>
- Eagleman, D. M. (2008). Human time perception and its illusions. *Current Opinion in Neurobiology, 18*(2), 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.06.002>
- Fischer, P., Krueger, J. I., Greitemeyer, T., Vogrincic, C., Kastenmüller, A., Frey, D., ... & Kainbacher, M. (2011). The bystander-effect: A meta-analytic review on bystander intervention in dangerous and non-dangerous emergencies. *Psychological Bulletin, 137*(4), 517. <https://doi.org/10.1037/a0023304>
- Garms-Homolová, V. (2021). Attribution theories and search for causes of social events. In *Sozialpsychologie der Informationsverarbeitung über das Selbst und die Mitmenschen* (pp. 33-45). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62922-2_3

- Heider, F. (1958). Perceiving the other person. In F. Heider (Ed.), *The psychology of interpersonal relations* (1st ed., pp. 20–58). John Wiley & Sons
Inc. <https://doi.org/10.1037/10628-002>
- Hintzman, D. L. (1970). Effects of repetition and exposure duration on memory. *Journal of Experimental Psychology*, 83(3, Pt.1), 435–444. <https://doi.org/10.1037/h0028865>
- Hintzman, D. L. (2004). Judgment of frequency versus recognition confidence: Repetition and recursive reminding. *Memory & Cognition*, 32(2), 336-350.
<https://doi.org/10.3758/BF03196863>
- Kelley, H. H. (1973). Process of causal attribution. *American Psychologist*, 28(2), 107–128.
<https://doi.org/10.1037/h0034225>
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12-24.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.091>
- Michotte, A. (1963). *The perception of causality*. Basic Books.
- Nevill, A. M., & Holder, R. L. (1999). Home advantage in sport. *Sports Medicine*, 28(4), 221-236. <https://doi.org/10.2165/00007256-199928040-00001>
- Nevill, A. M., Balmer, N. J., & Williams, A. M. (2002). The influence of crowd noise and experience upon refereeing decisions in football. *Psychology of Sport and Exercise*, 3(4), 261-272. [https://doi.org/10.1016/S1469-0292\(01\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S1469-0292(01)00033-4)
- Nevill, A., Balmer, N., & Williams, M. (1999). Crowd influence on decisions in association football. *The Lancet*, 353(9162), 1416. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(99\)01299-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)01299-4)
- Orne, M. T. (1962). On the social psychology of the psychological experiment: With particular reference to demand characteristics and their implications. *American Psychologist*, 17(11), 776–783. <https://doi.org/10.1037/h0043424>

- Petty, R. E., & Cacioppo, J. T. (1986). The elaboration likelihood model of persuasion. In *Communication and Persuasion* (pp. 1-24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4964-1_1
- Plessner, H., & Betsch, T. (2001). Sequential effects in important referee decisions: The case of penalties in soccer. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 23(3), 254-259. <https://doi.org/10.1123/jsep.23.3.254>
- Schütz, L.-M., Schweizer, G., & Plessner, H. (2021). The impact of video speed on the estimation of time duration in sport. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 43, 419-429. <https://doi.org/10.1123/jsep.2020-0248>
- Schütz, L.-M., Betsch, T., Plessner, H., & Schweizer, G. (2022). The impact of physical load on duration estimation (under review).
- Scholl, B. J., & Tremoulet, P. D. (2000). Perceptual causality and animacy. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(8), 299-309. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01506-0](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01506-0)
- Sors, F., Tomé Lourido, D., Parisi, V., Santoro, I., Galmonte, A., Agostini, T., & Murgia, M. (2019). Pressing crowd noise impairs the ability of anxious basketball referees to discriminate fouls. *Frontiers in Psychology*, 10, 2380. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02380>
- Sperl, L., Hüttner, N. & Schröger, A. (2021). Why do actions in slow motion videos appear to last longer? On the effect of misconceiving video speed. *Perception*, 50(1), 69-79. <https://doi.org/10.1177%2F0301006620982212>
- Spitz, J., Moors, P., Wagemans, J., & Helsen, W. F. (2018). The impact of video speed on the decision-making process of sports officials. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0105-8>
- Spitz, J., Put, K., Wagemans, J., Williams, A. M., & Helsen, W. F. (2016). Visual search behaviors of association football referees during assessment of foul play

situations. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 1(1), 1-11.

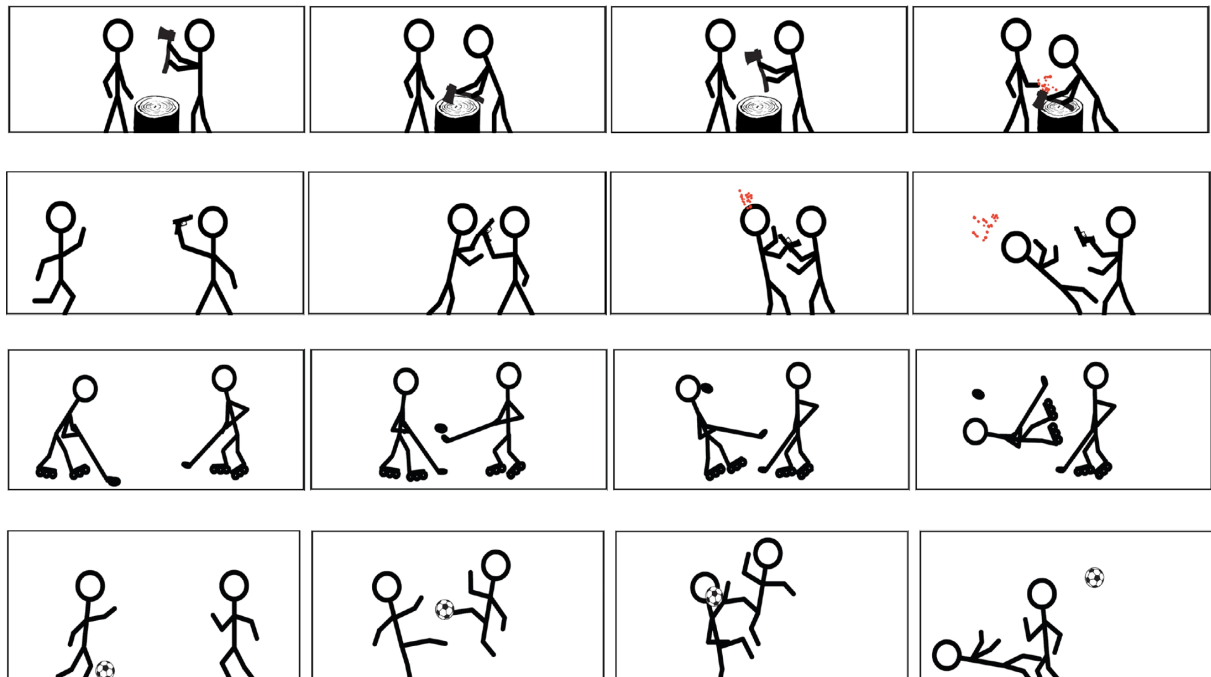
<https://doi.org/10.1186/s41235-016-0013-8>

Unkelbach, C., & Memmert, D. (2010). Crowd noise as a cue in referee decisions contributes to the home advantage. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 32(4), 483-498.

<https://doi.org/10.1123/jsep.32.4.483>

Figure 1

Video scenes (Stick figures).



Note. These scenes were used in study 1, 3 and 4. Videos were shown twice to first judge the intention of the person acting, and later judge the duration of the depicted action.

Figure 2

Example video scene including bystander reaction.



Note. These videos were used in study 2 only.

Figure 3

Intention attribution in relation to video speed (Study 1).

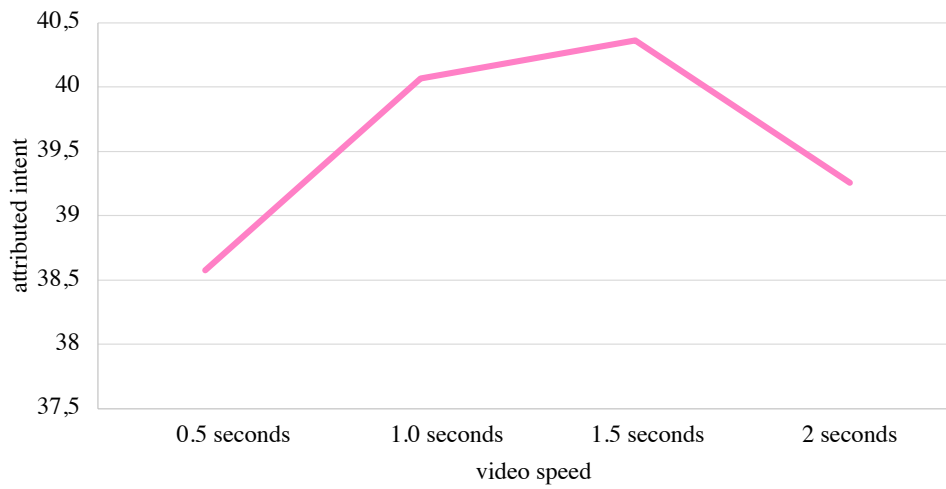


Figure 4

Intention attribution in relation to video speed and bystander reaction (Study 2).

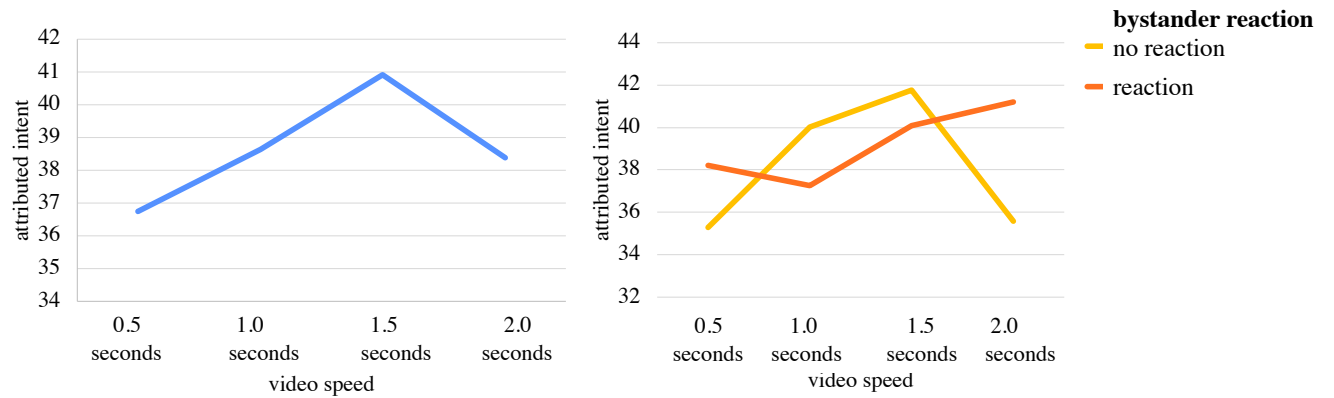


Figure 5

Intention attribution in relation to video speed and valence of crowd noise (Study 3).

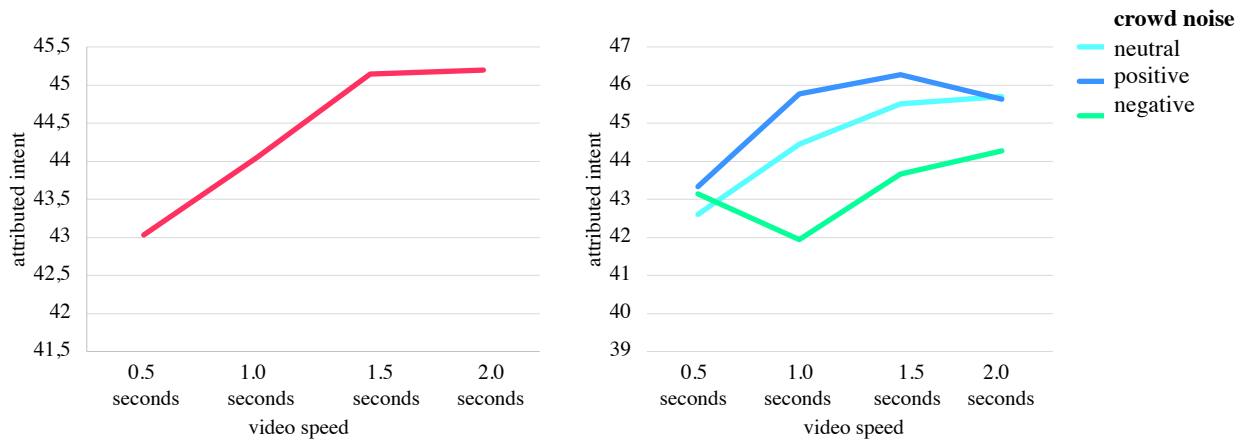
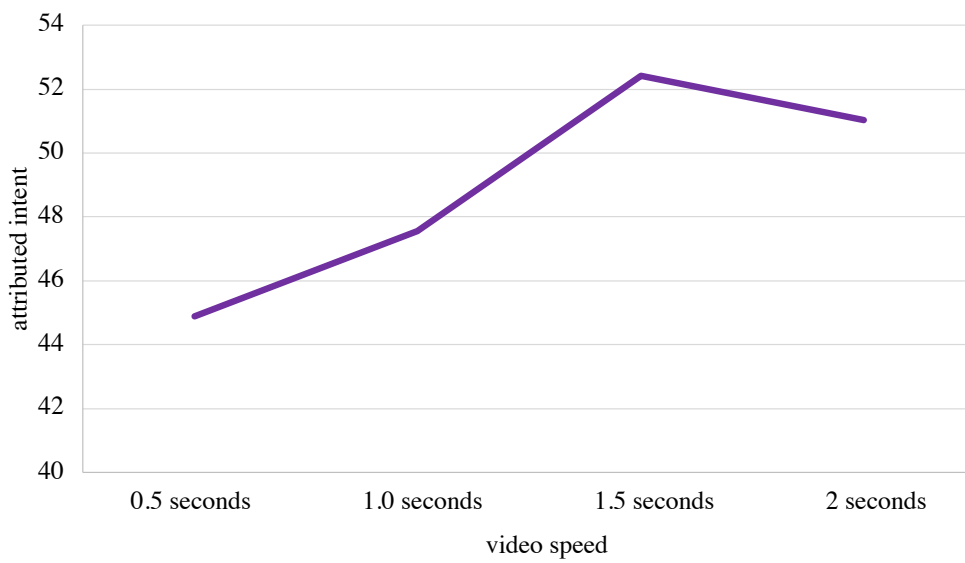


Figure 6

Intention attribution in relation to video speed under physical load (Study 4).



Erklärung gemäß § 8 Abs. (1) c) und d) der Promotionsordnung der Fakultät



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

FAKULTÄT FÜR VERHALTENS- UND EMPIRISCHE KULTURWISSENSCHAFTEN

Promotionsausschuss der Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg / Doctoral Committee of the Faculty of Behavioural and Cultural Studies of Heidelberg University

Erklärung gemäß § 8 (1) c) der Promotionsordnung der Universität Heidelberg für die Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften / Declaration in accordance to § 8 (1) c) of the doctoral degree regulation of Heidelberg University, Faculty of Behavioural and Cultural Studies

Ich erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation selbstständig angefertigt, nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Zitate gekennzeichnet habe. / I declare that I have made the submitted dissertation independently, using only the specified tools and have correctly marked all quotations.

Erklärung gemäß § 8 (1) d) der Promotionsordnung der Universität Heidelberg für die Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften / Declaration in accordance to § 8 (1) d) of the doctoral degree regulation of Heidelberg University, Faculty of Behavioural and Cultural Studies

Ich erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation in dieser oder einer anderen Form nicht anderweitig als Prüfungsarbeit verwendet oder einer anderen Fakultät als Dissertation vorgelegt habe. / I declare that I did not use the submitted dissertation in this or any other form as an examination paper until now and that I did not submit it in another faculty.

| | |
|---|-------------------|
| Vorname Nachname / First name Family name | Lisa-Marie Schütz |
| Datum / Date | 20.09.2022 |
| Unterschrift / Signature | |

Dem Dekanat der Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften liegt eine unterschrieben Version dieser Erklärung vom 20.09.2022 vor.