

Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren im Nachwuchsleistungsfußball

Evaluation generischer und fußball-spezifischer Testverfahren unter Berücksichtigung
neuer Technologien im Rahmen der Talentdiagnostik

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrads
der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard Karls Universität Tübingen

vorgelegt von
Martin Leo Reinhard

Tübingen

2025

1. Betreuer:

Prof. Dr. Oliver Höner

2. Betreuer:

Prof. Dr. Daniel Memmert

Tag der mündlichen Prüfung:

17.11.2025

Dekan:

Dr. Taiga Brahm und Prof. Dr. Dominik Papies

1. Gutachter:

Prof. Dr. Oliver Höner

2. Gutachter:

Prof. Dr. Daniel Memmert

Danksagung

„Ich Zwerg stehe auf den Schultern von Giganten.“

(In Anlehnung an Bernhard von Chartres)

Ohne die Unterstützung zahlreicher wertvoller Wegbegleiter wäre diese Dissertation – parallel zur Tätigkeit als angewandter Sportpsychologe in einem Nachwuchsleistungszentrum – nicht zu bewältigen gewesen. Mein aufrichtiger Dank gilt all jenen ‚Giganten‘, auf deren Schultern ich sinnbildlich stehen durfte. Sie haben mir Perspektiven eröffnet, die mir allein verborgen geblieben wären. Einige von ihnen möchte ich namentlich erwähnen.

Mein besonderer Dank gilt *Prof. Dr. Oliver Höner*, der mir 2020 die Möglichkeit eröffnete, die Promotion an seinem Arbeitsbereich zu beginnen. Seither hat er mich in vielfältiger Weise gefordert und gefördert und meine wissenschaftliche wie auch angewandte Arbeit durch seine konsequente Talententwicklung im Arbeitsbereich bereichert.

Ich danke *Prof. Dr. Daniel Memmert* ausdrücklich für seine Bereitschaft, die Zweitbetreuung und -begutachtung dieser Arbeit zu übernehmen.

Mein außerordentlicher Dank gilt allen *Kooperationspartnern*, den Akteuren der beteiligten Sportorganisationen und Unternehmen sowie insbesondere den Spielern, Trainern und Eltern, die diese Datenerhebungen überhaupt erst möglich gemacht haben.

Mein ausdrücklicher Dank gilt auch den *Kolleginnen und Kollegen* des Arbeitsbereichs Sportpsychologie und Methodenlehre, auf deren kollegiale Unterstützung und hohen Leistungsstandard ich mich stets verlassen konnte. Mein besonderer Dank gilt *Svenja* und *Fynn*, auf deren kontinuierliche, freundschaftliche Begleitung ich mich während der (gemeinsamen) Promotionszeit verlassen konnte.

Mein tiefer Dank gebührt meinen *Eltern* für den notwendigen Freiraum, die früh geweckte Freude am Lernen und ihre beständige Unterstützung in guten wie in herausfordernden Zeiten.

Ein geschwisterlicher Dank gilt *Niels*, *Stephan* und *Annika* für die gegenseitige (kompetitive) Inspiration, den jeweils eigenen (Marathon-)Weg zu gehen.

Danke, *Ulrike*, Lebenspartnerin, beste Freundin, akademische Sparringspartnerin, Startnummernsammlerin und Sportpsychologin in spe. Du bedeutest mir mehr, als Worte je ausdrücken könnten.

Danke an alle, die mein Interesse an der Sportpsychologie entfacht, gestärkt und immer wieder herausgefordert haben.

Zusammenfassung

Als sportpsychologische Leistungsfaktoren gelten neben persönlichkeitsbezogenen und psychomotorischen Merkmalen sowohl generische kognitive Faktoren, etwa exekutive Funktionen, als auch sport-spezifische kognitive Faktoren, wie die Entscheidungskompetenz. Technologische Fortschritte der letzten Jahrzehnte haben die Möglichkeiten zur Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren deutlich erweitert. Kognitive Diagnostiken können neben computerbasierten Verfahren auch in innovativen Systemen der virtuellen und erweiterten Realität implementiert werden. Im Nachwuchsleistungsfußball werden solche neuartigen (kommerziellen) kognitiven Testverfahren zunehmend im Rahmen der Talentdiagnostik eingesetzt, um aus einer großen Anzahl an Nachwuchsspielern diejenigen auszuwählen und gezielt zu fördern, denen das Potential zugeschrieben wird, zukünftig im Leistungsfußball erfolgreich sein zu können.

Eine Vielzahl der durch technologische Fortschritte entwickelten und in der Praxis eingesetzten (kommerziellen) kognitiven Diagnostiken sind bislang jedoch nicht unabhängig evaluiert. Aufgrund der unzureichenden Informationen über psychometrische Eigenschaften wird gefordert, die Reliabilität sowie diagnostische und prognostische Validität dieser (kommerziellen) kognitiven Testverfahren im Sportkontext zu prüfen. Zudem ist die Evidenzlage zur diagnostischen Relevanz verschiedener kognitiver Leistungsfaktoren im Sport inkonsistent. Zwar gibt es vermehrt empirische Hinweise aus Überblicksarbeiten dafür, dass sport-spezifische kognitive Faktoren eine größere diagnostische Relevanz aufweisen als generische. Allerdings ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse durch eine Heterogenität der Verfahren und Stichproben eingeschränkt. Entsprechend fehlen Studien, die innerhalb einer Stichprobe die diagnostische Relevanz und den Zusammenhang generischer und sport-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren untersuchen.

Das vorliegende Dissertationsvorhaben setzt an diesen Forschungslücken an und basiert im Rahmen eines technologischen Forschungsprogramms erkenntnisorientierter Anwendungsfor-schung auf drei Schwerpunkten. Erstens wird die im anwendungsbezogenen Forschungsfeld der Sportpsychologie für wichtig erachtete Zusammenarbeit zwischen forschender und nicht-forschender Berufspraxis thematisiert (*Beitrag 1*). Die empirischen Arbeiten (*Beitrag 2 – Beitrag 5*) sind aus Projekten mit unterschiedlich akzentuierter Zusammenarbeit dieser Akteure entstanden. Zweitens werden die psychometrischen Eigenschaften der Reliabilität sowie diagnostischer und prognostischer Validität von neuartigen (kommerziellen) und in der Praxis eingesetzten generischen (Determinations-tests, NeurOlympics) und fußball-spezifischen (360°-Videoentscheidungstest, Verfahren im SoccerBot360) kognitiven Diagnostiken geprüft

(*Beitrag 2 – 5*). Drittens wird die diagnostische Relevanz sowie der Zusammenhang generischer und fußball-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren im Rahmen der Talentdiagnostik im Nachwuchsleistungsfußball untersucht (*Beitrag 2, Beitrag 4 und Beitrag 5*).

Als Positionspapier widmet sich *Beitrag 1* der Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis im Bereich der Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren im Nachwuchsleistungsfußball. Ausgangspunkt ist eine Kooperation der forschenden Akteure von Universitäten mit nicht-forschenden Akteuren eines Fußballvereins und eines Unternehmens, aus der *Beitrag 3* und *Beitrag 4* hervorgegangen sind. *Beitrag 1* beleuchtet zentrale Aspekte dieser Zusammenarbeit (z. B. Notwendigkeit von Kompromissen) und formuliert Ideen auf institutioneller (z. B. Verankerung von Sportpraktikern in universitären Institutionen) und individueller (z. B. Agieren als *scientist-practitioner* an der Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis) Ebene für eine erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen den Akteuren der Universitäten, Sportorganisationen und Unternehmen.

Der Forderung nach einer unabhängigen Prüfung der psychometrischen Eigenschaften (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken wird in *Beitrag 2* am Beispiel des generischen Testverfahrens NeurOlympics nachgekommen. Innerhalb einer auf das Leistungsniveau bezogene homogenen Stichprobe von Nachwuchsleistungsfußballern der Altersklassen U11 – U15 weisen die vier Subtests sowie der Gesamtwert eine geringe Retest-Reliabilität, keinen Zusammenhang mit der Leistung im Kleinfeldspiel und keine Hinweise auf prognostische Validität auf. In einem Vergleich zweier Leistungsniveaus (Elite vs. Sub-Elite) derselben Altersstufen deuten die signifikanten Leistungsunterschiede innerhalb der NeurOlympics-Variablen zugunsten der Spieler aus dem höherklassigen Nachwuchsbereich auf diagnostische Validität hin.

Der Diskussion um die Relevanz der generischen und sport-spezifischen Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren folgend, dokumentiert *Beitrag 3* die Entwicklung und Validierung zweier neuartiger Testverfahren. Angelehnt an computerbasierte Versionen wurden zwei Tests zur Erfassung der Inhibition und der kognitiven Flexibilität in das innovative System SoccerBot360 integriert. Während nur für den Inhibitionstest die Stimuli fußball-spezifisch angepasst wurden, wurde für beide Verfahren eine fußball-spezifische motorische Antwort in Form eines Passes im SoccerBot360 eingeführt. Sowohl die computerbasierten generischen Aufgaben als auch die SoccerBot360-Aufgaben wurden von Nachwuchsleistungsfußballern (Elite) der Altersklassen U15 – U19 absolviert. Die beiden neu entwickelten SoccerBot-360-Testverfahren weisen gute Split-Half-Reliabilität und interne Konsistenz auf. Zudem zeigt die entwickelte SoccerBot360-Aufgabe zur Erfassung kognitiver Flexibilität konvergente Validität zur äquivalenten,

computerbasierten Aufgabe. Für die Inhibitionsaufgabe kann in dieser Stichprobe keine konvergente Validität festgestellt werden. Eine, insbesondere in Hinblick auf die Größe der Stimulusdarstellung, überarbeitete Version der Inhibitionsaufgabe zeigt in einer Stichprobe von erwachsenen Amateurfußballspielern konvergente Validität für Antwortzeitvariablen, aber nicht für Genauigkeitsvariablen. Die Befunde deuten darauf hin, dass die neuen SoccerBot360-Testverfahren mit fußball-spezifischer Antwort grundsätzlich mit den computerbasierten generischen Verfahren zusammenzuhängen. Die mittleren sowie teils unzureichenden Werte für einzelne Variablen für die konvergente Validität weisen darauf hin, dass Veränderungen der (Größe der) Stimuli sowie die fußball-spezifische Antwort der SoccerBot360-Aufgaben dazu führen, dass im Vergleich zum computerbasierten Verfahren nicht die identischen kognitiven Leistungsfaktoren erfasst werden.

In *Beitrag 4* wird die diagnostische und prognostische Validität der im SoccerBot360 implementierten Testverfahren zur Erfassung der Inhibition und kognitiven Flexibilität untersucht. Zudem werden altersbedingte Unterschiede sowie Veränderungen mit einer zweiten Messung zwei Jahre nach der ersten Messung im Test der kognitiven Flexibilität geprüft. Für Nachwuchsleistungsfußballer (Elite) der Altersklassen U15 – U19 zeigt sich kein Zusammenhang der Testergebnisse mit den gleichzeitig erfassten Potenzial-Einschätzungen durch ihre Trainer. Darüber hinaus können die Aufgaben zur Erfassung der Inhibition und kognitiven Flexibilität nicht das Leistungsniveau im Erwachsenenalter vorhersagen – weder im ersten Seniorenjahr (1 – 5 Jahre nach Datenerhebung) noch fünf Jahre nach Datenerhebung. Die altersbedingten Unterschiede in den Testleistungen der kognitiven Flexibilität scheinen denen der gleichaltrigen Allgemeinbevölkerung zu entsprechen. Die Nachwuchsleistungsfußballer zeigen verbesserte Reaktionszeiten zwischen den zwei Testzeitpunkten bis zum Alter von etwa 16 Jahren. Die Ergebnisse dieses Beitrags deuten darauf hin, dass die reliablen Aufgaben zur Erfassung der Inhibition und kognitiven Flexibilität weder diagnostische noch prognostische Validität aufweisen.

Der Debatte um die diagnostische Relevanz generischer und sport-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren Rechnung tragend, widmet sich *Beitrag 5* einer vergleichenden Evaluation generischer und fußball-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren. Im Querschnittsdesign absolvierten Nachwuchsfußballer der Altersklassen U11 bis U15 zweier Leistungsniveaus (Elite vs. Sub-Elite) zwei generische (Determinationstest, NeurOlympics) sowie ein fußball-spezifisches (360°-Videoentscheidungstest) kognitives Testverfahren. Unter Berücksichtigung des Einflusses des chronologischen Alters zeigen die Ergebnisse, dass die Leistungen im Determinationstest keine Differenzierung zwischen Leistungsniveaus ermöglichen, und auch nicht mit der

fußballspezifischen Entscheidungskompetenz zusammenhängen. Die Gesamtergebnisse des generischen Verfahrens NeurOlympics können zwischen den Leistungsniveaus differenzieren, allerdings in weniger starkem Maß als die Ergebnisse im fußballspezifischen 360°-Videoentscheidungstest. Die Gesamtleistung in NeurOlympics hängt mit der Entscheidungskompetenz zusammen, jedoch erklärt das chronologische Alter einen wesentlich größeren Varianzanteil der Leistung im 360°-Videoentscheidungstest. Die Ergebnisse dieses Beitrags legen nahe, dass fußball-spezifische kognitive Leistungsfaktoren generischen kognitiven Funktionen im Hinblick auf die diagnostische Validität überlegen sind und der Einfluss des Alters in Zusammenhangsanalysen kognitiver Leistungsfaktoren zu berücksichtigen ist.

Die vorliegende Dissertation liefert auf Basis der Zusammenarbeit zwischen forschender und nicht-forschender Berufspraxis wesentliche Erkenntnisse zu den psychometrischen Eigenschaften (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken im sportpsychologischen Anwendungskontext sowie operatives Hintergrundwissen zur diagnostischen Relevanz und zum Zusammenhang generischer und fußball-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren. Die zum Teil eingeschränkte Reliabilität, die begrenzte diagnostische Validität in homogenen Stichproben sowie die fehlende prognostische Validität unterstreichen – unter Berücksichtigung der Limitationen vorliegender Beiträge – die Notwendigkeit kritischer Prüfung vor der praktischen Nutzung solcher Diagnostiken durch Sportorganisationen. Im Vergleich scheinen sport-spezifische Verfahren im Rahmen der Talentdiagnostik im Nachwuchsleistungsfußball geeigneter zu sein als generische. Aufgrund des nomothetischen Forschungsansatzes, der interindividuellen Streuung auch innerhalb eines Leistungsniveaus sowie messmethodischer Herausforderungen sollten kognitive Testverfahren jedoch nicht als Basis für individuelle Selektionsentscheidungen genutzt werden. Generische und sport-spezifische kognitive Leistungsfaktoren scheinen im Nachwuchsleistungsfußball zusammenzuhängen, allerdings erklärt das chronologische Alter einen Großteil dieses Zusammenhanges. Aufgrund der Bedeutung des chronologischen Alters, insbesondere bis zum Altersbereich der U16, sollte in zukünftigen Studien für den Einfluss des chronologischen Alters statistisch kontrolliert werden. Die diskutierten Chancen und Risiken der Zusammenarbeit von Forschung und Praxis bieten Anhaltspunkte für zukünftige Forschungsarbeiten im Sinne einer erkenntnisorientierten Anwendungsforschung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Technologisches Forschungsprogramm: erkenntnisorientierte Anwendungsforschung im Rahmen der Talentdiagnostik.....	2
1.2	Ausgangspunkte der Arbeit.....	5
1.3	Aufbau der Dissertation.....	6
2	Theoretischer Hintergrund und empirischer Forschungsstand.....	9
2.1	Perspektiven auf kognitive Faktoren im Sport.....	9
2.1.1	Theoretische Zugänge.....	10
2.1.2	Methodische Zugänge der standardisierten Erfassung.....	13
2.2	Empirische Relevanz ausgewählter kognitiver Leistungsfaktoren im Nachwuchsleistungsfußball.....	27
2.2.1	Exekutive Funktionen.....	27
2.2.2	Antizipation und Aufmerksamkeit.....	30
2.2.3	Entscheidungskompetenz.....	31
2.3	Forschungsdesiderate.....	32
2.3.1	Zusammenarbeit zwischen forschender und nicht-forschender Berufspraxis.....	32
2.3.2	Psychometrische Eigenschaften verwendeter (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken.....	33
2.3.3	Diagnostische Relevanz und Zusammenhang generischer und sport-spezifischer kognitive Leistungsfaktoren.....	34
2.4	Ziele der empirischen Arbeiten.....	34
3	Beiträge.....	38
3.1	Beitrag 1: Kognitionspsychologie im Fußball. Ein Anstoß für die Integration von Forschung und Praxis.....	38
3.2	Beitrag 2: Cognitive assessment in elite youth football. Reliability and validity of a generic cognitive function diagnostic.....	52
3.3	Beitrag 3: An assist for cognitive diagnostics in soccer: two valid tasks measuring inhibition and cognitive flexibility in a soccer-specific setting with a soccer-specific motor response.....	69
3.4	Beitrag 4: The role of executive functions in youth soccer: coaches' evaluation, development and predictive value.....	94
3.5	Beitrag 5: The role of generic cognitive skills: an empirical investigation into the association between generic and sport-specific cognitive skills and playing level in youth football.....	109
4.	Zusammenfassende Diskussion und Ausblick.....	123
4.1	Die psychometrischen Eigenschaften verwendeter Diagnostiken: Reliabilität, Validität und Objektivität sowie relevante Nebengütekriterien.....	123

4.2 Die Wahl der Kriteriumsvariablen und potenzieller Drittvariablen	134
4.3 Die Sport-Spezifität in der Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren: Forschungsmethodische und theoretisch-konzeptionelle Zugänge	141
4.4 Die Zusammenarbeit zwischen Akteuren der Universitäten, Sportorganisationen und Unternehmen	150
5 Fazit.....	159
Literaturverzeichnis.....	161
Anhang	196

Tabellenverzeichnis

Tab 1. Mögliche Verfahren im Expert Performance Approach mit unterschiedlichem Grad der Standardisierung und Sport-Spezifität der Stimuli sowie der Antwort.	17
Tab. 2. Ausgewählte Verfahren zur Messung kognitiver Faktoren aus dem Verzeichnis Testverfahren des Leibniz-Instituts für Psychologie (2025) mit Studienbeispiel im Fußball. .	20
Tab. 3. Exemplarischer Überblick über Merkmale und verwendete Technologien ausgewählter kognitiver Diagnostiken im Fußball.....	25
Tab. 4. Die adressierten Forschungsziele und -fragen sowie die zugehörigen Beiträge	35
Tab. 5. Descriptive statistics for the general, computerized and the soccer-specific versions of the tasks measuring inhibition (flanker; n = 72) and cognitive flexibility (number-letter; n = 66)	80
Tab. 6. Correlations between inhibition (measured with congruent and incongruent trials in the flanker task) and cognitive flexibility (measured with switch and no-switch trials in the number-letter task) in the general, computerized and the soccer-specific tasks.....	83
Tab. 7. Overview of sample, age, and test performances (Mean with Standard Deviation in brackets) for each subgroup and for the total sample.....	115
Tab. 8. Hierarchical regression analysis results for the association between age and generic cognition with 360°-video decision-making performance whilst controlling for age.	116
Tab. 9. Logistic regression analysis results for the influence of standardized residuals of cognitive test performance on playing level (elite vs. sub-elite).....	117
Tab. 10. Klassifikation der in der Dissertation eingesetzten Diagnostikverfahren auf Basis eines Entscheidungsbaums als Orientierungshilfe für die nicht-forschende Berufspraxis (übersetzt und modifiziert von Weakley et al., 2024, S. 176).	133
Tab. 11. Übersicht der gewählten Kriteriumsvariablen zur Prüfung der diagnostischen und prognostischen Validität.	135
Tab. 12. Mögliche experimentelle Manipulation der Stimuli und Antwort innerhalb einer kognitiven Aufgabe	145
Tab. 13. Übersicht der von Anshel (1987) und Ostrow (1996) dargestellten Verfahren mit Bezug zu kognitiven Funktionen.....	197
Tab. 14. Inter-Rater Reliability of assessed variables via GPET	204
Tab. 15. Frequency of assessed situations via GPET.	204
Tab. 16. Benjamin-Hochberg correction results for objective 1 (test-retest reliability).....	215
Tab. 17. Benjamin-Hochberg correction results for objective 1 (test-retest differences)	215
Tab. 18. Benjamini-Hochberg correction for objective 2 (subjective criterion: adherence tactical principle via GPET).....	216
Tab. 19. Benjamini-Hochberg correction for objective 2 (subjective criterion: decision-making on-ball via GPET)	216

Tab. 20. Benjamini-Hochberg correction for objective 2 (subjective criterion: decision-making off-ball via GPET).....	216
Tab. 21. Benjamini-Hochberg correction for objective 2 (subjective criterion: overall game performance via GPET)	216
Tab. 22. Benjamin-Hochberg correction results for objective 2 (objective criterion: performance level).....	216
Tab. 23. Benjamini-Hochberg correction for objective 3 (subjective criterion: coaches' rating at end of season).....	217
Tab. 24. Benjamini-Hochberg correction for objective 3 (criterion: performance level two years later, analyses: regressions).....	217
Tab. 25. Overall descriptives of assessed variables.....	218
Tab. 26. Descriptives for performance and age groups.....	219
Tab. 27. Test-Retest Reliability with 95% Confidence Interval for total score of each subtest and FI score.	221
Tab. 28. Results of group comparisons between test and retest results.....	221
Tab. 29. Partial correlation (controlling for age at test day).....	221
Tab. 30. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics results of t1	222
Tab. 31. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics results of t2	223
Tab. 32. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics (subjective criterion: coaches rating after one year).....	225
Tab. 33. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics (objective criterion: performance level after two years).....	226
Tab. 34. Results of regression analyses for NeurOlympics relationship to game performance via GPET using mean value method	227
Tab. 35. Results of regression analyses for NeurOlympics to game performance via GPET using best value method	228
Tab. 36. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics using mean value method (subjective criterion: coaches rating after one year)	229
Tab. 37. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics using best value method (subjective criterion: coaches rating after one year)	229
Tab. 38. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics using mean value method (subjective criterion: performance level after two years).....	230
Tab. 39. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics using best value method (subjective criterion: performance level after two years).....	230
Tab. 40. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics with alternative categorization of coaches rating (above average and average vs. below average) after one year	231

Tab. 41. Results of multinomial regression analyses for NeurOlympics subtests variables (t1) with original categorization of coaches rating (above average vs. average vs. below average) after one year.....	232
Tab. 42. Results of multinomial regression analyses for NeurOlympics subtests cognition score (t1) with original categorization of coaches rating (above average vs. average vs. below average) after one year	233
Tab. 43. Results of multinomial regression analyses for NeurOlympics subtests variables (t2) with original categorization of coaches rating (above average vs. average vs. below average) after one year	234
Tab. 44. Results of multinomial regression analyses for NeurOlympics subtests cognition score (t2) with original categorization of coaches rating (above average vs. average vs. below average) after one year	235
Tab. 45. Methodological Description of the Tasks.....	238
Tab. 46. Detailed Comparisons to Previous Cognitive Tasks (i.e., Flanker task, number-letter task).....	240
Tab. 47. Comparison of the applied stimuli dimensions for the soccer-specific flanker tasks	244
Tab. 48. Factor loadings of the principal component analysis.	247
Tab. 49. Descriptive Data on Computerized and Soccer-Specific Tasks for Inhibition and Cognitive Flexibility.....	248
Tab. 50. Multinomial Logistic Regression Results: Coaches' Evaluations of Players' Future Performance Levels.....	249
Tab. 51. Multinomial Logistic Regression Results: Attained League Levels in the first Senior Season.....	250
Tab. 52. Multinomial Logistic Regression Results: Attained League Levels in the Season 2024/2025 (t1+ 5).....	251
Tab. 53. Bivariate correlations and partial correlations for the relationship between test performance and playing level (controlling for age at test day).	262
Tab. 54. Correlation matrix showing the relationship between cognitive variables and age group (Spearman rho correlation), respectively, age at test day (Pearson correlation).....	262
Tab. 55. Overview of Akaike Information Criteria (AIC), AIC corrected for small samples sizes (AICc) and Bayesian Information Criterion (BIC) for the different models in logistic regression analyses using the standardized residuals of the respective cognitive variables as independent variables.	264
Tab. 56. Results of the LogLikelihood Ratio tests	264
Tab. 57. Correlations between weekly hours spend video games with cognitive variables... 269	
Tab. 58. Klassifikation der in der Dissertation eingesetzten Diagnostikverfahren anhand der Kriterien des TBS-DTK (Diagnostik- und Testkuratorium, 2024)	270

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1. Klassifizierung des Forschungsprogramms als erkenntnisorientierte Anwendungsforschung (selbst formulierter Terminus) (angelehnt an und übersetzt von Stokes, 1997, S. 88).	3
Abb. 2. Klassifizierung der Schwerpunkte sowie Einordnung relevanter Konzepte der Dissertation. Die Dissertation ist angelehnt an ein problemlösungsorientiertes, technologisches Forschungsprogramm, welches Erkenntnisse grundlagenwissenschaftlicher Forschungsprogramme nutzt und im wechselseitigen Austausch mit der nicht-forschenden Berufspraxis steht (Abbildung modifiziert nach Herrmann, 1994, S. 278; Höner, 2008, S. 6; Willimczik, 2003, S. 101).....	4
Abb. 3. Schematische Darstellung der möglichen Interaktion zwischen Aufmerksamkeitsprozessen (linke Seite) und automatischen Prozessen (rechte Seite). Die kognitiven Prozesse sind vom Expertise-Level des Athleten abhängig (übersetzt aus Nougier et al., 1991, S. 321).....	14
Abb. 4. Die Stufen des Expert Performance Approach (übersetzt und modifiziert nach Williams & Ericsson, 2005, S. 286).	15
Abb. 5. Fußballspezifische Testverfahren zur Erfassung des Ballgefühls (linke Seite) und des taktischen Verständnisses (rechte Seite) (Bilder aus Vanek & Cratty, 1970, S. 62, 69).....	22
Abb. 6. Klassifikationssystem von Methoden innerhalb des Spektrums der erweiterten Realität (extended reality, XR) (übersetzt und modifiziert nach Le Noury et al., 2022, S. 1475)	23
Abb. 7. Übersicht über die Einordnung der Beiträge hinsichtlich der erfassten kognitiven Leistungsfaktoren sowie der zugrundeliegenden Technologie in die Schwerpunkte der Dissertation.....	36
Fig. 8. Schematic overview of design and procedure.	56
Fig. 9. Flanker task for the computerized version (A), adapted for the SoccerBot360 (B) and after revision in SoccerBot100 (C). Images of SoccerBot reproduced with permission from Umbrella Software.	74
Fig. 10. Number-letter task in the computerized version (A) and adapted for the SoccerBot360 (B). Images of SoccerBot reproduced with permission from Umbrella Software.	76
Fig. 11. Overview of Data Collected Over Time and Corresponding Research Questions. EF data on computerized and soccer-specific inhibition and cognitive flexibility has been previously published (Musculus et al., 2022).	101
Fig. 12. Predicted reaction times in no-switch trials (ms) as a function of measurement time and age, interaction plot.	104
Abb. 13. Grafische Darstellung der Gruppenwerte und individuellen Ergebnisse in den diagnostisch validen Verfahren 360°-Videoentscheidungstest und dem Test 3 (Kognitive Kontrolle) in NeurOlympics.....	128

Abb. 14. Klassifizierung der verwendeten kognitiven Diagnostiken anhand der Stimulus- und Antwortkorrespondenz des Modified Perceptual Training Framework (Hadlow et al., 2018; übersetzt und modifiziert von Connolly et al., 2025, S. 8-10).	144
Fig. 15. Screenshots of NeurOlympics tests stimuli	202
Fig. 16. Overview of Rater Training	203
Fig. 17. Description of the used variables assessed via the GPET	203
Fig. 18. Scatterplot for subtest scores and cognition score of NeurOlympics.	220
Fig. 19. Results and graphical display of Odds Ratios for Logistic Regression Analyses (criterion: performance level (elite vs. sub-elite))	224
Fig. 20. SoccerBot360	242
Fig. 21. Scatterplots for General and Sport-Specific Flanker Task for Congruent and Incongruent Trials	243
Fig. 22. SoccerBot360	245
Fig. 23. Task Display for Measuring Inhibition (Left) and Cognitive Flexibility (Right) on the Computer and Adapted for the SoccerBot360	246
Fig. 24. Screenshot of the generic stimuli of NeurOlympics.	255
Fig. 25. Overview of visual and auditory stimuli and responses in the determination test...	256
Fig. 26. Schematic illustration of the set up for the determination test	256
Fig. 27. Schematic illustration of the video set-up for the 360°-videos presented	258
Fig. 28. Screenshot of 360°-video presented	258
Fig. 29. SPSS-Syntax for binary logistic regression analyses using 360°-video decision making performance as an example.	261
Fig. 30. Scatter plots displaying cognitive performance and age, grouped by playing level.	263
Fig. 31. Receiver Operator Characteristic (ROC) Curves for the standardized residuals of each cognitive variable.	265
Fig. 32. Receiver Operator Characteristic (ROC) Curves for the raw values of each cognitive variable.	265
Fig. 33. Boxplots showing the test performance for each test according to age group (U11, U12, U13, U14; U15) and playing level (club, academy).	266
Fig. 34. Boxplots showing test performance based on age group.	267
Fig. 35. Boxplots showing test performance based on playing level.	268
Abb. 36. Boxplots und Balkendiagramme für die Leistungen im Determinationstest (Reaktionszeit, Anzahl Richtige) pro Altersklasse.	271
Abb. 37. Boxplots und Balkendiagramme für die Leistungen in den Tests von NeurOlympics pro Altersklasse.	272

Abb. 38. Boxplots (Leistungsniveau, Altersklasse) mit individuellen Werten für die Variablen (Anzahl Richtige, Reaktionszeit) des Determinationstests.	273
Abb. 39. Boxplots (Leistungsniveau, Altersklasse) mit individuellen Werten für die Gesamtleistung in den Untertests (Arbeitsgedächtnis, Antizipation, Kognitive Kontrolle, Aufmerksamkeit) von NeurOlympics.	274
Abb. 40. Boxplot (Leistungsniveau, Altersklasse) mit individuellen Werten für die Gesamtleistung im 360°-Videoentscheidungstest.	275

1 Einleitung

Kognitive Leistungsfaktoren wie exekutive Funktionen, Entscheidungskompetenz und Antizipation haben in den letzten 25 Jahren in der Talentidentifikation und -entwicklung im Fußball an Bedeutung gewonnen (Casanova et al., 2009; Höner et al., 2020; Williams et al., 2020). Sie gelten als mögliche Talentmerkmale (Höner et al., 2020) und werden als potenzielle Prädiktoren zukünftiger Leistung (Williams et al., 2020) diskutiert. Aktuelle Forschungsarbeiten im Bereich der Talentdiagnostik nutzen kognitive Testverfahren, um mögliche Vorteile talentierter bzw. erfolgreicher Spieler¹ gegenüber weniger talentierten oder weniger erfolgreichen Spielern zu untersuchen (z. B. Höner, Dugandzic et al., 2023; Vestberg et al., 2020).

In der Praxis zeigt sich ebenfalls eine Nutzung (kommerzieller) kognitiver Diagnostikinstrumente in Fußballvereinen (z. B. FC Kopenhagen; Be Your Best, 2023) und -verbänden (z. B. U-Nationalmannschaften des Deutschen Fußballbundes (DFB); DFB-Akademie, o. D.-b). Dies wird auch durch mediale Berichterstattung begleitet. Das Fußballmagazin 11 Freunde betitelte im April 2023 einen Artikel zur Jugendarbeit von AZ Alkmaar mit „Blut, Schweiß und Brain“. Kurz zuvor gewann die U19 des niederländischen Vereins das Finale der Youth League mit 5-0 gegen Hajduk Split. Dieser Erfolg wird in der Berichterstattung auf einen „ungewöhnlichen Ansatz ... [zurückgeführt, da] bei AZ Alkmaar nur spielt, wer Köpfchen hat“ (Thiele, 2023). Als Diagnostikinstrument nutzt AZ Alkmaar das kognitive Testverfahren NeurOlympics (Brains First B.V), welches anhand von vier Tests versucht, die Arbeitsgedächtnisleistung, die Antizipationsleistung, die kognitive Kontrollleistung und Aufmerksamkeitsleistung zu erfassen. Aus den Einzeltestergebnissen wird mit dem sogenannten *Football Intelligence Score* ein Gesamtwert berechnet. In einem Sportschau-Artikel lässt sich Eric Castien, Gründer der Herstellerfirma BrainsFirst, mit folgender Aussage zitieren: „Die Klubs wussten, dass es bei Talenten um physische, mentale, taktische und technische Fähigkeiten geht. Allerdings gab es noch ein fünftes Element, manche Trainer sprachen dabei von Magie. Aber es ist keine Magie, es ist die kognitive Fähigkeit eines Spielers und die können wir messbar machen“ (Rausch, 2023). Obwohl die jeweiligen Unternehmen den evidenz-basierten Mehrwert ihrer Verfahren betonen, liegen nur selten Erkenntnisse über die psychometrischen Eigenschaften im Sportkontext vor. Dabei ist die Sicherstellung der angemessenen Reliabilität und Validität vor der Nutzung in der Praxis aufgrund potentieller Auswirkungen auf die Biografien individueller Spieler von größter Bedeutung, insbesondere wenn Testverfahren außerhalb des ursprünglichen Kontexts eingesetzt werden (Anshel & Brinthead, 2014; Beavan, 2019; Burke & Normand, 1987;

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird das generische Maskulinum verwendet. Sofern nicht anders angegeben, sind stets Personen aller Geschlechter gemeint.

Finkenzeller et al., 2021; Fogarty; 1995; Furley et al., 2023; Impellizzeri & Marcora, 2009; Kilger & Blomberg, 2020; Larkin et al., 2015; Musculus & Lobinger, 2018).

Mit dem *Cognitive Component Skills Approach* (Nougier et al., 1991) und dem *Expert Performance Approach* (Ericsson & Smith, 1991) haben sich zwei dominierende Forschungsansätze etabliert. Während ersterer von Leistungsunterschieden in generischen, sportunspezifischen kognitiven Testverfahren ausgeht und untersucht (Voss et al., 2010), betont letzterer die Relevanz sport-spezifischer² kognitiver Leistungsfaktoren, welche unter möglichst repräsentativen, standardisierten Bedingungen erfasst werden sollen (Williams & Ericsson, 2005). Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit der Evaluation generischer und sport-spezifischer kognitiver Testverfahren unter Berücksichtigung neuer Technologien im Rahmen der Talentdiagnostik im Nachwuchsleistungsfußball. Dabei wird im Sinne eines technologischen Forschungsprogramms erkenntnisorientierter Anwendungsforschung vorgegangen.

1.1 Technologisches Forschungsprogramm: erkenntnisorientierte Anwendungsforschung im Rahmen der Talentdiagnostik

Sportpsychologie gilt als eine Erfahrungs- und Querschnittswissenschaft im magischen Dreieck der Psychologie, der Sportwissenschaft und der Praxis (vgl. Gabler, 2003; Heckhausen, 1979). Wenngleich die Bezüge zur Psychologie, Sportwissenschaft und Sportpraxis unterschiedlich akzentuiert werden (Schlicht, 2009), herrscht Einigkeit, dass sportpsychologische Forschung sowohl aus *grundlagenwissenschaftlicher* als auch aus *anwendungswissenschaftlicher* Perspektive sportliches Handeln beschreiben, erklären und vorhersagen soll (Nitsch et al., 2000).

Die dichotome Unterscheidung in Grundlagen- und Anwendungsforschung geht auf Bush (1945) zurück, der Grundlagenforschung als erkenntnisgetrieben ohne unmittelbaren Praxisbezug definiert, während Anwendungsforschung konkrete, praktische Probleme adressiere. Diese binäre Unterscheidung differenziert Stokes (1997), indem er Forschungsarbeiten entlang der Dimensionen Erkenntnisstreben und Nutzenstreben in drei Kategorien unterteilt: (1) reine Grundlagenforschung (hohes Erkenntnisstreben, geringes Nutzenstreben), (2) reine Anwendungsforschung (niedriges Erkenntnisstreben, hohes Nutzenstreben) und (3) nutzenorientierte Grundlagenforschung (hohes Erkenntnisstreben, hohes Nutzenstreben). Die vorliegende Dissertation positioniert sich – angelehnt an der Klassifikation Stokes – als *erkenntnisorientierte*

² sport-spezifisch meint Verfahren mit repräsentativen Stimuli (z. B. Videos) und/oder repräsentativen Antworten (z. B. ein Pass). Manche Autoren verwenden im Kontext der Kognitionsforschung anstelle von ‚sport-spezifisch‘ die präzisere Bezeichnung ‚sportart-spezifisch‘ (z. B. Hänsel et al., 2022). In Anlehnung an die englischsprachigen Formulierungen ‚sport-specific‘ und ‚domain-general‘ (vgl. Kalén et al., 2021) werden in der Dissertation die Formulierungen ‚sport-spezifisch‘ und ‚generisch‘ verwendet.

Anwendungsforschung. Dieser selbst gewählte Terminus verdeutlicht, dass das Dissertationsprojekt auf dem Kontinuum zwischen reiner Grundlagen- und reiner Anwendungsforschung näher am letzteren zu verorten ist. Es baut auf bestehenden Erkenntnissen und existierenden Technologien³ auf, um ein erweitertes Verständnis des Gegenstandsbereichs sowie Wissen über die Verbesserung technologischer Anwendungen zu generieren (Abbildung 1).

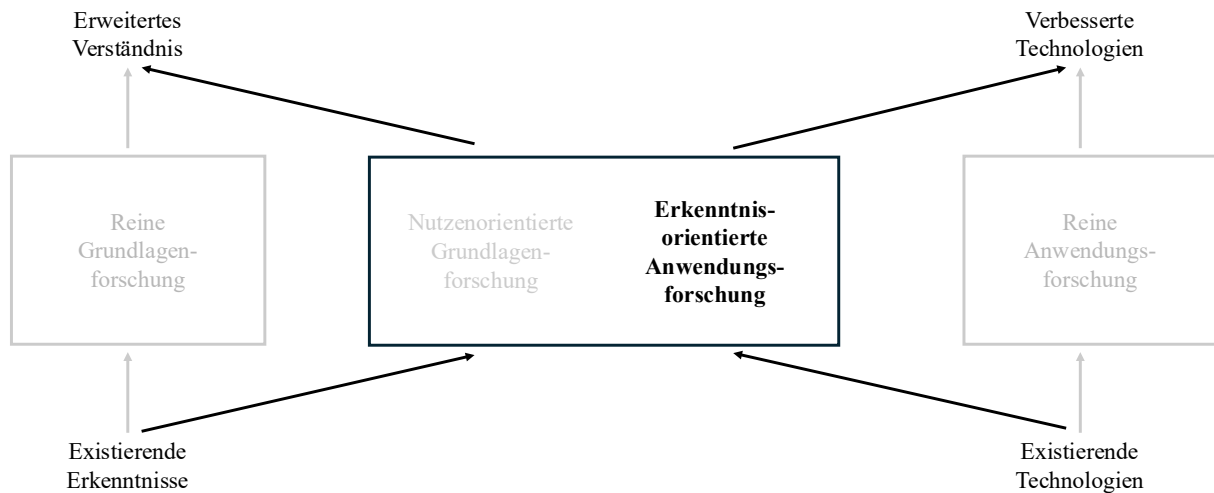


Abb. 1. Klassifizierung des Forschungsprogramms als erkenntnisorientierte Anwendungsforschung (selbst formulierter Terminus) (angelehnt an und übersetzt von Stokes, 1997, S. 88).

Für psychologische Forschungsprogramme betont Herrmann (1994) die Gleichwertigkeit von Grundlagen- und Anwendungsforschung und widerspricht der – auch bei Stokes (1997) angedeuteten – traditionellen Hierarchisierung. Ebenso wird der wechselseitige Austausch zwischen Grundlagen- und Anwendungsforschung sowie beider mit der nicht-forschenden Berufspraxis betont. Herrmann (1994) nutzt für Anwendungsforschung den Begriff des technologischen Forschungsprogramms, der auch in die Sportwissenschaft übertragen wurde (Höner, 2008; Willimczik, 2003). Diese sollen „unter der dominanten Maxime stehen, die Effizienz der nicht-forschenden Praxis zu erhöhen ... und Problemlösungsvorgänge [anzuzielen], die ‚in der Praxis funktionieren‘, also die auch verlässlich, nebenwirkungsfrei, routinisierbar, wirtschaftlich sowie rechtlich und faktisch akzeptiert sind“ (Willimczik, 2003, S. 114).

Im Nachwuchsleistungsfußball stehen Akteure der nicht-forschenden Berufspraxis vor der herausfordernden Aufgabe, aus einer großen Anzahl an Nachwuchsspielern diejenigen auszuwählen und gezielt zu fördern, denen das Potential zugeschrieben wird, im Leistungsfußball erfolgreich sein zu können (Höner et al., 2020). In diesem Zusammenhang müssen Akteure im

³ Technologien im Sinne dieser Dissertation beziehen auf technologische Entwicklungen im Bereich der kognitiven Diagnostiken (z. B. elektronische Testung, apparative Verfahren, 360°-Videos) sowie konkrete (kommerzielle) kognitive Diagnostiken. Entsprechend ist es abzugrenzen von dem Verständnis des Begriffs bei Herrmann (1994).

Nachwuchsleistungsfußball auch entscheiden, ob und welche Verfahren sie im Rahmen der Talentdiagnostik einsetzen (vgl. Ali, 2011; Bergkamp et al., 2019; Höner et al., 2020; McCalman et al., 2021). Zunehmend werden auch (kommerzielle) Diagnostiken zur Erfassung kognitiver Faktoren eingesetzt (vgl. Beavan, 2019; Harris et al., 2018). Dabei lässt sich beobachten, dass die Schnittmenge der in der Praxis eingesetzten neuartigen (kommerziellen) kognitiven Diagnostiken im Nachwuchsleistungsfußball und der in der wissenschaftlichen Literatur untersuchten Testverfahren klein ist. Das Dissertationsvorhaben setzt an diesem Punkt an. Es verfolgt dabei drei Schwerpunkte, welche sich (1) der Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis, (2) der psychometrischen Eigenschaften von neuartigen in der Praxis eingesetzten (kommerziellen) kognitiven Diagnostiken (Techniken-Programm) und (3) der diagnostischen Relevanz und dem Zusammenhang generischer und sport-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren (Programme zur Entwicklung operativen Hintergrundwissens) widmet (siehe Abbildung 2).

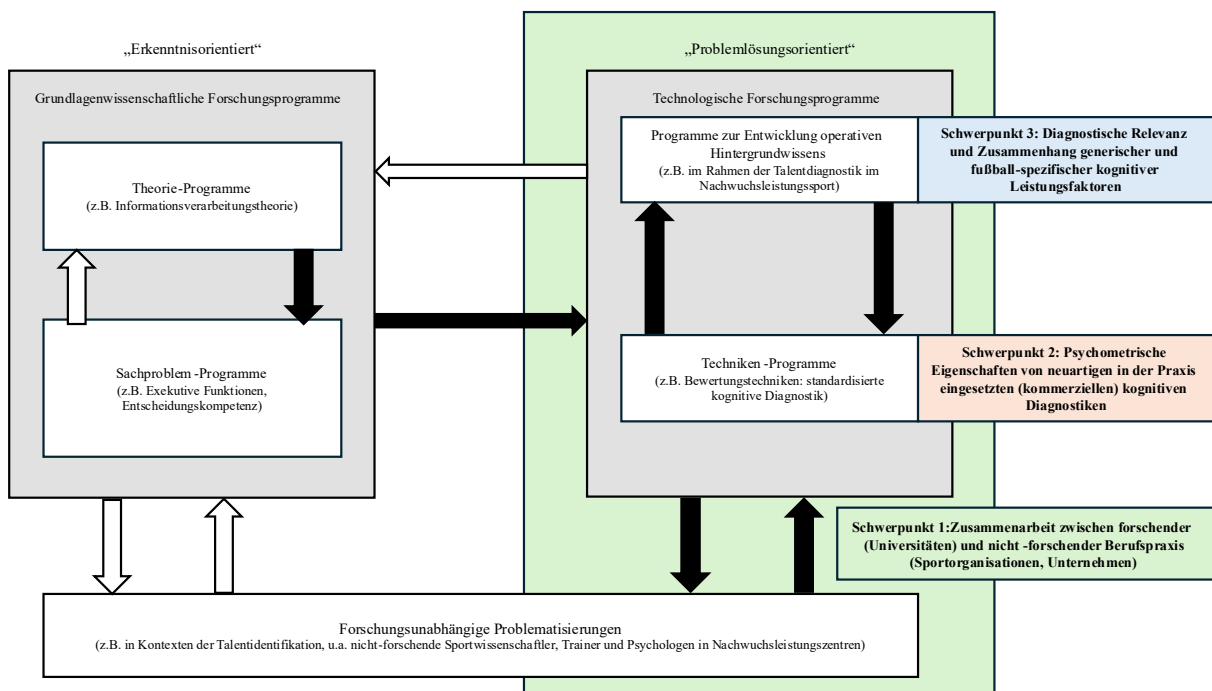


Abb. 2. Klassifizierung der Schwerpunkte sowie Einordnung relevanter Konzepte der Dissertation. Die Dissertation ist angelehnt an ein problemlösungsorientiertes, technologisches Forschungsprogramm, welches Erkenntnisse grundlagenwissenschaftlicher Forschungsprogramme nutzt und im wechselseitigen Austausch mit der nicht-forschenden Berufspraxis steht (Abbildung modifiziert nach Herrmann, 1994, S. 278; Höner, 2008, S. 6; Willimczik, 2003, S. 101).

1.2 Ausgangspunkte der Arbeit

Die erkenntnisorientierte Anwendungsforschung dieser Dissertation im Sinne eines technologischen Forschungsprogramms basiert auf drei sich teils gegenseitig bedingenden Beobachtungen in Bezug auf die Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren im Nachwuchsleistungsfußball. Diese bilden die inhaltlichen Ausgangspunkte, aus denen sich die Forschungsdesiderate (Kapitel 2.3) sowie Forschungsziele und -fragen (Kapitel 2.4) ableiten.

Erstens wird der Austausch zwischen grundlagenwissenschaftlichen und technologischen Forschungsprogrammen mit den forschungsunabhängigen Problematisierungen der nicht-forschenden Praxis als idealtypischer bidirektionaler Prozess dargestellt (Herrmann, 1994; Höner, 2008; Willimczik, 2003). Tatsächlich zeigt sich im Fachgebiet der Sportpsychologie eine Forschungs-Praxis-Lücke als zeitlose Herausforderung (Keegan et al., 2017; Martens, 1979; Schinke et al., 2024; Smith, 1989; Williams, 1995). Dies wird unter anderem durch Barrieren wie unterschiedlichen Anreizsystemen, Aufgabenprofilen, Zielen und Sprachstilen begründet (Haddow & Klobas, 2004; Kaufmann, 1980; Morissey et al., 1997; Willimczik, 2003; Wolf et al., 2020). Gleichzeitig wird vor einem zu schnellen Transfer vorläufiger wissenschaftlicher Befunde in die Praxis im anwendungsbezogenen Forschungsfeld der Sportpsychologie gewarnt (Furley et al., 2016; Schweizer & Furley, 2016a). Lösungsansätze wie die problemorientierte Sportwissenschaft⁴ (Höner, 2008), der *scientist-practitioner*-Ansatz (Schinke et al., 2024) und anwendungsorientierte Forschungsprogramme (Herrmann, 1994; Höner, 2008; Stokes, 1997) betonen die Notwendigkeit aktiver Kooperation, um sowohl in der Praxis nicht voreilig wenig reliable und wenig valide Instrumente einzusetzen als auch in der Forschung nicht für die Praxis irrelevante Verfahren zu prüfen.

Zweitens verändern technologische Entwicklungen der letzten Jahrzehnte die Erfassung sportpsychologischer Talentmerkmale (Höner et al., 2020). Dies zeigt sich in einer standardisierteren, objektiveren Durchführung und Auswertung in Bezug auf die Erfassung psychomotorischer (z. B. durch die Nutzung von Lichtschranken) und persönlichkeitsbezogener (z. B. durch Online-Fragebögen) Faktoren. Die Art der Aufgabe sowie der erforderlichen Antworten bleibt davon für diese beiden sportpsychologischen Faktoren hingegen unberührt. In Bezug auf die Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren zeigt sich, dass kognitive Diagnostiken zunehmend online-basiert, niedrighschwellig sowie örtlich und zeitlich flexibel eingesetzt (vgl. Harris et al.,

⁴ In einem Positionspapier zum Doktoratsprogramm „problemorientierter Sportwissenschaft“ der sportwissenschaftlichen Institute der Universität Tübingen, Universität Bern, des Karlsruher Institut für Technologie und der Technischen Universität München werden zehn Regeln für einen solchen Zugang definiert (Universität Bern, o. D.).

2018) oder in innovative Systeme der virtuellen und erweiterten Realität implementiert (vgl. Beavan, 2019; Le Noury et al., 2022) werden. Dies führt zu neuen Möglichkeiten sowohl auf der Ebene der Stimulus-Präsentation (bspw. durch 360°-Videos) als auch der Antwort-Korrespondenz (z. B. durch Integration einer fußball-spezifischen Antwort). Beides verändert die Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren und führt zu neuartigen (kommerziellen) kognitiven Testverfahren. Obwohl viele dieser neuen Diagnostiken auf etablierten wissenschaftlichen Methoden und Ansätzen beruhen, werden typische Anforderungen an solche Testverfahren (z. B. Diagnostik- und Testkuratorium, 2024; Höner & Roth, 2002; Kersting, 2018; Moosbrugger & Kelava, 2020; Weakley et al., 2024) nicht erfüllt. Dies liegt unter anderem daran, dass oftmals unabhängige Studien fehlen, die die psychometrischen Eigenschaften der Verfahren im spezifischen Anwendungskontext des Nachwuchsleistungsfußballs systematisch untersuchen und transparent berichten (vgl. Beavan, 2019; Finkenzeller et al., 2021; Fogarty, 1995).

Drittens existiert eine andauernde Debatte über die relative diagnostische Bedeutung und den Zusammenhang generischer und sport-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren im Rahmen der Talentdiagnostik. Sportartübergreifende Meta-Analysen zeigen Expertise-Unterschiede zugunsten von Athleten sowohl in generischen (Logan et al., 2023; Scharfen & Memmert, 2019a; Voss et al., 2010) als auch in spezifischen kognitiven Leistungsfaktoren (Mann et al., 2007; Travassos et al., 2013). Eine vergleichende Meta-Analyse zeigt dabei stärkere Effekte für sport-spezifische Leistungsfaktoren, betont jedoch die begrenzte Evidenzlage hinsichtlich der prognostischen Validität beider Arten kognitiver Leistungsfaktoren (Kalén et al., 2021). In Rahmen der Talentdiagnostik wird auch auf methodische Limitationen empirischer Forschungsarbeiten hingewiesen. Die gewählten Kriterien berücksichtigen interindividuelle Unterschiede nicht adäquat, negieren die prognostische Validität insbesondere innerhalb von homogenen Stichproben und/oder lassen das chronologische Alter als relevante Einflussvariable unberücksichtigt (Bergkamp et al., 2019; Williams et al., 2020). Darüber hinaus existiert sportartenübergreifend ein uneinheitlicher empirischer Stand bezüglich des Zusammenhangs von generischen kognitiven Funktionen wie exekutiven Funktionen mit sport-spezifischen kognitiven Faktoren wie der Entscheidungskompetenz (z. B. Seidel-Marzi et al., 2025). Ebenso haben bislang nur wenige Studien (z. B. Heisler et al., 2023) diesen Zusammenhang innerhalb einer Stichprobe im Nachwuchsfußball untersucht.

1.3 Aufbau der Dissertation

Aufbauend auf dem einleitenden Kapitel, welches ausgehend von den Grundzügen erkenntnisorientierter Anwendungsforschung die Ausgangspunkte dieser Dissertation skizziert,

präsentiert Kapitel 2 die relevanten theoretischen Konzepte und Forschungsansätze, in der Praxis eingesetzte (kommerzielle) kognitive Diagnostiken und bedeutsame empirische Befunde. Anschließend werden auf Grundlage der Ausgangspunkte bestehende Forschungsdesiderate herausgearbeitet und drei übergeordnete Forschungsziele näher dargestellt. Fünf Beiträge in Kapitel 3 bilden das Kernstück der kumulativen Dissertation (Kapitel 3). Konkret werden (1) Chancen und Herausforderungen der Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis in Bereich der Kognitionspsychologie exemplarisch dargestellt (*Beitrag 1*), (2) die psychometrischen Eigenschaften der Reliabilität und Validität neuartiger (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken untersucht (*Beitrag 2 – 5*), und (3) die diagnostische Relevanz sowie der Zusammenhang generischer und sport-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren betrachtet (*Beitrag 2, Beitrag 4 und Beitrag 5*).

- (1) Lautenbach, F., Musculus, L., Knöbel, S., **Reinhard, M. L.**, Holst, T., Poimann, D., & Pelka, M. (2022). Kognitionspsychologie im Fußball: ein Anstoß für die Integration von Forschung und Praxis der Sportpsychologie. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 29(1), 19-29. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000351>
- (2) **Reinhard, M.L.**, Larkin, P., García-López, L.M., & Höner, O. (2026). Cognitive Assessment in Elite Youth Football. Reliability and Validity of a Generic Cognitive Function Diagnostic Tool. *Journal of Applied Sport and Exercise Psychology*. Online-Vorabpublikation. <https://doi.org/10.1026/2941-7597/a000064>
- (3) Musculus, L., Lautenbach, F., Knöbel, S., **Reinhard, M. L.**, Weigel, P., Gatzmaga, N., Borchert, A., & Pelka, M. (2022). An assist for cognitive diagnostics in soccer: two valid tasks measuring inhibition and cognitive flexibility in a soccer-specific setting with a soccer-specific motor response. *Frontiers in Psychology*, 13, 867849. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.867849>
- (4) Knöbel, S*, **Reinhard, M.L.***, Borchert, A., Gatzmaga, N., Musculus, L., & Lautenbach, F. (2026). Associations between executive functions, coaches' evaluation, and performance development in youth soccer. *Scientific Reports*, 15, 44335. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-33159-4>
- (5) **Reinhard, M.L.**, Mann, D.L., & Höner, O. (2025). The role of generic cognitive skills: an empirical investigation into the association between generic and sport-specific cognitive skills and playing level in youth football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 28(7), 587-593. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2025.01.010>

Im Kapitel 4 werden die Erkenntnisse aller Beiträge zusammengefasst, kritisch im Kontext der Ausgangspunkte dieser Arbeit eingeordnet und vor dem Hintergrund aktueller

(sport)wissenschaftlicher Debatten diskutiert. Daraus werden fundierte Empfehlungen für die Zusammenarbeit forschender und nicht-forschender Akteure abgeleitet, bevor in Kapitel 5 ein zusammenfassendes Fazit der Dissertation gezogen wird.

2 Theoretischer Hintergrund und empirischer Forschungsstand

2.1 Perspektiven auf kognitive Faktoren im Sport

Der Begriff ‚Kognition‘ basiert etymologisch auf dem Lateinischen und bedeutet ‚erkennen, wahrnehmen‘ (*cōgnōscere*) bzw. ‚Kennenlernen, Erkenntnis‘ (*cōgnitio*) (Pfeifer et al., 1993). Unter Kognitionen werden in der Sportpsychologie eine Vielzahl mentaler Prozesse verstanden, darunter Wahrnehmen, Konzentrieren, Erinnern, Planen, Entscheiden und Problemlösen (Conzelmann et al., 2022; Gabler, 2000; Hänsel et al., 2022; Straub & Williams, 1984). Dabei wird zwischen kognitiven Fertigkeiten (d. h. der effektiven Nutzung von bereichsspezifischem Wissen *bei der Ausführung*) und kognitiven Funktionen (d. h. allgemeinen, anstrengenden kognitiven Mechanismen, die für zielgerichtetes Handeln relevant sind) unterschieden (Kalén et al., 2021).⁵ Unter kognitiven Funktionen werden im Rahmen der Talentdiagnostik sowohl generische kognitive Faktoren – etwa die exekutiven Funktionen Arbeitsgedächtnis, Inhibition und kognitive Flexibilität – als auch sport-spezifische Faktoren wie Entscheidungskompetenz betrachtet. Auch perzeptuell-kognitive Merkmale wie Aufmerksamkeitsprozesse⁶ oder Antizipation gelten als relevant (Höner et al., 2020).

In dynamischen und interaktiven Sportarten wie dem Fußball kommt kognitiven Prozessen eine zentrale Bedeutung zu (Habekost et al., 2024; Höner, 2005; Memmert, 2004; Williams et al., 2020). Spieler müssen kontinuierlich eine Vielzahl an Informationen aus ihrer Umgebung wahrnehmen und verarbeiten – etwa Mitspieler, Gegenspieler, Ballbewegungen sowie Anweisungen, die sowohl vom Trainer als auch von Mitspielern kommuniziert werden (vgl. Gabler, 2000).

Die nachfolgenden Abschnitte widmen sich zentralen Perspektiven auf kognitive Faktoren im Sport. Zunächst werden mit der *Informationsverarbeitung menschlicher Kognition* und dem *Ecological Dynamics Approach* zwei einflussreiche theoretische Zugänge dargestellt. Anschließend folgt die Darstellung methodischer Zugänge: mit dem *Cognitive Component Skills Approach* und dem *Expert Performance Approach* werden zwei verbreitete Forschungsansätze zur Erfassung kognitiver Funktionen im Sport beschrieben, und abschließend werden exemplarisch ausgewählte und in der Praxis eingesetzte (kommerzielle) Diagnostiken zur Erfassung kognitiver Funktionen präsentiert.

⁵ Aufgrund des verhaltenswissenschaftlichen Ansatzes dieser Dissertation sowie der Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren mit neuen Technologien in standardisierten Aufgaben liegt der Fokus auf *kognitiven Funktionen*.

⁶ Aufmerksamkeit wird in manchen konzeptionellen Modellen auch als exekutive Funktion betrachtet (vgl. Seidel-Marzi et al., 2025).

2.1.1 Theoretische Zugänge

In der sportpsychologischen Forschung dominierte, ähnlich wie in der Mutterdisziplin Psychologie, zu Beginn des 20. Jahrhunderts der behavioristische Ansatz. Dieser versteht Verhalten primär als Folge äußerer Reize (Reiz-Reaktions-Schema) und betrachtet interne psychische Prozesse als nicht objektiv messbar und damit als irrelevant (Straub & Williams, 1984; Watson, 1998). Mit der sogenannten kognitiven Wende (*cognitive revolution*; Dember, 1974) verlagerte sich der Fokus auf innere Prozesse wie Wahrnehmen, Planen oder Entscheiden, die als Grundlage sportlichen Verhaltens verstanden werden. Straub und Williams (1984) werfen dem behavioristischen Ansatz vor, Athleten „enthauptet“ zu haben („In retrospect, behaviorism beheaded coaches and athletes“, S. 3). Als Gegenposition zum Behaviorismus versteht die kognitive Sportpsychologie Athleten als denkende, zielgerichtet handelnde Organismen, die Informationen suchen, filtern, reorganisieren, ihnen Bedeutung geben und selektiv drauf reagieren (Gabler, 2000; Munzert & Raab, 2009; Straub & Williams, 1984). Der allgemeine Ansatz der Dissertation basiert auf einer verhaltenswissenschaftlichen Perspektive, nach der sichtbares Verhalten als Ausdruck innerer Informationsverarbeitung interpretiert wird (Munzert & Raab, 2009).⁷

Mit der kognitiven Wende (Dember, 1974) entstanden in der Psychologie und Sportpsychologie theoretische Ansätze, die kognitive Leistungen als Ergebnis von *Informationsverarbeitungsprozessen* betrachten. Der informationstheoretische Ansatz gilt als bedeutender Meilenstein der modernen Psychologie und zählt zu ihren erfolgreichsten theoretischen Programmen (Eckardt, 2010; Prinz & Müsseler, 2002). Er basiert auf der Annahme, dass Menschen Umgebungsinformationen aufnehmen, intern verarbeiten und daraus Handlungen ableiten (Palmer & Kimchi, 1986). Im sogenannten *animal-environment dualism* wird der Mensch dabei als von seiner Umwelt unabhängiges, informationsverarbeitendes System verstanden (Abernethy et al., 1994). In diesem Zusammenhang wird Wahrnehmung als indirekter Prozess begriffen, d.h. dass Informationen aus der Umwelt aktiv integriert und interpretiert werden müssen, bevor sie Bedeutung für das Handeln erlangen. Dabei wirken bottom-up-Prozesse (datengetriebene Informationsaufnahme) und top-down-Prozesse (einfließendes Wissen und Erwartungen) parallel (Munzert & Raab, 2009). Bezogen auf den Sport bedeutet dies, dass das Verhalten von Athleten sowohl durch die unmittelbare Wahrnehmung von Umweltreizen (bottom-up) als auch durch gespeicherte Erfahrungen (top-down) beeinflusst wird.

⁷ Auch wenn sich Behaviorismus und Kognitivismus in ihrer theoretischen Grundhaltung teils fundamental unterscheiden, sind die Ansätze methodisch kompatibel, da beobachtbares Verhalten wie bspw. Reaktionszeiten und Antwortverhalten betrachtet wird (Munzert & Raab, 2009).

Die Informationsverarbeitung wird typischerweise in drei Verarbeitungsstufen beschrieben, welche nicht zwangsläufig seriell ablaufen, sondern sich zeitlich überlappen oder parallel ablaufen können (Munzert & Raab, 2009): Informationsaufnahme (*stimulus identification*), Entscheidung für eine konkrete Handlungsvariante (*response selection*) und Organisation der Bewegungsausführung (*response programming*). Zur Erklärung dieser Informationsverarbeitung wird häufig die Analogie zu Computern herangezogen (Palmer & Kimchi, 1986): Umweltreize gelangen als Input über sensorische Systeme, werden durch mentale Operationen verarbeitet (Selektion, Speicherung, Transformation) und führen zu einem Output in Form beobachtbaren Verhaltens. Searle (1990) erweitert diese Analogie, indem er zwischen unveränderbaren Prozessen (vergleichbar mit Hardware, etwa Gedächtnisstrukturen) und veränderbaren Prozessen (vergleichbar mit Software, etwa erlerntem Wissen) unterscheidet. Kognitive Leistungen lassen sich demnach in isolierbare Komponenten (*cognitive components*), die einzeln untersucht werden können, gliedern. Dies erfolgt im Regelfall innerhalb standardisierter, laborbasierter Aufgaben mit einem verhaltenswissenschaftlichen Fokus auf Reaktionszeiten und Antwortgenauigkeit. Basierend auf dieser Theorie menschlicher Informationsverarbeitung entwickelte sich der klassische Expertiseansatz (Simon & Chase, 1973), der den Zusammenhang zwischen Domänen-Expertise und der Gedächtnisstruktur für typische Stimuli und Situationen innerhalb einer Sportart beschreibt (Gobet, 2020).

Die Theorie menschlicher Informationsverarbeitung im Sport wurde in den vergangenen Jahrzehnten wiederholt kritisiert (z. B. Araújo et al., 2006; Handford et al., 1997; Moe, 2005; Woods et al., 2020). Die Hauptkritik mit Bezug zur Erfassung kognitiver Faktoren fokussiert sich auf die fehlende Berücksichtigung von repräsentativen Umweltbedingungen in den Laboraufgaben (*ökologische Validität*), die fehlende Berücksichtigung von Wahrnehmung und Handlung als eng miteinander gekoppelte Prozesse (*perception-action coupling*) und die reduktionistische, mechanische Betrachtungsweise menschlicher Leistung. Insbesondere die Trennung und isolierte Untersuchung einzelner kognitiver Komponenten wird als unzureichend zur Erfassung komplexer Expertenleistungen angesehen (Handford et al., 1997; Woods et al., 2020). Entsprechend wurde als Antwort auf die identifizierten Schwächen des Informationsverarbeitungsansatzes (im Sport) ein zweiter Ansatz zur Erfassung von (kognitiven) Expertenleistungen (im Sport) vorgeschlagen (Araújo et al., 2006; Davids et al., 1994; Handford et al., 1997): der *Ecological Dynamics Approach*.⁸

⁸ Die Darstellung im Rahmen der Dissertation fokussiert sich auf Annahmen, die für die *Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren* im Sportspiel Fußball relevant sind. Für einen allgemeineren Überblick der Gemeinsamkeiten und Unterschiede beider theoretischen Zugänge sei auf andere Literatur verwiesen (z. B. Anson et al., 2005; Gottwald et al., 2023).

Der *Ecological Dynamics Approach* negiert die Wichtigkeit der Informationsverarbeitung und mentaler Repräsentationen für das Verhalten (und die Leistung) von Athleten. Stattdessen wird auf die Wichtigkeit der direkten Interaktion zwischen Sportler und Umwelt verwiesen (Araújo et al., 2006). Basierend auf Gibsons (1979) Konzept der Affordanzen – Handlungsmöglichkeiten, die sich aus den Eigenschaften der Umwelt und den individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten des Sportlers ergeben – wird Wahrnehmung als ein direkter Prozess verstanden. Affordanzen entstehen im Zusammenspiel von Umweltmerkmalen und individuellen Möglichkeiten und können nicht unabhängig vom Sportler betrachtet werden. Verhalten und Leistung werden somit als selbstorganisierte Resultate eines dynamischen Athlet-Umwelt-Systems interpretiert, beeinflusst durch *constraints* (d. h. personen-, aufgaben- oder umweltbezogene Einschränkungen) (Araújo et al., 2006; Araújo et al., 2019; Woods et al., 2020).

Bezogen auf sport-spezifische kognitive Leistungsfaktoren, wie bspw. Entscheidungskompetenz bzw. -handeln, gehen Vertreter des *Ecological Dynamics Approach* davon aus, dass Experten ihre Handlungen nicht (vollständig) im Voraus planen. Entscheidungen entstehen (spontan) emergent aus der situativen Interaktion mit den Umweltgegebenheiten. Sie sind also weder das (alleinige) Produkt mentaler Repräsentationen, noch durch die Umweltstruktur determiniert. Vielmehr werden Entscheidungen als die Integration von Absichten, Handlungen und Wahrnehmungen betrachtet, während Verhalten als die Realisierung einer Affordanz dargestellt wird. Leistungsunterschiede zwischen Experten und Novizen lassen sich, so die Annahme, dadurch erklären, dass Experten relevante Umweltinformationen, d.h. die für ihre Aufgabe wichtigsten Affordanzen, besser wahrnehmen und nutzen (Araújo et al., 2006; Araújo et al., 2020). Entsprechend fordern Vertreter des *Ecological Dynamics Approach*, kognitive Faktoren wie Entscheidungskompetenz ausschließlich *in situ* – also in realen Spielsituationen oder in spielähnlichen Settings wie Kleinfeldspielen – zu erfassen. Laborbasierte Tests gelten unabhängig vom erfassten Konstrukt und der Stimulus- oder Antwortspezifikationen als ökologisch nicht repräsentativ und somit ungeeignet zur validen Erfassung von Expertenleistungen (Araújo et al., 2020; Araújo et al., 2019). Der *Ecological Dynamics Approach* wird unter anderem für eine mangelnde konzeptuelle Klarheit wichtiger Konstrukte (z. B. mentaler Repräsentationen, Kognitionen) sowie der generellen Vernachlässigung relevanter innere Prozesse kritisiert. Ebenso wird bemängelt, dass die Forderung nach einer repräsentativen *in-situ* Erfassung und das Fehlen klarer kausaler Mechanismen zu Erhebungsmethoden mit geringem Standardisierungsgrad führe, was die Möglichkeiten einer empirischen Prüfung einschränkt (vgl. Bobrownicki et al., 2023; Cañal-Bruland & Mann, 2025; Collins et al., 2024).

2.1.2 Methodische Zugänge der standardisierten Erfassung

Beide theoretischen Ansätze formulieren spezifische Anforderungen an die Erfassung kognitiver Faktoren im Sport. Der *Ecological Dynamics Approach* untersucht in repräsentativen Aufgaben realer Spielsituationen unter Berücksichtigung der Performer-Umwelt-Interaktion das Entscheidungsverhalten bzw. -handeln. Aufgrund dieser Anforderungen erfolgt die Erfassung über Analysen der Interaktion in Spielsituationen (vgl. Vilar, Araújo, Davids & Button, 2012; Vilar, Araújo, Davids & Renshaw, 2012), was die systematische experimentelle Standardisierung einschränkt bzw. verhindert (vgl. Cañal-Bruland & Mann, 2025).

Im Rahmen der standardisierten Erfassung kognitiver Faktoren wurden ausgehend von der Perspektive der Informationsverarbeitung zwei Forschungsansätze entwickelt: der *Cognitive Component Skills Approach* und der *Expert Performance Approach*. Diese werden im Folgenden vorgestellt und sportartübergreifende empirische Erkenntnisse auf Basis relevanter Reviews und Meta-Analysen präsentiert. Spezifische Ergebnisse zu einzelnen kognitiven Leistungsfaktoren im Nachwuchsleistungsfußball folgen in Kapitel 2.2.

2.1.2.1 Forschungsansätze

Sowohl der *Cognitive Component Skills Approach* als auch der *Expert Performance Approach* analysiert in einem Experten-Novizen-Paradigma⁹ Vorteile leistungsstarker bzw. talentierter Athleten gegenüber weniger leistungsstarker oder weniger talentierter Athleten in kognitiven Aufgaben. Die Sport-Spezifität und der Standardisierungsgrad der Aufgaben werden dabei unterschiedlich akzentuiert.

Der *Cognitive Component Skills Approach* (Nougier et al., 1991) untersucht die Beziehung zwischen sportlicher Expertise und Leistungen in generischen, sportunspezifischen kognitiven Testverfahren (Voss et al., 2010). Dabei werden standardisierte Laboraufgaben eingesetzt, die grundlegende kognitive Anforderungen (des Leistungssports) isoliert abbilden (sollen), jedoch keine spezifische Sportumgebung berücksichtigen und somit geringe ökologische Validität aufweisen (Ericsson, 2003). Der Ansatz wird als explorativ charakterisiert (Furley et al., 2017).

Vertreter dieses Ansatzes gehen davon aus, dass sportliche Leistungsfähigkeit auf einem Zusammenspiel automatisierter und kontrollierter (aufmerksamkeitsgesteuerter) Prozesse basiert. Experten unterscheiden sich demnach von Novizen dadurch, dass sie relevante Informationen

⁹ Das Experten-Novizen-Paradigma umfasst dabei die Untersuchung von Personengruppen mit unterschiedlicher sportlicher Expertise, d.h. nicht nur Experten mit höchstem sportlichem Niveau und Novizen ohne sportliche Expertise, sondern auch erfahrene Sportlergruppen mit weniger erfahrenen Sportlergruppen oder weniger leistungsstarken Sportlergruppen (Furley et al., 2023; Voss et al., 2010).

effizienter selektieren und verarbeiten können. Nougier et al. (1991) verwenden zur Veranschaulichung die Taschenlampenmetapher der (visuellen) Aufmerksamkeit (Posner et al., 1980) sowie die Idee des *ideal observer* aus der Signalentdeckungstheorie (Pastore & Scheirer, 1974). Im Vergleich zu einem idealen Beobachter wird der *ideal athlete* zusätzlich als in der Lage beschrieben, unter Bedingungen unvollständiger oder fehlerhafter Informationen flexibel und effizient zu reagieren (Nougier et al., 1991). Automatische und kontrollierte Prozesse werden als komplementär betrachtet, die parallel und dynamisch koordiniert werden müssen (Abbildung 3) (Logan, 1985; Nougier et al., 1991). Diese kognitiven Komponenten – etwa Inhibition, Verarbeitungsgeschwindigkeit, Kurzzeitgedächtnis und kognitive Flexibilität – werden laborbasiert mithilfe standardisierter Aufgaben wie Hinweisreizparadigmen, visuellen Aufmerksamkeitstests oder Reaktionstests untersucht (Logan et al., 2023; Scharfen & Memmert, 2019a; Voss et al., 2010). Typische Testsettings beinhalten generische Stimuli (z. B. Pfeile), die sitzend beantwortet werden (z. B. per Tastendruck). Nougier und Rossi (1999) betonen, dass die Aufgaben möglichst herausfordernd sein sollten, da Expertise-Unterschiede bei mittel-schweren Aufgaben und leichten Aufgaben nicht bzw. selten zu detektieren seien.

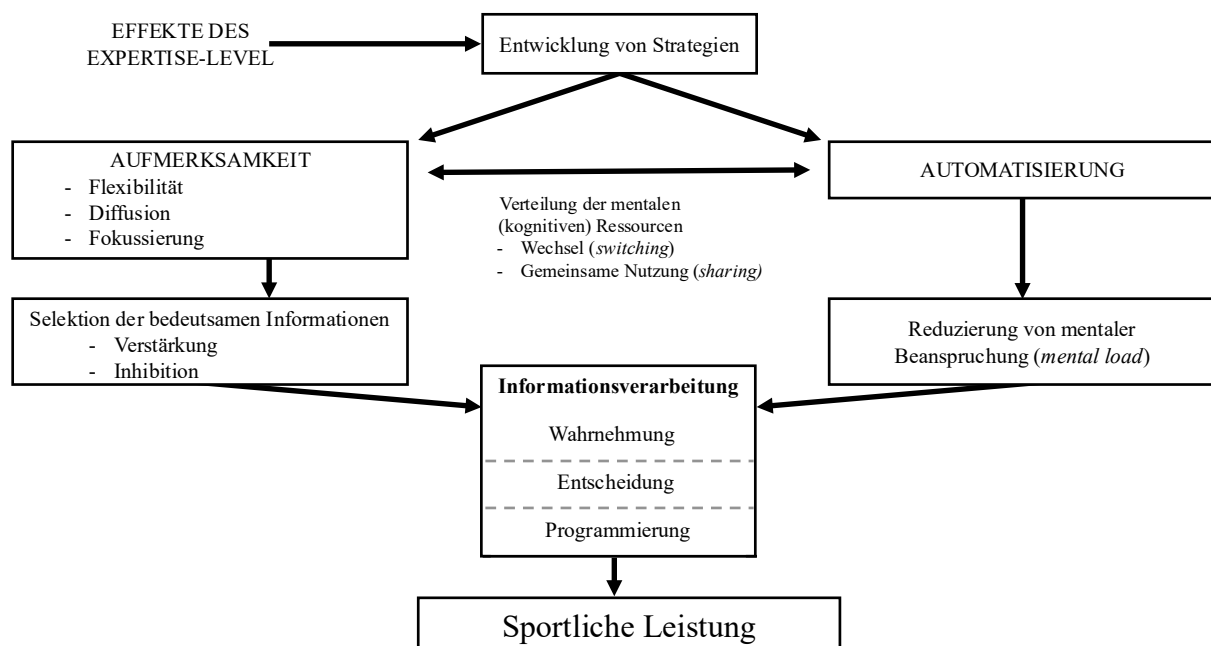


Abb. 3. Schematische Darstellung der möglichen Interaktion zwischen Aufmerksamkeitsprozessen (linke Seite) und automatischen Prozessen (rechte Seite). Die kognitiven Prozesse sind vom Expertise-Level des Athleten abhängig (übersetzt aus Nougier et al., 1991, S. 321).

Vier Übersichtsarbeiten zu generischen kognitiven Funktionen im Sinne des *Cognitive Component Skills Approach* zeigen sportartübergreifend, dass Athleten in laborbasierten Tests signifikant bessere Leistungen erbringen als weniger talentierte bzw. weniger leistungsstarke Athleten

bzw. Novizen (Kalén et al., 2021; Logan et al., 2023; Scharfen & Memmert, 2019a; Voss et al., 2020).

Der *Expert Performance Approach* wurde von Ericsson und Smith (1991) als alternativer Zugang zum traditionellen Ansatz der Expertise-Forschung (Simon & Chase, 1973), die menschliche Kognition in Analogie zur Computerhardware und -software verstand (Ericsson & Hagemann, 2007), vorgeschlagen. Auf Basis von Laborstudien der 1980er-Jahre zeigte sich, dass herausragende Leistungen diese Modellierung überschreiten: Experten sind in der Lage, auch grundlegende kognitive Funktionen wie Gedächtnisleistungen durch Training zu verändern (Ericsson & Hagemann, 2007; Ericsson & Smith, 1991). Aufbauend auf den Konzepten des *Deliberate Practice* (Ericsson et al., 1993) und der *Long-Term Working Memory Theory* (Ericsson & Kintsch, 1995) geht der *Expert Performance Approach* im Sport von domänenspezifische Vorteilen aus, d.h. Vorteilen in sport-spezifischen Aufgaben. Demnach entwickeln Experten strukturierte Verbindungen zwischen Umweltstimuli und Abruf-Cues im Gedächtnis (Furley et al., 2017).

Der Ansatz betont die Analyse tatsächlicher sport-spezifischer kognitiver Leistungen unter möglichst repräsentativen Bedingungen. Typische Forschungsfragen lauten (Stakes & Deakin, 1984): Verarbeiten geübte Sportler Informationen über die *Spielstruktur* anders? Wie unterscheiden sich Geschwindigkeit und Genauigkeit komplexer *Spielentscheidungen* zwischen geübten und nicht-geübten Individuen?

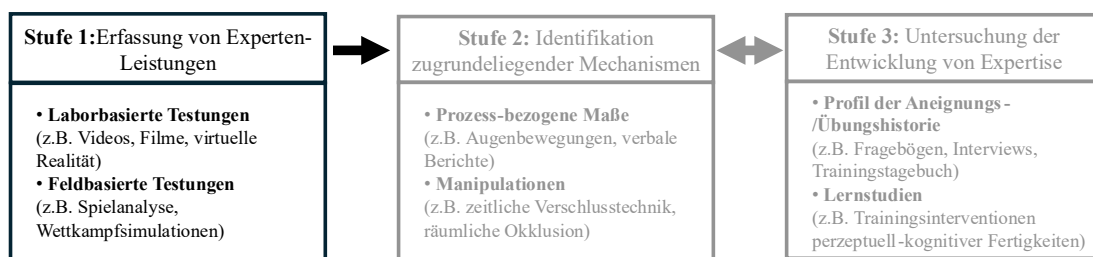


Abb. 4. Die Stufen des *Expert Performance Approach* (übersetzt und modifiziert nach Williams & Ericsson, 2005, S. 286).

Die Leistungserfassung erfolgt innerhalb der ersten Stufe¹⁰ des *Expert Performance Approach* sowohl laborbasiert als auch feldbasiert (Abbildung 4). Beiden Formen gemein ist die Erfassung der Experten-Leistungen *in-situ*¹¹, d.h. mittels repräsentativer Aufgaben, die es

¹⁰ Die beiden weiteren untersuchungsmethodischen, miteinander interagierenden Stufen legen den Fokus weniger auf die Erfassung kognitiver Experten-Leistungen (als Kern der Dissertation) und werden daher nicht thematisiert.

¹¹ *In-situ* im Sinne des *Expert-Performance Approach* bedeutet die Nutzung standardisierter, repräsentativer Aufgaben, die laborbasiert oder feldbasiert sein können. *In-situ* im Sinne des *Ecological Dynamics Approach* beinhaltet ausschließlich feldbasierte Erfassung unter Berücksichtigung der Performer-Umwelt-Interaktion.

ermöglichen, die Anforderungen an die essenziellen, perzeptuell-kognitiven Faktoren, im Labor oder auf dem Feld reproduzieren zu können (Ericsson & Smith, 1991; Williams & Ericsson, 2005). In der laborbasierten Erfassung werden häufig sport-spezifische Videosequenzen, gefilmt aus der Perspektive des Akteurs, genutzt. Typische Antworten umfassen Tastendrucke (z. B. Bennett et al., 2019), verbale Antworten (Höner, Dugandzic et al., 2023) oder sport-spezifische Bewegungen (z. B. Pass auf eine Wand; Murr et al., 2021). Neuere Entwicklungen beinhalten ebenfalls videobasierte bzw. computergenerierte 360°-Umgebungen (Le Noury et al., 2022). In der feldbasierten Erfassung werden standardisierte Spieltestaufgaben (z. B. Memmert, 2004) genutzt. Alternativ finden sich strukturierte Beobachtungsinstrumente von Kleinfeldspielleistungen, die allerdings einen deutlich geringeren Standardisierungsgrad haben (z. B. Game Performance Assessment Instrument (GPAI), Oslin et al., 1998; Game Performance Evaluation Tool (GPET), García-López et al., 2013). Sowohl labor- als auch feldbasierte Aufgaben sollten präzise und wiederholbare Ergebnisse für eine objektive Messung liefern. Die Leistung der Experten in diesen Aufgaben sollte sich über mehrfaches Testen nicht kurzfristig (systematisch) verändern bzw. verbessern, da stabile (perzeptuell-kognitive) Prozesse erfasst werden sollen, die über Jahre des Trainings erworben wurden (Ericsson & Hagemann, 2007; Ericsson & Smith, 1991). Eine Herausforderung im *Expert Performance Approach* liegt darin, kontrollierte, standardisierte Aufgaben zu entwickeln, die sowohl interne Validität (Kontrollierbarkeit) als auch externe Validität (ökologische Repräsentativität) gewährleisten. Gerade in komplexen Sportarten wie Fußball ist diese Balance schwierig zu erreichen (Ericsson & Williams, 2005; Williams & Ford, 2008) (siehe Tabelle 1).

Die empirischen Studien im *Expert Performance Approach* nutzen häufig Experten-Novizen-Vergleiche aus verhaltenswissenschaftlicher Perspektive¹², wobei meist Reaktionszeiten und Antwortgenauigkeit untersucht werden. In sportartübergreifenden Übersichtsarbeiten zeigt sich, dass Athleten gegenüber weniger talentierten bzw. weniger leistungsstarken Athleten und Novizen in sport-spezifischen Aufgaben besser abschneiden, wobei die Effekte für Aufgaben mit zunehmender Sport-Spezifität tendenziell größer sind (Kalén et al., 2021; Mann et al., 2007; Travassos et al., 2013).

¹² Die Betrachtung prozessorientierter Mechanismen findet in der Stufe 2 (Identifikation zugrundeliegender Mechanismen; *Identify Underlying Mechanisms*) des *Expert Performance Approach* statt (vgl. Abbildung 4).

Tab 1. Mögliche Verfahren im Expert Performance Approach mit unterschiedlichem Grad der Standardisierung und Sport-Spezifität der Stimuli sowie der Antwort.

Kategorie	Bewegung	Stimuli	Antwort	Beispiel (Verfahren)	Beispiel (Studie)
Kontrolliert, laborbasiert	Eingeschränkte Bewegung (z. B. sitzen, stehen)	Non-Live (z. B. statische Bilder, Videoaufzeichnungen, Lichtpunktdarstellung)	Generisch bzw. nicht repräsentativ (z. B. Tastendruck, verbale Antwort)	360°-Videoentscheidungstest (verbale Antwort)	Höner, Dugandzic et al., 2023*
Offen, laborbasiert	Etwas Bewegung möglich	Non-Live (z. B. statische Bilder, Videoaufzeichnungen, Lichtpunktdarstellung)	Eingeschränkte Bewegung erforderlich (z. B. mit Arm Richtung anzeigen)	360°-Videoentscheidungstest (motorische Simulation als Antwort)	Panchuk et al., 2018#
Laborbasiert, in-situ	Freie Bewegung (im Labor)	Non-Live (z. B. statische Bilder, Videoaufzeichnungen, Lichtpunktdarstellung)	Repräsentativ bzw. sport-spezifisch (z. B. einen Ball passen)	Videoentscheidungstest (ca. 3m Pass als motorische Antwort)	Murr et al., 2018*
Kontrolliert, in situ	Freie Bewegung (in [Sport]Umgebung)	Live (z. B. Torhüter)	Repräsentativ bzw. sport-spezifisch (z. B. einen Ball schießen oder passen)	3 vs. 3 Kleinfeldspiel mit modifiziertem Ballbesitz	Praça et al., 2017*
Offen, in-situ⁺	Freies Spiel (in natürlicher [Sport]Umgebung)	Live (reales Spiel)	Repräsentativ (beeinflusst vom Spielgeschehen)	3 vs. 3 Kleinfeldspiel	van Maarseveen et al., 2018*

⁺ Die Kategorie „offen, in-situ“ ist nicht gänzlich dem *Expert Performance Approach* zuzuordnen, da das Testumfeld zwar repräsentativ (reales Spiel) ist, aber nicht standardisiert und kontrolliert. * = Jugendfußballspieler; # Jugendbasketballspieler. Klassifizierungsschema angelehnt und entnommen von McGuckian et al. (2018) und Inns et al. (2023).

Die Meta-Analyse von Kalén et al. (2021) stellt die bislang umfassendste Untersuchung dar, welche generische und sport-spezifische kognitive Faktoren vergleichend analysiert. Insgesamt wurden 142 Studien mit 8.860 Teilnehmern (davon 1.442 weiblich) und 1.227 Effektgrößen berücksichtigt. Während 56% der Studien sportartspezifische Stimuli und 36% generische Stimuli nutzten, waren die meisten Antworten generisch (77% gegenüber 19% spezifisch). Bei Berücksichtigung der Art der Stimuli und der Antwort waren 57 (36%) komplett generisch und 27 (17%) komplett spezifisch, sodass ein Großteil der Studien (47%) weder ausschließlich spezifisch noch ausschließlich generische kognitive Testverfahren nutzte¹³. Insgesamt schnitten leistungsstärkere Athleten in kognitiven Tests besser ab als leistungsschwächere (Hedges' $g = 0.59$). Der Effekt war signifikant größer bei spezifischen Stimuli (1,8- bis 3,2-fach) als bei generischen Stimuli ($p = .011$). Für spezifische Antworten ergab sich zwar ein Trend zu höheren Effekten, dieser war jedoch statistisch nicht signifikant ($p = .097$). Besonders große Effekte zeigten Aufgaben, die sowohl spezifische Stimuli als auch spezifische Antworten integrierten. Allerdings weisen Kalén et al. (2021) darauf hin, dass nur elf Studien prospektive

¹³ Fehlende Prozentangaben sind diejenigen Studien, die bzgl. Stimuli oder Antwort sowohl generische als auch spezifische nutzten.

Designs verwendeten, davon nur drei mit langfristigen Prognosezeiträumen, sodass die Informationen zu Aussagen der Prognoserelevanz kognitiver Faktoren als unzureichend gelten. Zwei fußball-spezifische Überblicksarbeiten zur Prognoserelevanz perzeptuell-kognitiver Faktoren deuten in die Richtung potenzieller Relevanz für die zukünftige Leistung (Ivarsson et al., 2020; Murr et al., 2018). Allerdings konnten die Autoren insgesamt nur wenige Studien ($k = 6$) mit kurzen Prognosezeiträumen von teils wenigen Tagen (z. B. O'Connor et al., 2016) inkludieren. Zudem nutzten mit dem Tactical Skills Inventory for Sports (TACSIS; Elferink-Gemser et al., 2004) drei Studien (Forsman et al., 2016; Huijgen et al., 2014; Kannekens, 2011) einen Selbstauskunftsbogen, was vor dem Hintergrund limitierter Zusammenhänge von Selbstauskunftsbögen mit tatsächlicher Kleinfeldspielleistung (Nortje et al., 2014) und Leistung in kognitiven Testverfahren (Heilmann, 2022) kritisch zu betrachten ist. Zusammengefasst weisen die sportartübergreifenden empirischen Ergebnisse auf eine Tendenz hin, dass sport-spezifische kognitive Aufgaben stärkere Expertise-Effekte zeigen als generische kognitive Testverfahren (Kalén et al., 2021; Travassos et al., 2013). In der Praxis werden unabhängig davon generische und sport-spezifische Verfahren im Nachwuchsfußball eingesetzt.

2.1.2.2 Kognitive Diagnostiken in der Praxis

Neben der Identifikation möglicher Prädiktoren sportlicher Höchstleistung stellt die Entwicklung und Überprüfung geeigneter Methoden zu deren Erfassung seit jeher ein zentrales Anliegen der sportwissenschaftlichen Talentforschung dar. Dabei wird das Ziel verfolgt, Diagnostikinstrumente zu entwickeln, die zuverlässig und valide relevante psychologische Faktoren messen (Gabler & Ruoff, 1979; Hohmann & Seidel, 2017; Höner et al., 2020). Insbesondere auch, da in der Sportpsychologie eine fundierte Diagnostik als Grundlage für evidenzbasierte Interventionen gilt (Conzelmann et al., 2022; Hänsel et al., 2022; Höner et al., 2020; Keegan, 2020; Kellmann et al., 2006; Nitsch et al., 2000; Staufenbiel et al., 2019).

Aufgrund der vermehrten Entwicklung und Bereitstellung sportpsychologischer Testverfahren durch die Professionalisierung des Berufsfeldes sowie technologischer Entwicklungen wird die Darstellung kognitiver Diagnostiken durch ausgewählte historische Betrachtungen ergänzt. Aufbauend auf dem verhaltenswissenschaftlichen Ansatz wird in diesem Kapitel der Fokus auf produktorientierte, indirekte Messmethoden¹⁴ zur Erfassung leistungsbezogener kognitiver

¹⁴ Für prozessorientierte, direkte Messmethoden kognitiver Prozesse (wie z. B. fMRT, EEG, fNIRS) sei für einen allgemeinen Überblick auf Birbaumer und Schmidt (2010), für einen sport-spezifischen Überblick auf Seidel-Marzi und Ragert (2020) und Li und Smith (2021) verwiesen.

Faktoren gelegt. Hierunter fallen vor allem Verfahren, die kognitive Prozesse über beobachtbares Verhalten wie Reaktionszeiten und Antwortgenauigkeit erfassen.

Sportpsychologie wurde in den 1920er Jahren als eigenständige wissenschaftliche Disziplin institutionalisiert und systematisiert. Bereits zum Ende des 19. Jahrhunderts wurden jedoch sportpsychologische Fragestellungen wissenschaftlich behandelt (Gould & Voelker, 2014; Nitsch et al., 2000). Ihre theoretischen Grundlagen und methodischen Ansätze bezog sie weitestgehend von der Mutterdisziplin Psychologie (Nitsch et al., 2000). In Anlehnung an die Gründung des ersten psychologischen Laboratoriums durch Wundt 1879 entstand 1920 unter Schulte an der von Diem geleiteten Deutschen Hochschule für Leibesübungen in Berlin das erste sportpsychologische Laboratorium (Lück, 2020; Nitsch et al., 2000). Mit der Professionalisierung durch die Gründung von Berufsverbänden, Kongressen und Fachzeitschriften nahm auch die Entwicklung und Verbreitung standardisierter Messverfahren zu. Zunächst stand dabei die Erfassung von persönlichkeitsbezogenen Faktoren und ihrem Zusammenhang zu sportlicher Leistung im Vordergrund (Morgan, 1980; Conzelmann, 2008). Erst im Rahmen der Entwicklungen der kognitiven Wende (Dember, 1978) rückten neben wahrnehmungsbezogenen auch kognitive Variablen stärker in den Fokus (Morgan, 1980). Diese Professionalisierung des Berufsfeldes sowie die Erschließung weiterer Themenfelder führte zu einem Anstieg der Entwicklung und Nutzung psychologischer Testverfahren im Sport (vgl. Razon & Tenenbaum, 2014; Zhu, 2012)

Parallel zu diesem Anstieg kommerzieller und nicht-kommerzieller Testverfahren wurde gegen Ende des 20. Jahrhunderts die Nutzung psychologischer Tests im Sport diskutiert (Fogarty, 1995; Singer, 1988). Fogarty (1995) beobachtete, dass 8% – 63% der Artikel sportpsychologischer Zeitschriften psychologische Tests nutzen, davon ca. 4% kognitive und ca. 2% wahrnehmungsbezogene Tests. Anshel (1987) und Ostrow (1990, 1996) erstellten jeweils Übersichten psychologischer Testverfahren im Sport¹⁵. Bei Anshel (1987) adressieren von den insgesamt 126 Verfahren neun Verfahren (ca. 7%) kognitive Aspekte, davon vier generisch und vier sport-spezifisch. In der zweiten Auflage berichtet Ostrow (1996) 314 Verfahren, darunter 18 Verfahren (ca. 6%), welche kognitive Aspekte im Sport erfassen (siehe Anhang A für eine Übersichtstabelle der Verfahren). Heute umfasst das Verzeichnis Testverfahren des Leibniz-Instituts für Psychologie insgesamt 8826 „in den deutschsprachigen Ländern angewandte Tests, Skalen, Fragebögen, Interviewmethoden, Beobachtungsmethoden, apparative Testverfahren, Methoden

¹⁵ Diese frühen Übersichten konzentrierten sich vorwiegend auf Selbstauskunftsverfahren. Ostrow (1996) schloss Verhaltensbeobachtungsskalen, psychophysiologische, verhaltensbezogene und neuropsychologische Tests explizit aus. Ebenso wurden die meisten dieser Verfahren ausschließlich bis primär im wissenschaftlichen Kontext eingesetzt. Die Sport-Spezifität wurde meist über modifizierte Items (d.h. Stimuli) erreicht, während die Antwortformate generisch (z. B. Likert-Skalen) blieben.

der computergestützten Diagnostik und diagnostische Instrumente aus allen Bereichen der Psychologie“ (Leibniz-Institut für Psychologie (ZPID), 2025, S. 2). Dort finden sich unter anderem kognitive Verfahren, welche auch in der sportpsychologischen Forschung eingesetzt werden (Tabelle 2).

Tab. 2. Ausgewählte Verfahren zur Messung kognitiver Faktoren aus dem Verzeichnis Testverfahren des Leibniz-Instituts für Psychologie (2025) mit Studienbeispiel im Fußball.

Kategorie	Verfahren	SA/ VB? ⁺	Anwendung Sport
Gedächtnistests	Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery – deutsche Fassung (CANTAB; Sahakian et al., 1988)	VB	Scharfen & Memmert (2021) ^{*#}
Sporttests	Test of Performance Strategies – deutsche Fassung (TOPS-D; Schmid et al., 2010)	SA	Kruk et al., 2017 ^{*#}
Konzentrations-, Aufmerksamkeits- und Vigilanztests	Aufmerksamkeit und Belastungstest d2-R (Brickenkamp et al., 2010)	VB	Sabarit et al., 2020 [*]
	Cognitrone (COG; Schuhfried GmbH; 2021)	VB	Würth et al., 2018 ^{§#}
Mehrdimensionale Intelligenztests	Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC; Wechsler, 2014)	VB	Verburgh et al., 2016 [*]
Neuropsychologi- sche Tests	Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS; Delis et al., 2001)	VB	Huijgen et al., 2015 [*]
	Wisconsin Card Sorting Test (WCST; Heaton et al., 1993)	VB	Han et al., 2011 ^{§#}
Reaktionstests	Determinationstest (DT; Neuwirth & Benesch, 2012)	VB	Beavan, Spielmann et al., 2020 ^{*#}

⁺ SA = Selbstauskunftsverfahren, VB = Verhaltensbezogenes Verfahren. [§]sportartübergreifende Stichprobe inklusive Fußballspieler. ^{*} Nachwuchsfußballspieler. [#] Seniorenfußballspieler.

Einige der ursprünglich als *Paper-Pencil*-Test entwickelten kognitiven Diagnostiken wurden in den vergangenen Jahren in computergestützte Versionen überführt. Dies betrifft beispielsweise den Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest d2-R (Brickenkamp et al., 2010; Schmitz-Atzert & Brickenkamp, 2017):

Die Vorteile einer Computerversion liegen auf der Hand: Für den Testleiter entfällt die Zeitmessung, und die Auswertung erfolgt schnell und zuverlässig per Mausklick. Auswertungsfehler, die beim Auswerten mit Schablonen oder auch mit einem Durchschreibbogen vorkommen können, stellen beim Computertest keine Bedrohung mehr für die Auswertungsobjektivität dar. (Schmidt-Atzert & Brickenkamp, 2017)

Auch die Hersteller komplexer, apparativer Systeme wie dem Wiener Testsystem (WTS) setzen auf standardisierte, faire und objektive Diagnostik.

Der standardisierte Testablauf spart Ihnen nicht nur Zeit, sondern garantiert auch Testergebnisse, die ganz unabhängig von der Testleitung erhoben wurden. Die Sprachenvielfalt

im WTS unterstützt eine faire Testung jeder Testperson. ... Durch die Verwendung der SCHUHFRIED eigenen Ein- und Ausgabegeräte eliminieren Sie außerdem Ungleichheiten aufgrund von Vorerfahrung oder Aversionen hinsichtlich der Nutzung von Computern. (Schuhfried, o. D.-b)

Andere Anbieter nutzen Verfahren aus dem wissenschaftlichen Kontext und übertragen bzw. adaptieren diese in eigene computergestützte Tests. Das in einzelnen Studien dieser Dissertation (*Beitrag 2, Beitrag 5*) eingesetzte Verfahren NeurOlympics beispielsweise hat für drei (der vier) Subtests wissenschaftliche Messinstrumente zur Erfassung des Arbeitsgedächtnis (z. B. Kyllingsbæk & Bundesen, 2009), der kognitiven Kontrolle (z. B. Isoda & Hikosaka, 2007) und der Aufmerksamkeit (z. B. Fan et al., 2005) genutzt und darauf basierend eigene computerbasierte Online-Tests erstellt. Zusammen mit einem Antizipationstest, der nicht auf etablierten Verfahren basiert, wirbt die Firma BrainsFirst mit einer fairen Testung auf neurowissenschaftlicher Basis („game-based assessment powered by Neuroscience. ... Bias-Free“ (BrainsFirst, o. D.).

Neben den genannten Vorteilen computergestützter Testverfahren wurden bereits vor ca. 40 Jahren im Hinblick auf die verbreitete Nutzung computergestützter psychologischer Testverfahren Bedenken formuliert:

... computerized psychological testing systems have the potential of being practical, cost-effective, and psychometrically sound means of assessing individuals.... Before adoption of computerized psychological testing becomes widespread, a number of significant psychometric issues as well as important practical and ethical considerations ... must be addressed. (Burke & Normand, 1987, S. 49)

Die psychometrischen Aspekte betreffen vor allem die Fragen der Reliabilität und Validität, aber auch der Objektivität sowie relevanter Nebengütekriterien wie der Fairness, Zumutbarkeit und Ökonomie. Als praktische und ethische Aspekte sind die verwendeten Geräte sowie das Speichern und Teilen der Daten zu nennen.

Wie in anderen sportwissenschaftlichen Disziplinen (vgl. Willimczik, 2025) gibt es auch im Bereich der Sportpsychologie zudem eine Entwicklung von generischer hin zu sport-spezifischer Erfassung relevanter Variablen. Bezogen auf die angewandte sportpsychologische Arbeit stellten Ziemainz et al. (2006) einen Bedarf sport(art)spezifischer Diagnostik-Instrumente fest. Bis heute werden jedoch viele psychologische Tests im Sport genutzt, welche nicht als sport-spezifisch gelten. Dies gilt sowohl für Selbstauskunftsverfahren (z. B. T-TAIS, Van Schoyck & Grasha, 1981; Anpassung des generischen TAIS von Nideffer, 1976) als auch für die Erfassung

verhaltensbezogener Variablen (z. B. Nutzung des Design Fluency Tests aus dem D-KEFS im Sport ohne Anpassung; Finkenzeller et al., 2021).

Bereits in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts gab es Bestrebungen, fußballspezifische Testverfahren zu entwickeln und zu nutzen. Vanek und Cratty (1970) beschreiben im Buchkapitel *Assessing the athlete through field tests* ihres Buchs *Psychology and the superior athlete* zu der damaligen Zeit genutzte fußballspezifische (perzeptuell-kognitive) Testverfahren (Abbildung 5).

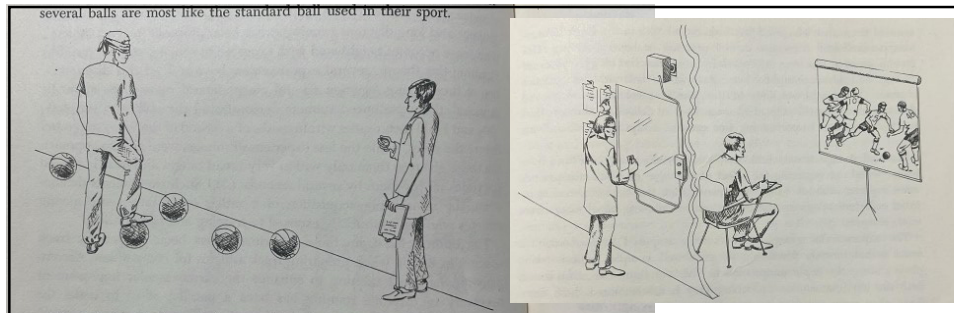


Abb. 5. Fußballspezifische Testverfahren zur Erfassung des Ballgefühls (linke Seite) und des taktischen Verständnisses (rechte Seite) (Bilder aus Vanek & Cratty, 1970, S. 62, 69)

Die technologischen Entwicklungen seit den siebziger Jahren erlauben eine Erfassung – sowohl generischer als auch sport-spezifischer – kognitiver Faktoren in standardisierter, objektiver und automatisierter Form. Neben statischen 2D-Bildern (z. B. Vanek & Cratty, 1970) wurden Videosequenzen bereits um die Jahrhundertwende (z. B. Höner, 2005; Williams & Davids, 1998) eingesetzt und auch heute verwendet (z. B. Furley & Memmert, 2015; Murr et al., 2021). In den letzten Jahren kamen videobasierte und computergenerierte 360°-Inhalte hinzu (z. B. Höner, Dugandzic et al., 2023; Kittel et al., 2019; Rojas Ferrer, 2020). Die Erfassung der Antwort erfolgt vielfältig: verbal (z. B. Höner, Dugandzic et al., 2023), über Mikro-Bewegungen mittels Nutzung eines Joysticks (z. B. Schwab & Memmert, 2024), Einzeichnen auf Tablets (z. B. Musculus, 2018), oder motorische Aktionen mit Bewegungstracker (z. B. Hicheur et al., 2017).

In den letzten Jahrzehnten wurden zudem komplexe apparative Systeme entwickelt, die eine erweiterte Realität in eine 360°-Umgebung kreieren. In diese lassen sich kognitive Verfahren implementieren, denen das Potential zugeschrieben wird, Limitationen klassischer Erfassungssysteme durch eine erhöhte Repräsentativität zu lösen (vgl. Beavan, 2019). Systeme wie die skills.lab Arena (vgl. Dolata et al., 2025), die Helix (vgl. Ehmann et al., 2021) und der Soccer-Bot360 (vgl. Schwab & Memmert, 2024) erzeugen erweiterte Realitäten, die repräsentative visuelle Stimuli und repräsentative motorische Antworten integrieren können. Basierend auf der Klassifikation von Le Noury et al. (2022) zur *extended reality* (XR) lassen sich diese

innovativen Systeme im mittleren Bereich des Spektrums als *extended reality* einordnen, da die analoge Welt nicht komplett ausgeblendet wird, es allerdings auch nicht zu einem nahtlosen Übergang zwischen analoger und virtueller Welt kommt. Die Nutzung von Head-mounted displays (HMD) für die Darstellung von 360°-Umgebungen sind sowohl videobasiert (z. B. Höner, Dugandzic et al., 2023) als auch computergeneriert (z. B. Wood et al., 2021) auf der Achse links zu klassifizieren, da die analoge Welt weitgehend ausgeblendet wird (siehe Abbildung 6).

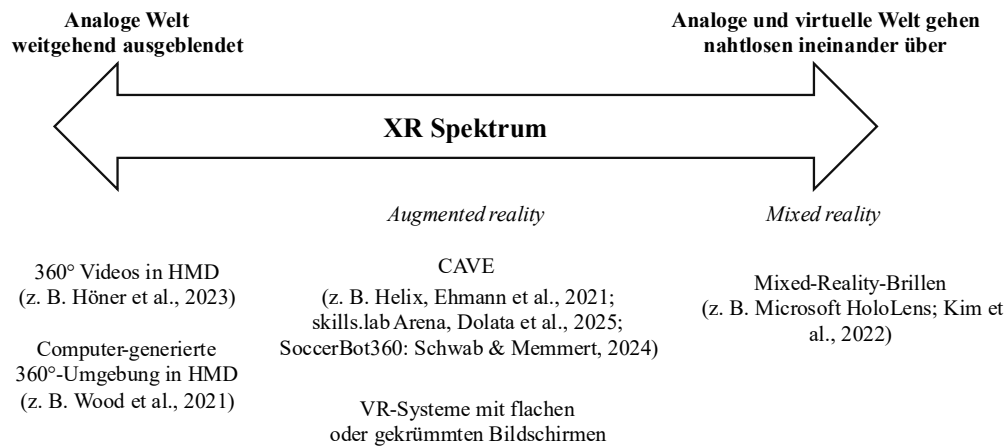


Abb. 6. Klassifikationssystem von Methoden innerhalb des Spektrums der erweiterten Realität (*extended reality, XR*) (übersetzt und modifiziert nach Le Noury et al., 2022, S. 1475)

Notiz. *Mixed reality* bedeutet, dass virtuelle Objekte mit Objekten aus der realen Welt auf eine natürliche Weise interagieren und nahtlos ineinander übergehen. Nutzer können mit diesen virtuellen Objekten physisch interagieren. Virtuelle und reale Objekte ‚koexistieren‘ (Le Noury et al., 2022).

In Bezug auf die Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren lassen sich folglich vier spezifische Entwicklungen beobachten:

1. *Digitalisierung klassischer Tests.* Der Übergang von analogen *Paper-Pencil* Verfahren zu digital durchgeführten Tests ermöglicht standardisierte, versuchsleiterunabhängige und präzisere sowie automatisiert auswertbare Erhebungen verhaltensbezogener Merkmale wie Reaktionszeit und Antwortgenauigkeit (vgl. Kessel, 2019; Mead & Drasgow, 1993).
2. *Internetbasierte Diagnostiksysteme.* (Kommerzielle) webbasierte Plattformen erlauben eine orts-, zeit- und versuchsleiterunabhängige Durchführung auf verschiedenen Geräten (PC, Laptop, Tablet) (vgl. Harris et al., 2018).
3. *Virtuelle Realität.* Kognitive Funktionen lassen sich mittels computergenerierter Szenarien oder realer Videoaufnahmen sport-spezifisch (bezogen auf die Stimuli) über virtuelle Realität in HMD erfassen (vgl. Fadde & Zaichkowsky, 2018; Kittel et al., 2024; Le Noury et al., 2022).

4. *Innovative stationäre System.* Stationäre Systeme mit LED-Leinwänden oder Projektoren kreieren eine erweiterte Realität, in der fußball-spezifische Antworten integriert und über Motion Capture Systeme erfasst werden (vgl. Beavan, 2019; Kittel et al., 2024; Le Noury et al., 2022).

Diese technologischen Fortschritte beanspruchen für sich eine standardisierte, objektive und zuverlässige Testung relevanter kognitiver Leistungsfaktoren. Obwohl viele dieser neuen Testverfahren auf etablierten wissenschaftlichen Methoden und Ansätzen beruhen, werden typische Anforderungen an solche Testverfahren (z. B. Diagnostik- und Testkuratorium, 2024; Höner & Roth, 2002; Kersting, 2018; Moosbrugger & Kelava, 2020; Weakley et al., 2024) nicht erfüllt. Dies betrifft neben allgemeinen psychometrischen Eigenschaften auch die Prüfung der Validität im Anwendungskontext des Sports (vgl. Finkenzeller et al., 2021).

Überblick kognitiver Diagnostiken

Wie in den vorherigen beiden Abschnitten deutlich geworden ist, gibt es eine Vielzahl an kognitiven Diagnostiken, die sich in Bezug auf (i) die Sport-Spezifität der Stimuli, (ii) die Sport-Spezifität der Antwort, und (iii) die verwendete Technologie klassifizieren lassen. In Tabelle 3 sind in der Forschung und Praxis eingesetzte kognitive Testverfahren anhand der drei Merkmale klassifiziert. Außerdem wird das erfasste Konstrukt, die Art der erfassten Variablen sowie der Testaufbau inklusive der Testdauer dargestellt.

Tab. 3. Exemplarischer Überblick über Merkmale und verwendete Technologien ausgewählter kognitiver Diagnostiken im Fußball.

Name	Technologie	Erfasste Merkmale [§]	Variablen	Aufbau	Stimuli	Antwort
Design Fluency Test (als Teil des D-KEFS)	Paper-Pencil	Non-verbale Flüssigkeit (Kreativität, simultane Verarbeitung, Inhibition, kognitive Flexibilität)	Anzahl korrekter Antworten, Anzahl fehlerhafter Antworten, Anzahl wiederholter Antworten	Drei Einzeltests Dauer: 60 Sekunden pro Test	Generisch: Gefüllte und nicht ausgefüllte Kreise	Generisch: Linien zeichnen
Aufmerksamkeits-Belastungs-Test d2	Paper-Pencil (Seit 2017 auch am PC, Laptop oder Tablet)	Konzentrierte Aufmerksamkeit	Antwortkorrektheit, Anzahl Fehler, Anzahl ausgelassener Items	Ein Test Dauer: Vier Minuten, 40 Sekunden (<i>Paper-Pencil</i>), fünf Minuten (PC, Laptop oder Tablet)	Generisch: d und p mit einem, zwei, drei oder vier Strichen.	Generisch: Ankreuzen (<i>Paper-Pencil</i>), Anklicken (PC, Laptop oder Tablet)
Athlete Intelligence Quotient (AIQ)	PC, Laptop oder Tablet	Visuell-räumliche Verarbeitung, Lerneffizienz, Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, Reaktionszeit	Norm-IQ-Skala für Gesamtest, erfasste Merkmale und Einzeltests	Zehn Einzeltests Dauer: ca. 35 Minuten	Generisch: Nummern, Formen, Bilder	Generisch: Tastendruck, Fingerbewegungen auf Bildschirm/mit Maus
NeuroTracker (3D Multiple Object Tracking; 3D-MOT)	PC, Laptop, oder Tablet	Aufmerksamkeit und Fokus, mentale Verarbeitungsgeschwindigkeit, dauerhafte Aufmerksamkeit, logisches Denken	Gesamtscore basierend auf Antwortkorrektheit und Darstellungsgeschwindigkeit	20 Durchgänge mit variierender Darstellungsgeschwindigkeit (basierend auf Antwortkorrektheit)	Generisch: Kugeln im 3D-Raum	Generisch: Tastendruck
<i>NeurOlympics</i>	<i>PC, Laptop oder Tablet</i>	<i>Arbeitsgedächtnis, Antizipation, Kognitive Kontrolle, Aufmerksamkeit</i> Globalmaß: ‚Fußballintelligenz‘	<i>Punkte basierend auf Richtigkeit, Schnelligkeit und Timing</i>	<i>Vier Einzeltests</i> Dauer: ca. 45 Minuten	<i>Generisch: Neuronen</i>	<i>Generisch: Tastendruck</i>
<i>Determinations-test</i>	<i>Wiener Testsystem</i>	<i>Reaktive Stresstoleranz⁺</i>	<i>Reaktionszeit und Antwortgenauigkeit</i>	<i>Ein Test</i> Dauer: Vier Minuten	<i>Generisch: Visuell (Farben, Felder) und auditiv (Töne)</i> <i>Spezifisch:</i>	<i>Generisch: Tasten- und Fußpedalendruck</i>
<i>360°-Videoentscheidungstest</i>	<i>HMD</i>	<i>Entscheidungskompetenz</i>	<i>Antwortgenauigkeit</i>	<i>Ein Test, 2 x 27 Videos</i> Dauer: ca. 30 Minuten	<i>360°-Videos von 6 vs. 6 Sequenzen einer U19</i>	<i>Generisch: Verbal</i>
Be Your Best Cognitive Assessment Tool (BYBCAT)	HMD	Arbeitsgedächtnis, Mustererkennung, Inhibition Vororientierung Entscheidungskompetenz	Reaktionszeit, Antwortgenauigkeit	Drei Testarten in einem Gesamtest Dauer: ca. 10 Minuten	Spezifisch: Computer-generierte Fußballer-Avatare in einem 11 vs. 11 (männlich, weiblich)	Generisch: Tastendruck und Richtungsanzeige mit einem Controller

Name	Technologie	Erfasste Merkmale [§]	Variablen	Aufbau	Stimuli	Antwort
REZZIL Virtual Reality Soccer Drills	HMD & Motion Tracker	Leistungsvariablen: Rondo-Scan, Farben-Kombo, Schulter-Summe, Druckpass Prozessvariablen: Passgenauigkeit, Beherrschung, Reaktionszeit, Anpassungsfähigkeit Globalmaß: REZZIL Index	Vororientierung, Reaktionszeit, Passgenauigkeit	Vier Einzeltests Dauer: ca. 30 Minuten	Spezifisch: Computer-generierte Fußballer-Avatare	Spezifisch: Pässe mit virtuellen Schuhen (Sensoren an Füßen und Schienbein)
Pass-Test	COGNIT-FOOT	Kognitiv-motorische Leistung (inkl. Antizipation)	Reaktionszeit, Passgenauigkeit (räumlich), Globaler Passleistungsindex	32 Durchgänge / Pässe Dauer: ca. 7 Minuten	Generisch: Kreise (weiß, gelb) [#]	Spezifisch: Pass
3D-MOT	skills.lab Studio (Helix)	Anhaltende Aufmerksamkeit, Konzentration	Antwortgenauigkeit	Ein Test mit 30 Durchgängen Dauer: ca. 10 Minuten	Leicht spezifisch*: Personen, die zufällig durcheinander laufen	Generisch: Tastendruck und Richtungsanzeige mit einem Controller
Psychomotorischer Test	skills.lab Arena	Sprint, Dribbling, Passspiel, Überblick, Torschuss Globalmaß: Gesamtwert	Reaktionszeit, Antwortgenauigkeit	Fünf Einzeltest (je 2x) Dauer: ca. 10 Minuten	Generisch: Sprint, Dribbling (Kreise auf dem Boden) Spezifisch: Passspiel, Überblick, Torschuss (computer-generierte Spieler und Torhüter)	Spezifisch: Laufen bzw. Dribbeln mit Ball, Passspiel bzw. Torschuss
<i>(adaptierte) Nummer-Letter-Task</i>	<i>SoccerBot360</i>	<i>Kognitive Flexibilität</i>	<i>Reaktionszeit, Antwortgenauigkeit</i>	<i>Zwei Testblöcke á 56 Durchgänge Dauer: ca. 6 Minuten</i>	<i>Generisch: Nummern und Buchstaben in einer 2x2 Matrix</i>	<i>Spezifisch: Pass</i>
<i>(adaptierte) Flanker-Aufgabe</i>	<i>SoccerBot360</i>	<i>Inhibition</i>	<i>Reaktionszeit, Antwortgenauigkeit</i>	<i>Zwei Testblöcke á 54 Durchgänge Dauer: ca. 6 Minuten</i>	<i>Pseudo-Spezifisch: Computer-generierte Fußballer-Avatare**</i>	<i>Spezifisch: Pass</i>

Notiz. Es handelt sich um eine Auswahl von Verfahren und Technologien, die im Sport bzw. Fußball-Kontext genutzt wurden und werden und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die *kursiv markierten* Diagnostiken wurden im Rahmen der vorliegenden Promotion eingesetzt. [§] laut Herstellerangaben, ⁺ manchmal auch Reaktionsfähigkeit genannt, [#] die Stimuli könnten auch als ansatzweise spezifisch gelten, da die dargestellten Kreise einem Fußball nachempfunden sind. * die Formulierung *leicht spezifisch* wurde gewählt, da es sich um digitale Avatare auf Basis von 1,80 großen Personen handelt (visuell spezifisch), diese sich allerdings zufällig bewegen (verhaltensbezogen wenig spezifisch), ** die Formulierung *pseudo-spezifisch* wurde gewählt, da zwar die Avatare Fußballer darstellen (visuell spezifisch), diese allerdings statisch nebeneinander dargestellt sind (verhaltensbezogen unspezifisch) (vgl. Le Noury et al., 2022)

2.2 Empirische Relevanz ausgewählter kognitiver Leistungsfaktoren im Nachwuchsleistungsfußball

Hinsichtlich der empirischen Relevanz kognitiver Leistungsfaktoren zeigen sich sportartübergreifend inkonsistente Ergebnismuster (vgl. Kapitel 2.1.2.1). Zudem gibt es Hinweise darauf, dass die Effekte in Sportspielen (wie bspw. Fußball) bei generischen kognitiven Funktionen kleiner ausfallen (vgl. Logan et al., 2023; Voss et al., 2010). In den letzten Jahren wurden vermehrt empirische Arbeiten publiziert, welche kognitive Leistungsfaktoren im Nachwuchsleistungsfußball betrachten. Dies betrifft insbesondere die zentralen exekutiven Funktionen (Arbeitsgedächtnis, Inhibition, Kognitive Flexibilität; Diamond, 2013; Miyake, 2000), Antizipation und Aufmerksamkeit (als visuell-perzeptuelle und perzeptuell-kognitive Funktionen; vgl. Scharfen & Memmert, 2019a) sowie Entscheidungskompetenz.

2.2.1 Exekutive Funktionen

Exekutive Funktionen gelten als kognitive Vorgänge höherer Ordnung, welche mehrere miteinander verbundene und dennoch als separat geltende kognitive Funktionen umfassen, die maßgeblich an der zielgerichteten Selbstregulierung von Kognitionen, Verhalten und Emotionen beteiligt sind (Diamond, 2013; Karr et al., 2022; Miyake, 2000). Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den zentralen exekutiven Funktionen, zu denen das Arbeitsgedächtnis, die Inhibition und die kognitive Flexibilität gezählt werden (Diamond, 2013).

Arbeitsgedächtnis beschreibt die Fähigkeit, Informationen aktiv im Kopf zu behalten und mental mit ihnen zu arbeiten, d. h. mit Informationen zu arbeiten, die nicht mehr wahrnehmbar sind. Es unterscheidet sich vom Kurzzeitgedächtnis insofern, dass es nicht nur (aufgabenrelevante) Informationen im Kopf behält, sondern *auch* mit ihnen arbeitet und sie manipuliert (Baddeley, 2007; Diamond, 2013; Furley & Memmert, 2010). Empirische Studien im Fußball zeigen uneinheitliche Ergebnisse bezüglich der Relevanz des Arbeitsgedächtnisses. Einige Arbeiten finden keine Leistungsunterschiede zwischen talentierten und weniger talentierten Nachwuchsfußballern (Baláková et al., 2015; Huijgen et al., 2015; Verburgh et al., 2014). Andere Studien berichten gruppenbezogene Unterschiede zugunsten von Jugendfußballern im Vergleich zu Nicht-Fußballern bzw. Nicht-Sportlern (Verburgh et al., 2016) und, dass talentierte Jugendfußballer besser abschneiden als eine altersspezifische Norm (Vestberg et al., 2017). Auch hinsichtlich sport-spezifischer Leistungsparameter zeigen sich gemischte Befunde. Positive Zusammenhänge werden zur Anzahl der Tore über einen Zeitraum von zwei Jahren (Vestberg et al., 2017), zur vom Trainer eingeschätzten Spielintelligenz und Spielzeit (Scharfen & Memmert, 2021), zur Leistung in Dribbling, Ballkontroll- und Jongliertests (Scharfen & Memmert,

2019b), zur Qualität der als erstes generierten Option und der Entscheidung in einem fußball-spezifischen Entscheidungstest (mit und ohne Zeitdruck) (Heisler et al., 2023), sowie zur Leistung in einem fußball-spezifischen feldbasierten Test (Schumacher et al., 2024) berichtet. Andere Ergebnisse deuten in die Richtung, dass es keinen Zusammenhang der Arbeitsgedächtniskapazität mit subjektiver und objektiver fußballbezogener Leistung (Radke et al., 2023), zur Spielleistung in Kleinfeldspielen (Heilmann et al., 2022) sowie zur Passquote und -fehlern in einem fußballspezifischen feldbasierten Test (Schumacher et al., 2024) gibt. In einem sportarten-, geschlechts- und altersübergreifenden Review zeigen Seidel-Marzi et al. (2025), dass Arbeitsgedächtnisleistung (tendenziell) mit taktischer Entscheidungskompetenz, nicht aber mit kreativer oder *in-situ* Entscheidungskompetenz zusammenhängt.

Inhibition (gleichbedeutend mit exekutiver Aufmerksamkeit und selektiver oder fokussierter Aufmerksamkeit) bezeichnet die Fähigkeit, dominante Reaktionen, Gedanken und/oder Impulse zu unterdrücken, um situationsangemessenes Verhalten zu ermöglichen (Diamond, 2013). Es existieren mehrere Studien, die einen Expertise-Effekt zugunsten von talentierten Fußballern im Vergleich zu Amateurspielern oder Nicht-Fußballern in Bezug auf die Leistung in Inhibitions-Tests berichten (Huijgen et al., 2015; Verburgh et al., 2014; Verburgh et al., 2016), während andere dies nur für inkongruente Durchgänge einer Flanker-Aufgabe zeigen (Sakamoto et al., 2018). Bezüglich des Zusammenhangs zu sport-spezifischer Leistung existieren uneindeutige Ergebnisse. Während es Hinweise gibt, dass die Leistung in einem Inhibitionstest (zusammen mit dem chronologischen Alter) einen signifikanten Anteil der Varianz einer Leistungsbeurteilung erklären kann (Heilmann et al., 2022), sind auch fehlende Zusammenhänge zu objektiver und subjektiver fußballerischer Leistung dokumentiert (Radke et al., 2023). Weitere Studien zeigen, dass zwar ein Zusammenhang zur benötigten Zeit für die Generierung der ersten Option unter Zeitdruck, aber kein Zusammenhang zu anderen Variablen eines Entscheidungstests (Heisler et al., 2023) und kein Zusammenhang zur trainereingeschätzten Spielintelligenz (Scharfen & Memmert, 2021) existiert. Seidel-Marzi et al. (2025) konnten in ihrem Review zeigen, dass Leistungen in Inhibitionstests mit taktischer und reaktiver Entscheidungskompetenz, nicht aber mit *in-situ* Entscheidungskompetenz zusammenhängt.

Kognitive Flexibilität (auch Aufmerksamkeitswechsel oder Aufgabenwechsel) beschreibt die Fähigkeit, zwischen mehreren Aufgaben, Operationen oder mentalen Sets hin- und herzuwechseln. Sie spiegelt nicht einfach die Fähigkeit wider, geeignete Aufgaben als solche zu aktivieren oder zu deaktivieren, sondern kann auch (oder sogar stattdessen) die Fähigkeit beinhalten, eine neue Handlung angesichts proaktiver Interferenz oder negativen Primings durchzuführen (Miyake et al., 2000). Kognitive Flexibilität baut auf den anderen beiden zentralen exekutiven

Funktionen auf (Diamond, 2013). Auch für kognitive Flexibilität finden sich im Nachwuchsfußball inkonsistente Ergebnisse: Während einige Studien einen Expertise-Effekt zugunsten talentierter als weniger talentierter Jugendfußballer zeigen (z. B. Huijgen et al., 2015), berichten andere keine Unterschiede (z. B. Baláková et al., 2015). Auch im Erwachsenenbereich scheint es für komplexere Aufgaben einen Expertise-Effekt zu geben, der bei weniger komplexen Aufgaben allerdings nicht mehr gefunden wird (Vestberg et al., 2012). Ebenfalls konnte ein Zusammenhang zu (Teilen) der Leistung in fußballbezogenen Feldtests (Schumacher et al., 2024) und trainereingeschätzter Spielintelligenz (Scharfen & Memmert, 2021) gezeigt werden, während andere berichten, dass der Zusammenhang zur objektiven und subjektiven Leistung im Fußball unter Berücksichtigung des Alters verschwindet (Radke et al., 2023). Seidel-Marzi et al. (2025) zeigen in ihrem Review, dass Leistungen in Tests zur kognitiven Flexibilität mit taktischer Entscheidungskompetenz, nicht aber mit *in-situ* Entscheidungskompetenz zusammenhängt.

Die drei zentralen exekutiven Funktionen, unter ihnen insbesondere Inhibition, scheinen im Nachwuchsleistungsfußball grundsätzlich bedeutsam zu sein, wenngleich empirische Studien für alle drei zentralen exekutiven Funktionen inkonsistente Ergebnismuster zeigen. Die Nutzung verschiedener Testverfahren, die Heterogenität der Stichproben sowie einer Vielzahl unterschiedlicher Kriteriumsvariablen schränkt die Vergleichbarkeit der Ergebnisse ein. Auch die Rolle des Alters scheint nicht in allen Studien vollumfänglich berücksichtigt zu werden.

Exekutive Funktionen entwickeln sich im Laufe der Kindheit und der Adoleszenz mit zunehmendem *chronologischen Alter* (vgl. Best & Miller, 2010; Huizinga et al., 2006; Karr et al., 2022). Auch wenn sich die Entwicklungsverläufe der einzelnen exekutiven Funktion teils unterscheiden (vgl. Huizinga et al. 2006), scheint es eine negativ akzelerierte Verbesserung exekutiver Funktionen vom Kindesalter an mit einem Plateau im frühen Erwachsenenalter zu geben (vgl. Best & Miller, 2010; Karr et al., 2022). Dabei scheint insbesondere in der Phase des späten Kindesalters und der Adoleszenz (12 – 15 Jahren) eine schnelle Entwicklung vorzuliegen, die bis in das junge Erwachsenenalter in geringerer Geschwindigkeit voranschreitet (Huizinga et al., 2006; Karr et al., 2022; Zelazo & Müller, 2002). Im Nachwuchsleistungsfußball liegen vergleichbare altersbedingte Entwicklungen und Unterschiede vor (Beavan, Spielmann, Mayer et al., 2019; Beavan, Spielmann et al., 2020). Konkret zeigt sich, dass das chronologische Alter einen relevanten Einfluss auf die Leistung von Nachwuchsfußballern in Aufgaben zum Arbeitsgedächtnis (z. B. Heilmann et al., 2023; Verburch et al., 2016), zur Inhibition (z. B. Beavan, Spielmann, Mayer et al., 2019; Heisler et al., 2023) und kognitiven Flexibilität (z. B. Heisler et al., 2023; Heilmann et al., 2023) hat. Außerdem berichten weitere Studien, dass der Zusammenhang zwischen exekutiven Funktionen und fußball-spezifischen Leistungsparametern

durch das Alter beeinflusst wird (Heilmann et al., 2022) oder sogar verschwindet, wenn für das Alter kontrolliert wird (Radke et al., 2023). Aus diesen Gründen ist die Berücksichtigung des chronologischen Alters als Einflussgröße in Studien zu kognitiven Leistungsfaktoren bei Kindern und Jugendlichen notwendig (vgl. Kalén et al., 2021).

2.2.2 Antizipation und Aufmerksamkeit

Im Rahmen visuell-perzeptueller Fertigkeiten wird Antizipation (Roca et al., 2012) und im Rahmen perzeptuell-kognitiver Fertigkeiten wird Aufmerksamkeitsprozessen (Memmert et al., 2024) aufgrund ihrer Bedeutung für Entscheidungsprozesse eine Relevanz im Nachwuchsleistungssport zugeschrieben (Williams et al., 2020).

Antizipation bezeichnet die Fähigkeit eines Individuums, das wahrscheinlichste Ergebnis eines Ereignisses vorherzusehen, bevor es eintritt (Gonçalves et al., 2015; Höner et al., 2020; Williams et al., 2011). Im Fußball bedeutet dies, die Aktionen von Gegnern, Mitspielern und die Bewegung des Balls zu antizipieren. Dies ist insbesondere in Situationen mit hohem Zeit- und Handlungsdruck relevant (Williams & Jackson, 2019). Zur Erfassung von Antizipation im Sport kommen häufig Videosequenzen in Kombination mit zeitlicher und/oder visueller Okklusion zum Einsatz (Gonçalves et al., 2015; Höner et al., 2020). Zusätzlich werden neue Technologien wie Eye-Tracking-Methoden zur Erfassung der visuellen Suchstrategie eingesetzt (z. B. Roca et al., 2011). Im Fußball konnte wiederholt (z. B. Reilly et al., 2000; Ward et al., 2013; Ward & Williams, 2003) gezeigt werden, dass höherklassige Spieler bessere Ergebnisse in sport-spezifischen Antizipationstests zeigen als Amateur-Spieler oder weniger erfahrene Spieler (Gonçalves et al., 2015). Eine Studie deutet darauf hin, dass dieser Expertise-Effekt möglicherweise auch für ausgewählte Leistungsvariablen (der Bewegungs-, nicht der Zeitantizipation) in generischen Antizipationstest gelten könnte (Baláková et al., 2015). Generell scheint es uneindeutig zu sein, inwiefern das chronologische Alter zur Erfassung der sport-spezifischen (Gonçalves et al., 2015) und generischen (z. B. Schumacher et al., 2018) Antizipation relevant ist mit Hinweisen darauf, dass die Zeit und Erfahrung im Sporttraining einen relevanten Einfluss zu haben scheint (Roca et al., 2012).

Aufmerksamkeit „bezieht sich auf die Zuwendung von Verarbeitungsressourcen zu bestimmten Orten, Objekten oder Zeitpunkten, die mit einer Verstärkung der Wahrnehmung dieser Orte, Objekte oder Zeitpunkte einhergeht“ (Memmert et al., 2020, S. 16). Sportartübergreifend gibt es Erkenntnisse, die einen Expertise-Vorteil zugunsten professioneller Athleten im Vergleich zu weniger erfahrenen oder Nicht-Athleten dokumentiert haben (z. B. Abernethy und Russell, 1987; Memmert, 2006; Pesce-Anzeneder & Bösel, 1998; Williams et al., 1994; Williams &

Grant, 1999). Auch im Fußball finden sich Studien, die einen Expertise-Vorteil zugunsten talentierter bzw. erfahrener Fußballspieler im Vergleich zu weniger talentierten bzw. weniger erfahrenen Fußballspielern zeigen (z. B. Verburch et al., 2016; Vestberg et al., 2012). Dies gilt allerdings nicht für alle aufmerksamkeitsbezogenen Variablen (Verburch et al., 2016) und nur für Aufgaben zur Erfassung exekutiver Funktionen, die *auch* eine hohe Aufmerksamkeitskontrolle benötigten (Vestberg et al., 2012). Ebenso gibt es Hinweise auf die Relevanz aufmerksamkeitsbezogener Prozesse für fußballbezogene Parameter (Scharfen & Memmert, 2019b) und Spielleistungen (z. B. de Andrade et al., 2020; Memmert et al., 2024), allerdings nicht für trainereingeschätzte Spielintelligenz (Scharfen & Memmert, 2021). Das kalendarische Alter scheint auch für aufmerksamkeitsbezogene Leistungen im Nachwuchsfußball relevant zu sein (Klatt & Smeeton, 2022; Schumacher et al., 2018). Seidel-Marzi et al. (2025)¹⁶ zeigen in ihrem sportarten-, geschlechts- und altersübergreifenden Review, dass Leistungen in Aufmerksamkeitstest mit allen Formen sportlicher Entscheidungskompetenz – taktischer, kreativer, reaktiver und *in-situ* – zusammenhängt.

2.2.3 Entscheidungskompetenz

Entscheidungskompetenz umfasst die „Fähigkeiten und Fertigkeiten einer Sportlerin oder eines Sportlers, in sportlichen Handlungssituationen unter Zeit-, Präzisions- und Komplexitätsdruck situationsspezifisch die jeweils beste Handlungsabsicht zur optimalen Nutzung ihrer bzw. seiner eigenen Voraussetzungen auszuwählen“ (Höner et al., 2020, S. 21). Sportartenübergreifend zeigen Travassos et al. (2013) einen Expertise-Effekt in Entscheidungstests. Dieser fällt am höchsten aus bei sport-spezifischen Antworten sowie unter (feldbasierten) *in situ* Bedingungen. Auch im Fußball zeigt eine Vielzahl laborbasierter Querschnittsstudien, dass talentierte oder erfahrene Spieler in videobasierten Entscheidungstests besser abschneiden als weniger talentierte oder weniger erfahrene Spieler (z. B. Höner, 2005; O’Connor et al., 2016; Vaeyens et al., 2007; Ward et al., 2013; Ward & Williams, 2003). Dazu kommen in den letzten Jahren vermehrt Studien, die video-basierte Entscheidungstest oder computergenerierte virtuelle Realität auch in 360°-Umgebungen präsentieren (siehe Jia et al., 2024 für einen sportartübergreifenden Überblick) und Expertise-Unterschiede berichten (z. B. Höner, Dugandzic et al., 2023). Auch für Entscheidungskompetenz werden Technologien des Eye-Trackings punktuell verwendet (vgl. Hosp et al., 2021). Seidel-Marzi et al. (2025) klassifizieren Entscheidungstest in vier Kategorien: taktisch, kreativ, reaktiv, feldbasiert. Für alle Arten konnten sie in ihrer Übersichtsarbeit einen Zusammenhang zu den zentralen exekutiven Funktionen und Aufmerksamkeit zeigen,

¹⁶ Bei Seidel-Marzi et al. (2025) wird *Attention* als eine der zentralen exekutiven Funktionen betrachtet.

allerdings auch dass einige Studien keinen Zusammenhang der zentralen exekutiven Funktionen mit feldbasierter Entscheidungskompetenz finden. Fußball-spezifische kognitive Leistungsfaktoren wie Entscheidungskompetenz entwickeln sich nicht nur durch voranschreitendes Alter, sondern auch maßgeblich durch die Erfahrung im Sport (vgl. Klatt & Smeeton, 2022; McMorris et al., 2006; Silva et al., 2020; Williams & Davids, 1998). Zusammenfassend zeigen sich konsistente Expertise-Effekte für Entscheidungstests, die tendenziell größer ausfallen, je repräsentativer die Testumgebung ist (vgl. Travassos et al., 2013).

2.3 Forschungsdesiderate

Die Forschungsdesiderate dieser Dissertation ergeben sich aus diversen Beobachtungen. Im Nachwuchsleistungsfußball werden häufig (kommerzielle) Testverfahren zur Erfassung kognitiver Funktionen verwendet und medial über diese berichtet. Die Auswahl dieser Diagnostiken scheint teils auf Basis der Augenscheinvalidität (vgl. Würth et al., 2018) oder Aspekten der sozialen Bewährtheit (vgl. Cialdini, 2017; Fransen, 2024) zu fußen. Kognitive Funktionen besitzen eine grundsätzliche Relevanz im Fußball (vgl. Höner, 2005; Memmert, 2005; Williams et al., 2020), mit sportartübergreifenden Hinweisen darauf, dass Verfahren zur Erfassung sport-spezifischer Funktionen solcher zur Erfassung generischer Funktionen diagnostisch überlegen sind (vgl. Kalén et al., 2021; Travassos et al., 2013). Auch im Nachwuchsleistungsfußball zeigen sich inkonsistente Ergebnismuster hinsichtlich der diagnostischen Relevanz generischer kognitiver Funktionen im Experten-Novizen-Paradigma (z. B. Verburgh et al., 2014) und des Zusammenhangs zu sport-spezifischen kognitiven Merkmalen (z. B. Heisler et al., 2023). Zudem existieren im Fußball zu wenige Studien hinsichtlich der Prognoserelevanz kognitiver Funktionen (vgl. Ivarsson et al., 2020; Murr et al., 2018; Williams et al., 2020). Die Vergleichbarkeit der empirischen Befunde ist durch die Heterogenität der Designfeatures (verwendete Testverfahren, Stichproben, Kriteriumsvariablen) eingeschränkt. Zudem existieren keine Studien, welche innerhalb einer Stichprobe eine vergleichende Evaluation generischer und fußball-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren vornimmt. Zuletzt sind neu entwickelte und in der Praxis genutzte (kommerzielle) kognitive Diagnostiken nicht unabhängig wissenschaftlich evaluiert, was insbesondere hinsichtlich möglicher direkter Auswirkungen auf Nachwuchsspieler im Rahmen der Talentdiagnostik problematisch ist (vgl. Finkenzeller et al., 2021).

2.3.1 Zusammenarbeit zwischen forschender und nicht-forschender Berufspraxis

Die Akteure der nicht-forschenden Berufspraxis im Nachwuchsleistungsfußball stehen angesichts der durch technologische Fortschritte größer gewordenen Anzahl (kommerzieller) kognitiver Testverfahren vor der herausfordernden Aufgabe zu entscheiden, ob und wenn ja, welche

Verfahren sie einsetzen möchten. Dabei ist die Schnittmenge der am Markt aktiv angebotenen kognitiven Diagnostiken und der wissenschaftlich evaluierten und geprüften Verfahren auch aufgrund der rapiden technologischen Entwicklung klein. So kann der Eindruck entstehen, dass die nicht-forschende Praxis entgegen wissenschaftlichen Empfehlungen handelt. Während in der wissenschaftlichen Diskussion vor der Nutzung generischer kognitiver Testverfahren im Rahmen der Talentdiagnostik gewarnt wird (vgl. Beavan, Spielmann et al., 2020; Höner et al., 2020; Kalén et al., 2021), verwenden Vereine wie AZ Alkmaar oder PSV Eindhoven mit NeurOlympics ein solches Verfahren zur Talentdiagnostik (PSV Eindhoven, 2022; Rausch, 2023)¹⁷. Obwohl diese Unternehmen ihre Testverfahren als „wissenschaftlich fundiert“ (Schuhfried, 2025) oder mit „Nachweis ... im Rahmen wissenschaftlicher Studien“ (Umbrella Software Development, 2025) beschreiben, liegen oft keine unabhängigen Prüfungen oder unzureichende Informationen der psychometrischen Eigenschaften vor (vgl. Harris et al., 2018 für kommerzielle kognitive Trainingsinstrumente). Gerade angesichts des potenziellen direkten Einflusses auf Karrierewege junger Spieler, ist eine empirisch gestützte, erkenntnisorientierte Anwendungsforschung notwendig, die im Sinne des gruppenbasierten *scientist-practitioner*-Ansatzes (Schinke et al., 2024) auf einer kooperativen und kompromissbereiten Zusammenarbeit mit Sportorganisationen und Unternehmen als nicht-forschende Berufspraxis fußt (vgl. Herrmann, 1994; Höner, 2008; Stokes, 1997; Willimczik, 2003).

2.3.2 Psychometrische Eigenschaften verwendeter (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken

Neue technologische Entwicklungen haben zu computerbasierten kognitiven Diagnostiken (z. B. NeurOlympics) sowie innovativen Systemen, in die kognitive Testverfahren implementiert werden können (z. B. SoccerBot360), geführt. Aufgrund dieses rapiden Fortschritts außerhalb von universitären Einrichtungen werden vielfach klassische Anforderungen an (sport)psychologische Testverfahren (vgl. Anshel & Brinthaup, 2014; Beavan, 2019; Diagnostik- und Testkuratorium, 2024; Fogarty; 1995; Höner & Roth, 2002; Weakley et al., 2024) im Sport nicht erfüllt oder nicht dokumentiert. Entsprechend wird davor gewarnt, (kommerzielle) kognitive Diagnostiken ausschließlich aufgrund von Augenscheinvalidität einzusetzen (vgl. Würth et al., 2018). Daran anschließend wird gefordert, für die Nutzung psychologischer Diagnostiken im Sportkontext eine unabhängige Prüfung psychometrischer Eigenschaften der Reliabilität und Validität *im* Sportsetting vorzunehmen, da diese Verfahren außerhalb des ursprünglichen

¹⁷ In einem Beitrag von *Sky Sport News* mit dem Titel *How PSV are using brain testing to find elite talent* wird der Einsatz vom generischen Testverfahren NeurOlympics in der Nachwuchsakademie von PSV Eindhoven beleuchtet. Der leitende Sportwissenschaftler Jurrit Sanders berichtet dem Moderator Sam Obaseki, der einen Gesamtwert im Football Intelligence Score von 37 erreicht hat: „So, based on this number, I would recommend to not take you [as a player for our academy]“ (05:34) (Sky Sport News, 2023).

Kontexts eingesetzt werden (Anshel & Brinthead, 2014; Beavan, 2019; Burke & Normand, 1987; Finkenzeller et al., 2021; Fogarty, 1995; Furley et al., 2023; Impellizzeri & Marcora, 2009; Kilger & Blomberg, 2020; Larkin et al., 2015; Musculus & Lobinger, 2018).

2.3.3 Diagnostische Relevanz und Zusammenhang generischer und sport-spezifischer kognitive Leistungsfaktoren

Sportübergreifend zeigen sich inkonsistente Ergebnismuster bezüglich der diagnostischen Relevanz generischer und sport-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren mit Hinweisen darauf, dass letztere den ersteren überlegen zu sein scheinen (vgl. Kalén et al., 2021). Zudem zeigen sich sportübergreifend inkonsistente Befunde hinsichtlich des Zusammenhangs exekutiver Funktionen mit sport-spezifischer Entscheidungskompetenz (Seidel-Marzi et al., 2025). Allerdings ist die Vergleichbarkeit der empirischen Befunde durch die Heterogenität der verwendeten Testverfahren und Stichproben eingeschränkt. Zudem ist die Übertragbarkeit in die Praxis limitiert, da auf Testverfahren zurückgegriffen wird, die teils ausschließlich im wissenschaftlichen Kontext Anwendung finden. Hinsichtlich der gewählten Kriteriumsvariablen zeigt sich, dass teils ökonomische Gründe (bzgl. zeitlicher Ressourcen) zu modifizierten, weniger differenzierten Bewertungen der Kleinfeldspielleistung ohne Trennung der kognitiven Komponente von der motorischen Ausführung geführt haben (z. B. Heilmann et al., 2022). Dies könnte ein Grund für die inkonsistenten Ergebnismuster sein (vgl. Carnevale et al., 2022; Ehmann et al., 2022). Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, innerhalb einer Stichprobe mit in der Praxis eingesetzten Diagnostiken generische und fußball-spezifische kognitive Leistungsfaktoren zu erheben und diese in Hinblick auf ihre diagnostische Relevanz als auch hinsichtlich ihres Zusammenhangs zu untersuchen.

2.4 Ziele der empirischen Arbeiten

Ausgehend von den in der Einleitung dargestellten Ausgangspunkten und daraus abgeleiteten Forschungsdesideraten ergeben sich drei übergeordnete Forschungsziele, aus denen sich die Forschungsfragen der empirischen Arbeiten ableiten (siehe Tabelle 4).

Tab. 4. Die adressierten Forschungsziele und -fragen sowie die zugehörigen Beiträge

Forschungsziel/-frage	Beitrag
1. Exemplarische Darstellung einer Zusammenarbeit von forschender und nicht-forschender Berufspraxis im Bereich Kognitionspsychologie im Fußball	<i>Beitrag 1</i>
2. Prüfung der psychometrische Eigenschaften neuartiger (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken im Anwendungskontext Nachwuchsleistungsfußball	
a. Inwiefern weist eine (neuartige) kognitive Diagnostik Reliabilität auf?	<i>Beitrag 2</i> <i>Beitrag 3</i>
b. Inwiefern weist eine (neuartige) kognitive Diagnostik diagnostische Validität auf?	<i>Beitrag 2</i> <i>Beitrag 3*</i> <i>Beitrag 4</i> <i>Beitrag 5</i>
c. Inwiefern weist eine (neuartige) kognitive Diagnostik prognostische Validität auf?	<i>Beitrag 2</i> <i>Beitrag 4</i>
3. Untersuchung der diagnostische Relevanz und des Zusammenhangs generischer und fußball-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren	
a. Inwiefern können generische und fußball-spezifische kognitive Leistungsfaktoren separat Fußballexpertise erklären?	<i>Beitrag 4</i> <i>Beitrag 5</i>
b. Welche zusätzliche Erklärungskraft haben generische kognitive Leistungsfaktoren im Vergleich zu fußball-spezifischen kognitiven Leistungsfaktoren?	<i>Beitrag 5</i>
c. Inwiefern existiert ein Zusammenhang zwischen generischen und fußball-spezifischen kognitiven Leistungsfaktoren im Nachwuchsleistungsfußball?	<i>Beitrag 2</i> <i>Beitrag 5</i>

Notiz. Fett markiert sind die übergeordneten Forschungsziele, aus denen sich für Forschungsziel 2 und Forschungsziel 3 jeweils drei konkrete Forschungsfragen ergeben, welche in den empirischen Arbeiten behandelt werden.

* konvergente Validität.

In diesem Zusammenhang kommen unterschiedliche kognitive Testverfahren und Technologien zum Einsatz. In *Beitrag 1*, *Beitrag 3* und *Beitrag 4* liegt der Fokus auf zwei kognitiven Verfahren zur Erfassung der Inhibition und der kognitiven Flexibilität mit einer fußball-spezifischen Antwort in der neuartigen Technologie SoccerBot360. Zudem werden die computer-basierten äquivalenten Testaufgaben mit generischer Antwort verwendet. In *Beitrag 2* wird mit Neurolympics ein neuartiges, kommerzielles kognitives Testverfahren untersucht. In *Beitrag 5* kommen neben Neurolympics ebenfalls der Determinationstest sowie ein 360°-Videoentscheidungstest in HMD zum Einsatz. Die Schwerpunkte, die erfassten kognitiven Leistungsfaktoren sowie die verwendeten Technologien sind in Abbildung 7 dargestellt.

Die Grundlage für *Beitrag 1* bildet die zeitlose Diskussion um die Chancen und Herausforderungen der (fehlenden) Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis (vgl. Schinke et al., 2024). Ausgehend von einem allgemeinen Beitrag (Wolf et al., 2020) wird exemplarisch an einem Projekt im Bereich der Kognitionspsychologie im Nachwuchsleistungsfußball die

Zusammenarbeit zwischen forschender (d.h. Akteuren von Universitäten) und nicht-forschender (d.h. Akteuren von Sportorganisationen und Unternehmen) Berufspraxis beleuchtet.

Kognitive Leistungsfaktoren im Nachwuchsleistungsfußball			
bspw. generische kognitive Funktionen (wie exekutive Funktionen) und sport-spezifische kognitive Funktionen (wie Entscheidungskompetenz)			
Schwerpunkt	Beitrag	Kognitive Leistungsfaktoren	Technologie
Zusammenarbeit zwischen Universitäten, Vereinen und (kommerziellen) Unternehmen	#1: Kognitionspsychologie im Fußball: Ein Anstoß für die Integration von Forschung und Praxis der Sportpsychologie		
Psychometrische Eigenschaften von neuartigen in der Praxis eingesetzten kognitiven Testverfahren	Generische und spezifische kognitive Leistungsfaktoren: Zusammenhang und Vergleich	#2: Cognitive assessment in elite youth football: reliability and validity of a generic cognitive function diagnostic tool	Arbeitsgedächtnis, Antizipation, kognitive Kontrolle, Aufmerksamkeit „Fußballintelligenz“ NeurOlympics
		#3: An assist for cognitive diagnostics in soccer: two valid tasks measuring inhibition and cognitive flexibility in soccer-specific setting with a soccer-specific motor response	Inhibition Kognitive Flexibilität PC, SoccerBot360
		#4: Associations between executive functions, coaches' evaluation, and performance development in youth soccer	Inhibition Kognitive Flexibilität SoccerBot360 PC, SoccerBot360
		#5: The role of generic cognitive skills: an empirical investigation into the association between generic and sportspecific cognitive skills and playing level in youth football	Entscheidungskompetenz Reaktive Stresstoleranz „Fußballintelligenz“ 360°-Videos (VR-Brille) Determinationstest NeurOlympics
		360°-Video: DFB-Akademie, VfB Stuttgart 1893 Determinationstest: u.a. TSG Hoffenheim, DFB U-Nationalmannschaften NeurOlympics: u.a. AZ Alkmaar, Werder Bremen SoccerBot360: u.a. RB Leipzig, FC Zürich	
Neue Technologien im Bereich kognitiver Diagnostiken			

Abb. 7. Übersicht über die Einordnung der Beiträge hinsichtlich der erfassten kognitiven Leistungsfaktoren sowie der zugrundeliegenden Technologie in die Schwerpunkte der Dissertation.

Aufgrund oft unzureichender Informationen zu psychometrischen Eigenschaften neuartiger (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken, wird eine unabhängige Prüfung dieser im Anwendungskontext gefordert (vgl. Anshel & Brinthead, 2014; Finkenzeller et al., 2021). Dieser wird in *Beitrag 2* am Beispiel des generischen Testverfahrens NeurOlympics nachgekommen. Dabei wird neben der Retest-Reliabilität auch die diagnostische Validität sowohl in heterogenen als auch in einer homogenen Leistungsgruppe sowie die prognostische Validität in einer homogenen Leistungsgruppe untersucht. Für solche Studien wird vermehrt gefordert, Kriteriumsvariablen zu nutzen, welche interindividuelle Unterschiede abbilden können und die prognostische Relevanz zu prüfen (vgl. Bergkamp et al., 2019). Entsprechend liegt besonderes Augenmerk auf der Verwendung unterschiedlicher Kriteriumsvariablen (z. B. Trainereinschätzung, Kleinfeldspielleistung, Leistungsniveau) zu verschiedenen Zeitpunkten (während, ein Jahr nach und zwei Jahre nach der Datenerhebung).

Der Diskussion um die Relevanz der generischen und sport-spezifischen Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren folgend, dokumentiert *Beitrag 3* die Entwicklung und Validierung zweier neuartiger Testverfahren und *Beitrag 4* die Prüfung der diagnostischen und prognostischen Validität dieser Verfahren. Auf Basis computergestützter Verfahren werden in *Beitrag 3* zwei Tests zur Erfassung der Inhibition und der kognitiven Flexibilität mit fußball-spezifischer

Antwort im SoccerBot360 entwickelt. Der Fokus des Beitrags liegt auf der Prüfung der konvergenten Validität mit dem äquivalenten computerbasierten Verfahren mit generischer Antwort. Darauf aufbauend wird in *Beitrag 4* die diagnostische (d.h. Trainerurteil) und prognostische (d.h. erreichtes Leistungsniveau) Validität der computerbasierten und SoccerBot360-Aufgaben sowie die altersbedingten Unterschiede und Entwicklungen in der SoccerBot360-Aufgabe zur Erfassung kognitiver Flexibilität untersucht.

Der Debatte um die diagnostische Relevanz und den Zusammenhang generischer und sport-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren Rechnung tragend, widmet sich *Beitrag 5* einer vergleichenden Evaluation generischer und fußball-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren. Im Querschnittsdesign wird unter Berücksichtigung des Einflusses des chronologischen Alters untersucht, inwiefern generische und fußball-spezifische kognitive Leistungsfaktoren separat und gemeinsam zwischen Spielern zweier Leistungsniveaus (Elite vs. Sub-Elite) unterscheiden können und wie diese zusammenhängen.

3 Beiträge

3.1 Beitrag 1: Kognitionspsychologie im Fußball. Ein Anstoß für die Integration von Forschung und Praxis

Lautenbach, F., Musculus, L., Knöbel, S., **Reinhard, M. L.**, Holst, T., Poimann, D., & Pelka, M. (2022). Kognitionspsychologie im Fußball: ein Anstoß für die Integration von Forschung und Praxis der Sportpsychologie. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 29(1), 19-29. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000351>

[Das vorliegende Manuskript entspricht der akzeptierten Version des in der *Zeitschrift für Sportpsychologie* publizierten Artikels, der seit dem 20. Mai 2022 online verfügbar ist]

„Es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie.“ (Lewin, 1951, S. 169)

Diesem Zitat von Kurt Lewin stimmen wir als forschungsorientierte, angewandt ausgebildete und in der Forschung sowie Praxis Arbeitende zu. In Anlehnung an die Definition von Nitsch, dass die Sportpsychologie „eine empirische Wissenschaft [ist], die die Bedingungen, Abläufe und Folgen der psychischen Regulation sportlicher Handlungen untersucht und daraus Möglichkeiten ihrer Beeinflussung ableitet“ (Nitsch, 1978, S. 6), unterstützen auch wir theoriebasierte Forschung und Praxis, sowie praxisnahe Forschung (siehe Relevanz von Theorien z. B. Brand & Schweizer, 2019). Neben der theoretischen Fundierung ist auch die wechselseitige „Wichtigkeit des jeweiligen Austauschs“ zwischen grundlagenwissenschaftlicher und angewandter sportpsychologischer Forschung sowie der praktischen Sportpsychologie von zentraler Bedeutung (Brand & Schweizer, 2019, S. 31). Auch wenn die Grenzen nicht immer klar definiert sind und auch die beteiligten Personen häufig nicht den folgenden Abgrenzungen zuzuordnen sind, erscheint eine Eingrenzung durchaus nützlich, um einen Überblick zu geben.

Die grundlagenwissenschaftliche sportpsychologische Forschung, die primär an wissenschaftlicher Erkenntnisbildung und somit insbesondere an der Theorieentwicklung und -prüfung interessiert ist, beeinflusst vor allem die angewandte sportpsychologische Forschung. Für diese wiederum sind die Fragen aus und für die Praxis von Interesse. In anderen Worten stellt die angewandte sportpsychologische Forschung insbesondere die Nützlichkeit des Erkenntnisgewinns durch die Forschung für die Praxis in den Vordergrund. Sie steht in einer stärkeren Wechselbeziehung zur praktischen Sportpsychologie, die sich mit konkreten Einzelfällen beschäftigt, selbst keine Forschung betreibt, aber beforscht werden kann (und sollte), vorzugsweise dann, wenn es einen Nutzen für die Praxis hat. Die Wichtigkeit des Austausches zwischen den Formen von Sportpsychologie stellt einen Anspruch an die jeweiligen Formen. Somit wird deutlich, dass an die sportpsychologische Forschung (grundlagenwissenschaftliche und angewandte

Sportpsychologie) der Anspruch gestellt wird, sich von der Praxis (praktische Sportpsychologie) inspirieren zu lassen und/oder für die Praxis relevante Fragen zu untersuchen und zu beantworten (siehe auch Brand & Schweizer, 2019; Wolf et al., 2020). Von der praktischen Sportpsychologie wird gefordert, sich in gleichem Maße in der täglichen Arbeit von relevanter Forschung inspirieren zu lassen, ihre Arbeit für die Forschung zu öffnen und berufsethisch überprüfbar zu machen. Somit würde ein evidenz-basiertes Arbeiten sowie die Objektivierung subjektiver Erfahrung, z. B. evident in Experten-Beobachtungen und -Einschätzungen, möglich (vgl. Brand & Schweizer, 2019; Keegan et al., 2017; Lobinger et al., 2020).

In diesem Sinne werden wir in diesem Beitrag – ermuntert von der Einladung vom Mitherausgeber der Zeitschrift für Sportpsychologie – (1) deutlich machen, warum wir die Position, dass Forschung und Praxis der Sportpsychologie enger zusammenarbeiten sollten, unterstützen und (2) Überlegungen anstellen, wie wir als Akteure des Berufsstands diesem Anspruch gerecht werden könnten. Anders als der bereits veröffentlichte *allgemeine* Aufruf von Wolf und Kollegen (2020) zu verstärkter Integration, stellt unser Beitrag ein konkretes und dennoch zunächst breit formuliertes Thema in den Vordergrund: *Kognitionspsychologie im Fußball*. Damit fällt unsere Wahl auf ein Thema und eine Sportart, für die das Interesse sowohl in der allgemeinen Bevölkerung (z. B. beliebteste Sportart 2017 – 2019; IfD Allensbach, 2019; 24.000 Fußballvereine mit 7,06 Millionen Mitgliedern, DFB, 2021; Einschaltquoten der EM 2021 von bis zu 27,36 Millionen, DWDL.de, 2021), der Wirtschaft (z. B. Umbrella Software Development GmbH; Anton Paar SportsTec GmbH; cGoal GmbH), als auch von Sportpsychologen und Experten der sportpsychologischen Forschung (z. B. Höner et al., 2015; Krenn et al., 2018; Memmert et al., 2019; Musculus et al., 2018) und Praxis (z. B. Arimond, 2018; Mayer & Hermann, 2014; Poimann et al., 2015) als hoch eingestuft werden kann.

Kognitionspsychologie im Fußball

Im Fußball führen neue taktische Entwicklungen dazu, dass das Spiel durch kurze Ballkontaktzeiten wesentlich schneller wird (Wallace & Norton, 2014) und dementsprechend mehr Aktionen durchgeführt werden (ca. 1000 – 1400 pro Spiel, vgl. Stølen et al., 2005). Die damit einhergehenden Veränderungen der Leistungsanforderungen (Söhnlein & Borgmann, 2018) erfordern von Spielern neben physischer auch und vor allem kognitive Leistungsfähigkeit. Diese ermöglicht Spielern das schnelle Abrufen und die Verarbeitung relevanter Informationen in einem dynamischen Umfeld (Musculus et al., 2018). Dies ist ein zentraler Grund, warum kognitive Prozesse im Fußball immer wichtiger werden und in den Fokus von Forschung und Praxis

(Perarnau, 2016) gerückt sind. Insbesondere für die Praxis ergibt sich daraus die Konsequenz sich mit kognitiver Diagnostik und Intervention vermehrt auseinandersetzen zu müssen.

Kognition und Exekutive Funktionen

Kognition „ist ein Sammelbegriff für Prozesse und Strukturen, die sich auf die Aufnahme, die Verarbeitung und Speicherung von Informationen beziehen“ (Hänsel et al., 2016, S. 24). Dazu zählen unter anderem Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Denken und Entscheiden (Lobinger et al., 2021). Theoretisch lassen sich zwei zentrale Ansätze unterscheiden, die im Sport eine zentrale Rolle spielen: Der expert performance Ansatz (Ericsson, 2003) und der cognitive component skills Ansatz (Nougier et al., 1991). Während der cognitive component skills Ansatz sich mit der Messung von generellen kognitiven Prozessen beschäftigt (vgl. Voss et al., 2010), fokussiert der expert performance Ansatz *sportspezifische* perzeptuell-kognitive Prozesse (vgl. Mann et al., 2007).

Eine Vielzahl von theoretischen Konstrukten und praktischen Phänomenen können demnach unter den Begriff Kognition subsumiert werden. Herausfordernd ist, dass häufig die Stringenz in der theoretischen Abgrenzung sowie in den daraus abgeleiteten Operationalisierungen fehlt. Dies kann sowohl innerhalb als auch zwischen Forschung und Praxis zu Missverständnissen führen. Innerhalb der Forschung wird zum Beispiel über die Verwendung der go/no-go task (Reaktion auf einen Reiz durchführen vs. inhibieren) zur Messung von Inhibition stark diskutiert, da es sich um eine einzige Reaktion, statt wie in den sonstigen Inhibitionsaufgaben um eine Auswahl von zwei Reaktionsmöglichkeiten handelt (siehe Details in Georgiou & Essau, 2011). Es besteht also eine Notwendigkeit für klare Ein- und Abgrenzungen, was und welche kognitiven Phänomene von Interesse sind, was theoretisch darunter verstanden wird und mit welchem Verfahren diese erhoben werden sollten. Wir versuchen dies exemplarisch anhand der exekutiven Funktionen zu verdeutlichen, weil diese derzeit einem großen Interesse von Praxis und Forschung im Fußball unterliegen (Memmert, 2019; Scharfen & Memmert, 2019a; Vestberg et al., 2020). Gleichzeitig möchten wir betonen, dass weitere Themen (z. B. relative age effect/Reifungsstatus/Bio Banding, frühzeitige Spezialisierung vs. polysportive Ausbildung im Grundlagenbereich; Heilmann et al., 2023; Trainerausbildung- und Entwicklung) aber auch andere kognitive Aspekte in der *Kognitionspsychologie im Fußball* relevant sind, wie beispielsweise Antizipation (z. B. Belling et al., 2015), Kreativität und Spielintelligenz (z. B. Memmert, 2019) Entscheidungsprozesse (z. B. Musculus et al., 2018) und -handlung (z. B. Höner, 2005). Im aktuellen Beitrag konzentrieren wir uns primär auf die zuvor genannten *exekutiven Funktionen*, weil diese in der Fußballforschung mit Expertise in Zusammenhang gebracht wurden

(z. B. Heilmann et al., 2022; Verburch et al., 2014; Vestberg et al., 2020) und in der Praxis mithilfe unterschiedlicher Tests erfasst werden (z. B. Stroop-Test, Number-Letter-Test; für einen Überblick über Tests, die exekutive Funktionen messen, siehe Chan et al., 2008). Wir konzeptualisieren exekutive Funktionen anhand des Modells von Diamond (2013) und des Unity-Diversity-Framework von Friedman und Miyake (2017). Das Modell von Diamond (2013) unterscheidet zentrale, „core“ exekutive Funktionen (Inhibition, Arbeitsgedächtnis, kognitive Flexibilität) von „higher-level“ exekutiven Funktionen (Planen, Problemlösen, Begründen). Zu den zentralen exekutiven Funktionen zählen Inhibition (absichtliche, kontrollierte Unterdrückung eines vorherrschenden Reizes; Diamond, 2013; Friedman & Miyake, 2017), kognitive Flexibilität (hin und her Wechseln zwischen multiplen Aufgaben, Aufgabenstellungen oder mentalen Sets; Diamond, 2013; auch *shifting* genannt in Friedman & Miyake, 2017, S. 9) und das Arbeitsgedächtnis (ständiges Überprüfen und zügiges Hinzufügen oder Löschen der Inhalte des Arbeitsgedächtnis; Diamond, 2013; auch *working memory* oder *updating* genannt in Friedman & Miyake, 2017, S. 9). Diese hängen zum einen miteinander zusammen und zum anderen beeinflussen sie die höheren exekutiven Funktionen (für weitere Details siehe Diamond, 2013). Vor allem die zentralen exekutiven Funktionen werden in sportpsychologischen Forschungsarbeiten und in der Praxis berücksichtigt. Theoretisch spezifiziert das Rahmenmodell von Miyake und Friedmann (2012) diese weiter und postuliert, dass Arbeitsgedächtnis, Inhibition und kognitive Flexibilität separaten Aufgaben (*shifting* und *updating*) und dennoch auch gemeinsame Aufgaben/Funktionen (Inhibition) zugeschrieben werden. Anders ausgedrückt gehen der Autor und die Autorin des Unity-Diversity-Frameworks davon aus, dass inhibitorische Kontrolle für die Kognitive Flexibilität und das Arbeitsgedächtnis eine hohe Funktionalität besitzt (Unity), während zur Erbringung von Inhibitionsleistung z. B. die Kognitive Flexibilität kaum eine Rolle spielt (Diversity). Das Autorenteam macht allerdings deutlich, dass es ggfs. andere relevante exekutive Funktionen geben könnte und somit das Modell nicht allumfassend ist (für eine Diskussion siehe Friedman & Miyake, 2017).

Praxis und Forschung

In den letzten Jahren sind verstärkte Bemühungen sichtbar geworden, kognitive und exekutive Funktionen im Fußball zu diagnostizieren und zu trainieren. Deutlich wird dies für uns u. a. durch eine stetig steigende Anzahl an wissenschaftlichen (z. B. Beavan, Spielmann et al., 2020; Heilmann et al., 2021; Huijgen et al., 2015; Scharfen & Memmert, 2019a; Verburch et al., 2014; Vestberg et al., 2012; Wirth et al., 2018) und populärwissenschaftlichen Publikationen (z. B. Memmert, 2019) sowie der Verwendung bekannter (z. B. Wiener Test System) sowie neuartiger

(z. B. Soccerbot360, Helix, SkillsLab, IntelliGym und NeurOlympics) Technologien im Nachwuchs- und Leistungsfußball. Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass bei der Diagnostik und dem Training von kognitiven und exekutiven Funktionen neben der Sportpsychologie auch die kognitive Neurowissenschaft eine entscheidende Rolle spielt, da auch neuronale Prozesse der kognitiven Funktionen besser verstanden werden sollten, um diese optimieren zu können (siehe z. B. Astle et al., 2015; Constantinidis & Klingberg, 2016).

Während Forschende vorrangig die Beziehung zwischen kognitiven Prozessen und fußballerischer Leistung untersuchen (z. B. Huijgen et al., 2015; Scharfen & Memmert, 2019a; Verburgh et al., 2014), um die Relevanz für Fußballexpertise abzusichern und herauszufinden, welche Kognition einen besonderen Beitrag leisten, setzen auch verschiedene Vereine¹⁸ wie beispielsweise TSG 1899 Hoffenheim, RB Leipzig, FC Ingolstadt und Bayern München in Deutschland oder der PSV Eindhoven und AZ Alkmaar in den Niederlanden bereits technologische Mess- und Trainingsinstrumente (z. B. Footbonaut, Skills.Lab, SoccerBot360) und kommerzielle kognitive Programme (z. B. Cognifit) ein, um exekutive Funktionen zu diagnostizieren und zu trainieren (Memmert, 2019; Savelsbergh, 2017).

Daraus werden zwei Aspekte mangelnder Integration aufgrund unterschiedlicher Prioritäten deutlich: Die Forschung bleibt häufig in ihrer strengen, theoretisch-methodisch geleiteten Herangehensweise verhaftet. Dies hat zwar das Ziel klare Evidenz bereitstellen zu können, vernachlässigt aber, dass die Praxis bereits den (aus Sicht der Forschung) nächsten Schritt in der Umsetzung machen möchte oder macht. Auf der anderen Seite führt dies genau dazu, dass die Praxis Instrumente einsetzt, wenngleich diese den Nachweis wissenschaftlich abgesicherter Reliabilität, Validität und mögliche Vorteile in Bezug auf Trainierbarkeit teils noch schuldig bleiben (siehe z. B. Beavan, 2019; Scharfen & Memmert, 2021). Bis dato sind, auch aufgrund ihrer noch jungen Existenz oder möglichen Datenschutzklauseln, nur wenige empirische Befunde über die verwendeten neueren Verfahren veröffentlicht (Helix: Ehmann et al., 2021; Kittelberger, 2018; Footbonaut: Beavan, Franssen et al., 2019; SoccerBot360: Heilmann et al., 2021; Musculus et al., 2022). Das heißt nicht zwangsläufig, dass keine weiteren Daten vorliegen, sondern nur, dass ggfs. die Publikation noch nicht erschienen ist oder eine Veröffentlichung der Daten nicht geplant ist. Dennoch erscheint die Integration von grundlagenwissenschaftlicher und angewandter sportpsychologischer Forschung und praktischer Sportpsychologie (siehe Brand & Schweizer, 2019) in der Kognitionspsychologie im Fußball noch nicht in dem Maß stattzufinden, wie z. B. von Wolf und Kollegen gewünscht wird (2020). Aus

¹⁸ Es handelt sich lediglich um eine beispielhafte Aufzählung ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

sportpsychologischer Perspektive möchten wir daher im Folgenden kurz die Vorteile der Integration von Forschung und Praxis speziell für die Kognitionspsychologie im Fußball in Anlehnung an Wolf und Kollegen (2020) formulieren, sowie damit einhergehende Herausforderungen und möglicherweise notwendige Kompromisse darstellen.

Vorteile der Integration von Forschung und Praxis für das Thema Kognitionspsychologie im Fußball

Als Anwendungswissenschaft muss sich die Sportpsychologie (siehe Definition Nitsch, 1978) die Frage stellen, welche Vorteile und Bedeutung die Forschung für die Praxis und die Praxis für die Forschung spielt.

Für die Praxis besteht ein wertvoller Vorteil in der wissenschaftlichen Fundierung der Maßnahmen (Schüler et al., 2020; Wolf et al., 2020). In Bezug auf Kognitionspsychologie im Fußball zählen sowohl kognitive Diagnostik (z. B. choice reaction test, Stroop number test, Antizipationstests in Heilmann et al., 2021) als auch kognitives Training, d. h. systematische Maßnahmen, in denen Kognition fußballspezifisch oder allgemein trainiert wird (z. B. Multiple Object Tracking; Eppers & Holst, 2019) zu den Maßnahmen der Praxis. Die verwendeten kognitiven Tests für die kognitive Diagnostik sollten selbstverständlich den zentralen Gütekriterien entsprechen (Beavan, Spielmann et al., 2020; Musculus & Lobinger, 2018) und diese berichtet werden. Für kognitives Training ist es wichtig, dass kognitive Theorien (wie z. B. Entwicklungsansätze siehe z. B. de Luca et al., 2003; broad vs. narrow skill transfer hypothesis siehe z. B. Furley & Memmert, 2011) die Grundlage für die inhaltliche Gestaltung des Trainings darstellen sowie dass der Nutzen (des Trainings) überprüfbar ist (Zentgraf & Munzert, 2014). Ebenfalls sind grundlegende Kenntnisse der Veränderung auf neuronaler Ebene (siehe Details z. B. zum Thema Neuroplastizität in Fields, 2015) erstrebenswert. Darüber hinaus ist es wünschenswert, dass die verwendeten kognitiven Trainings evidenzbasiert sind, d. h. ihre Wirksamkeit, z. B. zur Verbesserung der kognitiven Fertigkeit und im besten Fall für die fußballerische Leistung auf dem Spielfeld, empirisch gezeigt werden konnten (Moore, 2007). Langfristig könnte somit eine konsequente Berücksichtigung wissenschaftlicher Erkenntnisse zu mehr Erfolg führen (vgl. Musculus & Lobinger, 2018). Dass Ideen für kognitives Training aus der praktischen Sportpsychologie heraus, ggfs. aus beobachteten Einzelfällen heraus entwickelt werden, ist dabei eine vorteilhafte Wechselwirkung zwischen Forschung und Praxis (Brand & Schweizer, 2019).

Eine enge Verknüpfung von grundlagenwissenschaftlicher sowie angewandter sportpsychologischer Forschung mit der praktischen Sportpsychologie hat den weiteren Vorteil, dass kurze

Kommunikationswege für aktuelle Themen und Fragen von beiden Seiten besteht. Konkret können praktische Fragen, wie zum Beispiel: *Wie messen wir Entscheidungsverhalten im Fußball?* schneller in die Forschung gegeben werden und auch die möglichen forschungsbasierten Antworten wieder zügiger an die Praxis zurückgegeben und ggfs. umgesetzt werden.

Erste Schritte zur Integration von Forschung und Praxis

Zur stärkeren Integration von Forschung und Praxis bezogen auf Kognitionspsychologie im Fußball möchten wir im Folgenden aus unserer Perspektive mögliche erste Schritte beschreiben. Diese beinhalten drei übergeordnete Ziele:

1. eine verstärkte Kommunikation zwischen Forschung und Praxis (*Gemeinsamer Austausch*) und
2. integriertes, gemeinsames Handeln (*Gemeinsame Projekte, gemeinsame Positionen*) sowie
3. das Entwickeln gemeinsamer Handlungsrichtlinien/Handreichungen für eine forschungsbezogene Praxis und praxisbezogene Forschung (*Gemeinsame Philosophie*).

Der erste Schritt: Gemeinsamer Austausch

Als ersten notwendigen Schritt zur Integration von Forschung und Praxis sehen wir eine verstärkte Kommunikation zwischen Personen der Forschung und Praxis. Dies würde Personen mit Forschungsschwerpunkten in den Disziplinen Sportwissenschaft, Sportpsychologie oder auch Neurowissenschaft auf professoraler Ebene bis hin zu Studierenden ebenso wie sportpsychologische Berufsanfänger und jahrelang tätige Experten im Feld umfassen. Punktuell ist eine Ergänzung um sportpraktisch tätige Personen (z. B. Trainer, Athleten) in diesem Kontext möglicherweise gewinnbringend. Gezielter gemeinsamer Austausch zu Themen, die für beide Seiten relevant sind, ist die notwendige Bedingung, um in den nächsten Schritten zum gemeinsamen Handeln kommen zu können (siehe Wolf et al., 2020). Dabei kommt dem formellen als auch dem informellen Austausch jeweils eine entscheidende Bedeutung zu.

Als formellen oder klar strukturierten Austausch verstehen wir jegliche Art des organisierten und verstärkt professionell formalisierten Zusammentreffens. Beispiele für formellen Austausch stellen in der Forschung Kolloquien, Projektsitzungen oder Tagungen, in der Praxis Interventions-, Supervisions- und Projektbesprechungen sowie z. B. speziell im Fußball Treffen der Sportpsychologen aus Nachwuchsleistungszentren (NLZ; siehe www.leistungszentren.de), dar. Hier sollte vor allem darauf Wert gelegt werden, dass Personen mit unterschiedlichen inhaltlichen Schwerpunkten z. B. innerhalb der Sportpsychologie (Neurowissenschaft,

Kognitionspsychologie) zusammenkommen, damit es zu einer effektiven Nutzung und Integration der jeweiligen Kompetenzen und Perspektiven zu dem Thema kommt. Als informellen Austausch sehen wir das (private) Nachfragen, das gemeinsame Besprechen mit Experten des jeweils anderen Gebiets bei Fragen und Herausforderungen, zu denen Input benötigt wird, sowie zum reinen Austausch an Informationen.

Zwar bietet die jährliche asp-Tagung, der dvs-Hochschultag oder die Fortbildungen des Bund Deutscher Fußball-Lehrer einen regelmäßigen Treffpunkt und die Möglichkeit sich informell in Pausen, auf Ausflügen oder beim Gesellschaftsabend auszutauschen, die Integration von Forschung und Praxis findet formell jedoch eher selten statt. Hervorzuheben sind hier jedoch die im Rahmen der 50. Jahrestagung der asp in Köln 2018 erstmals im Programm verankerten integrativen Arbeitskreise, die explizit darauf abzielten „den Austausch von Forschung und Praxis“ zu ermöglichen (Deutsche Sporthochschule Köln, o. D.). Durch das Arbeitskreis-Format inspiriert, hat ein Großteil des Autoren-Teams dann auf der asp-Tagung in Halle 2019 ebenfalls einen integrativen Arbeitskreis (Kognitionspsychologie im Fußball: Einblicke in Forschung und Praxis) veranstaltet. Auch für die asp-Tagung 2020 standen erneut integrative Arbeitskreise bzw. Workshops auf dem virtuellen Programm, zudem fanden auf der virtuellen asp-Tagung 2021 in Tübingen drei Transfer-Symposien sowie Podiumsdiskussionen mit Personen aus der Forschung und Praxis statt. Augenscheinlich wird so zunächst der formelle Austausch gefördert, jedoch führt ein informeller Austausch, der vorab formell stattfand, zu stärkeren, später aktiv zusammenarbeitenden Kooperationen (Iwai, 2016).

An dieser Stelle möchten wir, genau wie die Kolleginnen und Kollegen Wolf et al. (2020), betonen, dass wir die Etablierung dieser Tagungsformate begrüßen. Der formelle Austausch zwischen Forschung und Praxis in der Sportpsychologie kann für unser Verständnis allerdings noch verstärkt werden. So könnten zum Beispiel, wie 2013 und 2019 in Halle, Hauptvorträge vermehrt auch von primär in der Praxis arbeitenden Sportpsychologen gehalten werden. Abschließend könnte über vergleichbare (ggfs. auch kürzere) Formate wie die Nachwuchstagung vor der asp-Tagung nachgedacht werden, die einen integrativen Austausch zwischen Forschung und Praxis fördern. Da es mit dem Treffen der NLZ-Sportpsychologen seit kurzem ein vergleichbares Format für im Fußball arbeitende Sportpsychologen und sportpsychologische Experten gibt, wäre dies v. a. auch für andere Sportarten eine Bereicherung. Zusammenfassend sehen wir diesen formellen und den daraus entstehenden informellen Austausch als relevant für gemeinsame Kooperationen und gemeinsame Projekte an (z. B. Iwai, 2016).

Der zweite Schritt: Gemeinsame Projekte

Als zweiten notwendigen Schritt, um Forschung und Praxis stärker zu integrieren, sehen wir das gemeinsame *Handeln*. Dafür muss zunächst einer (ersten) gemeinsamen Idee eine Relevanz eingeräumt werden, die auch insbesondere neben der täglichen Routine Wichtigkeit hat. Denn so wie der Lehr- und Verwaltungsbetrieb der Forschenden an den Universitäten nicht stillsteht, hält auch der Spielbetrieb der zu betreuenden Mannschaft(en) oder die Workshop-Reihe der Personen aus der Praxis nicht einfach an. Zur Vorbeugung von Reibungsverlusten oder dem typischen „Im-Sande-Verlaufen“ empfiehlt sich sowohl aus Forschungs- als auch aus Praxis-sicht eine spezifische Zielsetzung (z. B. Locke & Latham, 2019) und Projektplanung.

Der Vorteil von gemeinsamer Zielsetzung und Projektplanung stellt die damit verbundene gegenseitige Verpflichtung und formalisierte Absicht dar. Darüber hinaus werden so gemeinsame Teilziele zeitlich und strukturell festgelegt und bieten Personen aus Forschung und Praxis einen hilfreichen Rahmen. Der zentrale Vorteil gegenüber Projekten, die eher unidirektional entweder aus der Forschung in die Praxis oder von der Praxis in die Forschung getragen werden, besteht darin, dass beim Entwickeln gemeinsamer Projekte bereits zu Beginn Beteiligte beider Seiten mögliche Hindernisse einschätzen und somit frühzeitig vorbeugen können. Darüber hinaus kann vorab über eine realistische Erwartungshaltung des Projektes, der zu entstehenden Ergebnisse und deren Verwendung in Forschung und Praxis gesprochen werden. Anschließende gemeinsame Finanzierung, beispielsweise über das Bundesinstitut für Sportwissenschaft in Form von Service-Forschungsprojekten oder Innovationsprojekten (siehe weitere Details unter www.bisp.de und in Wolf et al., 2020) oder den Deutschen Fußball Bund (z. B. Hoffenheim; Jan Mayer & Adam Beavan), sind besonders erwähnenswert, da sie eine längerfristige Verzahnung von Forschung und Praxis verstärken. Im deutschen Fußball nimmt dabei die DFB-Akademie sowohl als Finanzierer als auch inhaltlicher Förderer eine wichtige Rolle ein. Ebenso ist im Rahmen der Lizenzierung der NLZs nicht nur eine sportpsychologische Stelle vorgesehen, sondern ebenso „ein Ansprechpartner für sportwissenschaftliche Begleitung, z. B. Analyse und Forschung innerhalb des Leistungszentrums, Zusammenarbeit mit Hochschulen, Ansprechpartner für Abschlussarbeiten“ (Deutsche Fußball Liga [DFL], 2021, S. 13). Eine verstärkte Zusammenarbeit mit diesen wissenschaftlichen Experten auf Vereinsseite kann sinnvoll sein, um mögliche gemeinsame Fragen aus Praxis und Forschung systematisch zu beantworten (vgl. zu den Wissenschaftskordinatoren im Olympischen Sport (WISS – das Netzwerk für Innovation im Deutschen Spitzensport, o. D.).

Der dritte Schritt: Gemeinsame Positionen

Der dritte Schritt, der anders als die ersten beiden Schritte nicht als notwendig, sondern eher als erforderlich verstanden werden soll, bezieht sich auf die Formulierung gemeinsamer Handlungsrichtlinien, -werte und Positionen oder auch relevante Themen. Wie bereits vom Autoren-Team um Svenja Wolf (2020) demonstriert, beschäftigen sich Personen in Forschung und Praxis der Sportpsychologie nicht „nur“ damit, *dass* Forschung und Praxis integriert werden sollten, sondern legen auch dar, *wie* diese Integration gestaltet werden könnte. Um der Auseinandersetzung mit Themen und Formulierung gemeinsamer Handlungswerte einen angemessenen Raum zu geben und vor allem, um diese zu kommunizieren und zur Diskussion zu stellen, möchten wir – in Ergänzung zu den im ersten Schritt vorgeschlagenen Austauschmöglichkeiten – empfehlen, dass sich Personen aus Forschung und Praxis zusammenschließen, um ihre Position zu einem bestimmten Thema zu kommunizieren. Diese Position sollte wissenschaftlich fundiert und mit veranschaulichenden Beispielen aus der Praxis gestützt und deutlich gemacht werden. In diesem Sinne ist die aktuell implementierte Rubrik „Beiträge aus der angewandten Sportpsychologie“ der Zeitschrift für Sportpsychologie als besonders positiv hervorzuheben. Zusätzlich wäre es denkbar zunächst ein Sonderheft zu gestalten. Darüber hinaus wären neben größeren Beiträgen auch regelmäßige kürzere Beiträge, z. B. angelehnt an das Format *Digest* der Zeitschrift für Sportpsychologie (Vorschlag z. B.: *Digest and Do*) denkbar.

Kognitionspsychologie im Fußball: Alle Schritte

Wir möchten die Schritte, die wir als Autoren-Team bis hierhin gegangen sind, um möglichst *praxisnah* vorzugehen, kurz darstellen¹⁹. Inspiration war der von formeller Seite angeregte integrative Austausch auf der asp-Tagung 2018 in Köln. Die dadurch entstandenen informellen Gespräche über die jeweiligen Forschungs- und Praxistätigkeiten sowie Forschungs- und Praxisfragestellungen führten uns als Autoren-Team zu der Frage, welche Bedeutung Kognitionen im Fußball haben. Aus wissenschaftstheoretischer Sicht ging es um eine gezielte Verbindung von Anwendungswissen der Praxis und Grundlagenwissen der Forschung (siehe Details z. B. Höner, 2008; Willimczik, 2003). Ganz konkret stellten sich die Fragen, wie Kognitionen theoretisch konzeptualisiert, methodisch gemessen werden und entsprechende Diagnostik- und oder Trainingsformen zum Einsatz kommen können.

¹⁹ Wir haben uns für den von uns eingeschlagenen Weg entschieden und sind uns bewusst, dass es andere Möglichkeiten und Wege gibt, die ebenfalls ihre Berechtigung haben. Wir stellen somit keinen „Goldstandard“ dar, sondern unseren Versuch der Integration von Wissenschaft und Praxis

Das Interesse daran, diesen aktuellen Stand und die Fragen der Forschung an die Praxis und der Praxis an die Forschung zunächst zusammenzuführend darzustellen, hat uns bewogen, 2019 einen Arbeitskreis (Kognitionspsychologie im Fußball: Einblicke in Forschung und Praxis) mit einzelnen Forschungsergebnissen und praktischen Herangehensweisen verschiedener Erstligisten und Bundesligafußballvereine einzureichen. Der rege (formelle) Austausch mit anderen aus Praxis, Forschung und der Wirtschaft, konkret die Herstellungsfirma des Gerätes zur Diagnostik (z. B. Umbrella Software), der während des Arbeitskreises entstanden ist, hat weitere Fragen und Anregungen aufgeworfen. Zum Beispiel wurde im informellen Austausch darüber diskutiert, welche Rolle Emotionen für die kognitive Leistungsfähigkeit im Fußball haben. Insbesondere könnten solche Arbeitskreise das Thema nicht nur stärken, sondern auch Interesse bei weiteren Institutionen und Vereinen wecken oder gar der Start für integrative Kooperationen sein. Auf Grund des gemeinsamen Interesses und der Relevanz für Forschung (u. a. Konzeptualisierung von Kognition, insbesondere exekutiven Funktionen) und Praxis (u. a. Talentdiagnostik und Intervention; Überprüfung der Augenscheinvalidität der Tests; Trainingsintegration von Testverfahren) entstand die gemeinsame Projektidee zur Entwicklung und Validierung fußballspezifischerer Diagnostik kognitiver Funktion, im Speziellen dem Teilbereich der exekutiven Funktionen. Geeinigt haben wir uns zunächst auf ein Pilotprojekt, in dem zwei Tests zur Erfassung exekutiver Funktionen (Inhibition, Arbeitsgedächtnis) auf möglichst sportartspezifische²⁰ Art und Weise mithilfe des Soccerbot360 (Umbrella Software) entwickelt und validiert wurden (Musculus et al., 2022). Die Sichtung der Literatur und die Entwicklung der kognitiven Aufgaben dauerte ca. 4 Monate (Feb-Juni 2019) in Zusammenarbeit mit RB Leipzig, Umbrella Software, den beteiligten Forscherinnen und zwei Masteranden der Universität Leipzig und der Deutschen Sporthochschule Köln. Die Testungsdurchführung fand in enger Abstimmung zwischen RB Leipzig und den zwei Masteranden statt. Regelmäßige Treffen (per Videotelefonie oder vor Ort) haben stattgefunden, um insbesondere gemeinsame Entscheidungen zu treffen. Daraus entstand im Laufe des Projektes ein Memorandum of Understanding (eine Form der Absichtserklärung), welches die gegenseitigen Interessen und Verpflichtungen aller (Praxis, Forschung, Wirtschaft) zusammenfasste und regelte. Die Testungen fanden im Juli und August 2019 statt, dicht gefolgt von der Datenaufarbeitung und dem Anfertigen der Masterarbeiten, die im Januar und Februar 2020 erfolgreich abgegeben wurden. Das Abschlusstreffen im Februar 2020 war Anlass, um gemeinsame weitere Projekte (siehe nächster Abschnitt) zu planen und gemeinsame Anträge zu verfassen.

²⁰ Im Rahmen des Projektes heißt dies die Anpassung der Stimuli (von Pfeilen auf Spieler) sowie der motorischen Antwort (von Tastendruck zum Pass), siehe Hadlow et al. (2018).

Die Ergebnisse des Projektes sind sichtbar in (a) Publikationen (Knöbel & Lautenbach, 2024²¹; Musculus et al., 2022²²) und Kongressvorträgen (Knöbel et al., 2022; Knöbel et al., 2020; Knöbel et al., 2021; Reinhard et al., 2020), (b) Beiträge wie diesem, (c) einer gestarteten internen Diagnostik zur Erfassung von Längsschnittdaten bei RB Leipzig, (d) einer Konzeptualisierung und Erarbeitung einer Arbeitsgedächtnisaufgabe für den Soccerbot360 und (e) einer Diagnostik von exekutiven Funktionen unter wettkampfnahen Emotionen (Knöbel et al., 2024).

Abschließend möchten wir allerdings auch betonen, dass es besondere Herausforderungen bergen kann, Praxis und Forschung (und Wirtschaft) stärker zu verzahnen: Zum einen kann es sein, dass die Wissenschaft „Abstriche“ machen muss,²³ was z. B. die Standardisierung von Testbedingungen, Testzeiträumen und -zeiten oder Dauer einzelner Testungen oder die Versuchspersonenanzahl angeht, um damit die fortlaufenden Prozesse und Gegebenheiten der Praxis zu berücksichtigen. Hierbei könnte es in den Folgeschritten ein wichtiger Aspekt sein, dass auch Reviewer von Tagungen oder Zeitschriften berücksichtigen, wenn Forschung gemeinsam mit und in der Praxis umgesetzt wurde und somit nicht (nur) der Maßstab von hoch kontrollierten Laborstudien angelegt werden kann und sollte (siehe Wolf et al., 2020). Weiterhin wäre es wünschenswert, dass sich Wissenschaftler bemühen Ergebnisse zeitnah an die beteiligten Personen der Praxis zu übermitteln und diese zur gemeinsamen Diskussion zu stellen, damit die Akzeptanz der Forschung in der Praxis und die tatsächliche Umsetzung von Implikationen gesteigert werden kann. Zeitnah in diesem Fall bedeutet beispielsweise nicht bis zu einer Veröffentlichung der Ergebnisse zu warten, sondern nach initialer Datenauswertung einen Projektbericht, eine Zusammenfassung etc. an die beteiligten Parteien zu schicken und die Ergebnisse sowie ihre (praktischen) Implikationen zu diskutieren. Selbstverständlich muss auch bei zeitnahen Analysen und Ergebnisberichten ein hoher wissenschaftlicher Standard eingehalten und sauber gearbeitet werden. Hier kann die Praxis versuchen, Geduld für teilweise zeitintensive Datenanalysen und Ergebnisaufbereitungen sowie der damit einhergehenden angestrebten Sorgfalt der Wissenschaftler aufzubringen. Darüber hinaus kann die Praxis unterstützen, indem sie maximal mögliche Einblicke gewährt und den Kooperationsgedanken in den Vordergrund stellt.

²¹ Erfolgreiche Entwicklung und Validierung einer Aufgabe zur Erfassung der Arbeitsgedächtnisleistung.

²² Erfolgreiche Entwicklung und Validierung einer Aufgabe zur Erfassung der kognitiven Flexibilität und der Inhibitionsleistung.

²³ Wir möchten darauf verweisen, dass es diskutabel ist, ob Wissenschaft „Abstriche“ machen muss. Möchte sie aber in diesem Setting forschen, ist es aus unserer Sicht nicht möglich ohne Abstriche.

Anstöße für die Zukunft

Zusammenfassend möchten wir für verstärkte Kommunikation²⁴ durch informellen und formellen Austausch, intensiviertes gemeinsames Handeln durch gemeinsame Projekte sowie durch die Etablierung gemeinsamer Werte plädieren. Konkret haben wir unsere eigenen Bemühungen genannt, um diese Aspekte konkret anhand von Beispielen zu veranschaulichen. Wichtig ist, dass die Bemühungen der Forschung und Praxis der Sportpsychologie auch unterstützt werden. Insbesondere Besetzungen von systemrelevanten Positionen in Vereinen mit qualifizierten Personen aus der Praxis mit einem großen wissenschaftlichen Interesse, sowie Besetzungen von Forschungsstellen an Universitäten mit qualifizierten Personen mit einem großen sportpraktischen Verständnis können helfen, die Zusammenarbeit effektiv, verständnisvoll und zielführend zu gestalten. Wie divers die Qualifizierungen von Personen an diesen entscheidenden Stellen aussehen und wer diese wie genau finanzieren könnte, können und werden Forschung und Praxis in Zukunft gemeinsam entscheiden. Konkret möchten wir folgende Anstöße geben:²⁵

1) *Institutionelle Verankerung*

- a) Wir geben Anstoß zur Einbindung einer von fachlicher Fragestellung unabhängigen (übergeordneten) wissenschaftlichen Beratungs- und Vermittlungsposition in Fußballvereinen und -verbänden an (aufbauend auf den Ansprechpartnern für sportwissenschaftliche Begleitung, die Teil der Lizenzordnung sind; DFL, 2021).
- b) Wir stoßen an und unterstützen eine Verankerung von Sportpraktikern in universitären Institutionen, z. B. durch Vorträge und Teilnahme von Sportpraktikern in Kolloquien an den jeweiligen Instituten.

2) *Formelle Verankerung auf Tagungen/Kongressen.* Wir unterstützen die weitere Durchführung von integrativen Arbeitskreisen und Transfersymposien sowohl auf wissenschaftlichen Tagungen (wie bspw. der asp-Tagung) als auch auf sportpraktischen Veranstaltungen (wie z. B. bei Trainerfortbildungen).

3) *Berücksichtigung der Research-Practitioner.* Wir stoßen eine erhöhte Anerkennung derjenigen Personen an, die an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis arbeiten und die Integration als Lösung für die Wissenschafts-Praxis-Lücke sehen. Hier sind

²⁴ Weiterführende Hinweise zur *Kommunikation und Wissensmanagement* zwischen Forschungs- und Praxisinstitutionen finden sich bei Muckenhaupt et al. (2012).

²⁵ Die Liste ist nicht vollumfänglich, sondern stellt die aus unserer Perspektive zentralsten und wichtigsten Punkte dar, um eine angeregte Diskussion anzustoßen. Zudem gibt es auch innerhalb des Autoren-Teams unterschiedliche Auffassungen bzgl. der Relevanz einzelner Punkte.

andere Maßstäbe und Beurteilungskriterien notwendig als für "reine" Wissenschaftler bzw. „reine“ Praktiker.

- 4) *Offenheit für kreative Fördermöglichkeiten.* Wir stoßen an, dass die Sportpsychologie offen bleibt für kreative Fördermöglichkeiten für die Integration von Forschung und Praxis. Wir plädieren außerdem für eine angeregte Diskussion auf informellen, aber v. a. auch auf formellen Wegen z. B. im Rahmen eines *Digest & Do* in der Zeitschrift für Sportpsychologie.

3.2 Beitrag 2: Cognitive Assessment in Elite Youth Football. Reliability and Validity of a Generic Cognitive Function Diagnostic Tool

Reinhard, M.L., Larkin, P., García-López, L.M., & Höner, O. (2026). Cognitive Assessment in Elite Youth Football. Reliability and Validity of a Generic Cognitive Function Diagnostic Tool. *Journal of Applied Sport and Exercise Psychology*. Online-Vorabpublikation. <https://doi.org/10.1026/2941-7597/a000064>

[Das vorliegende Manuskript entspricht der akzeptierten Version des in der Zeitschrift *Journal of Applied Sport Psychology* publizierten Artikels, der seit dem 26.02.2026 online verfügbar ist]

In football, sport-specific cognitive functions are recognized as key performance indicators and talent characteristics (Höner et al., 2023; Williams et al., 2020). However, there is still debate as to whether generic cognitive functions, assessed by using tests with sport-unspecific stimuli, are also related to (future) performance (Kalén et al., 2021). Yet, technological advancements have enabled the development and implementation of standardized, computerized generic cognitive diagnostic tools. These new instruments are used by various European football academies (e.g., S.L. Benfica uses the Athlete Intelligence Quotient [AIQ]; Joyce, 2024). Despite their potential, the psychometric properties of these innovations in the context of youth football have yet to be determined. This represents a critical gap, as psychometric properties are essential for assessing the quality and utility of diagnostic instruments and for informing practitioners' decisions regarding the allocation of resources for talent detection, identification, development, and selection (Williams et al., 2020). One generic cognitive diagnostic tool prominently used in youth football (e. g., in England, Nottingham Forest FC, 2024; and in the Netherlands, PSV Eindhoven, 2022) is the NeurOlympics (BrainsFirst B.V.). This generic cognitive function assessment is a standardized online instrument designed to assess working memory, anticipation, cognitive control, and attention via four tests presented in a fixed order. This study focuses on the reliability as well as the diagnostic and prognostic validity of the NeurOlympics in the context of elite youth football.

While cognitive skills refer to the effective application of domain-specific knowledge when performing, cognitive functions are general cognitive mechanisms that require effortful control. These functions are further differentiated into basic cognitive functions (e. g., processing speed) and higher cognitive functions (e. g., executive functions; Kalén et al., 2021). Within the cognitive component skills research approach (Nougier et al., 1991), cognitive functions are typically assessed with cognitive tests using generic stimuli (such as arrows) and require a generic response (such as finger movements; Voss et al., 2010). The underlying assumption of the

cognitive component skills approach follows the *broad transfer hypothesis*, which “assumes that practice in a certain activity can potentially lead to adaptations in basic cognitive abilities which in turn transfer to various different skills in more related domains” (Furley & Memmert, 2011, p. 482). By contrast, the *narrow transfer hypothesis*, linked to the expert performance approach (Williams & Ericsson, 2005), assumes practice in a certain activity only transfers to cognitive functions directly related to the domain in question (such as decision-making in football) but not to basic cognitive functions (cf. Furley & Memmert, 2011). Studies following the cognitive component skills approach often follow the expert–novice paradigm, yielding inconsistent results (cf. Furley et al., 2017). Meta-analytical evidence across sports suggests these generic tests may differentiate between expertise levels (Logan et al., 2023; Scharfen & Memmert, 2019a; Voss et al., 2010), but they are less effective than sport-specific tests. Furthermore, there is also a lack of prognostic validity (Kalén et al., 2021). However, with technological advancements, the number of standardized generic cognitive assessments²⁶ has increased significantly over recent years. In football, the paper–pencil-based Delis–Kaplan Executive Function System (D-KEFS; Vestberg et al., 2012, 2017, 2020) and computerized Vienna Test System (VTS; Beavan, Chin, et al., 2020; Beavan, Spielmann, et al., 2020) have been widely used over the past two decades to assess generic cognitive functions. Recently, online-based cognitive diagnostic tests using generic stimuli on a 2D screen (e. g., AIQ; NeurOlympics) have been used by professional football clubs (Joyce, 2024; Nottingham Forest FC, 2024). Although the respective companies highlight the evidence-based value of these technologies, findings on psychometric properties in sport settings are rarely disclosed, which is a serious drawback (Anshel & Brinthaup, 2014; Weakley et al., 2024). Knowing a tool’s objectivity, reliability, and validity prior to implementation is of paramount importance in the development process (Beavan, 2019; Larkin et al., 2015; Musculus & Lobinger, 2018). This enables practitioners to make informed decisions regarding the allocation of resources based on a cost–benefit ratio (Weakley et al., 2024). Given the limited psychometric properties in the sport context of established tests within the D-KEFS (Design Fluency Test; Finkenzeller et al., 2021) and VTS (determination test; Beavan, Spielmann et al., 2020), this appears especially pertinent.

For NeurOlympics, the manufacturer has reported test-retest reliability coefficients ($.80 \leq r \leq .90$), concurrent validity (relationship to generic intelligence: $r = .65$, relationship to

²⁶ Technological advancements have also given rise to new technological tools in which cognitive diagnostics can be implemented, both with sport-specific stimuli (e.g., Helix; Ehmann et al., 2021) and with sport-specific answers (e.g., SoccerBot360; Musculus et al., 2022). Due to the focus on computerized tests measuring general cognitive functions using generic stimuli and generic answers, studies using new technological tools with an increased sport-specificity such as the Helix or SoccerBot360 are not discussed further.

numerical ability: $r = .78$), as well as sensitivity (.63 - .90) and specificity (.68 - .85; BrainsFirst, 2020). However, the retest interval was not reported, and the samples for concurrent validity and sensitivity/specificity analyses were not football-specific. Therefore, there is a lack of established context-specific psychometric properties. As the tests stem from non-sport settings, similar to the D-KEFS and VTS, it is necessary to evaluate the psychometric properties in the context of use, that is, in elite youth football (cf. Finkenzeller et al., 2021; Furley et al., 2023). Evaluations of reliability and validity should be considered with a focus on both the relative (i. e., consistency of rank ordering of individuals) and absolute reliability (i. e., consistency of repeated measures; Weakley et al., 2024), as well as on group-based and individual-based evaluations for a probabilistic instead of deterministic approach (Höner & Votteler, 2016). A frequently used criterion as an indicator of football performance is the concurrent performance level (e. g., elite vs. sub-elite), for which differences in generic cognitive functions have been found (Kalén et al., 2021; Logan et al., 2023; Scharfen & Memmert, 2019a). However, concurrent performance level, when used as a sole criterion, has been criticized for providing limited information on individual differences and neglecting the prognostic validity (Bergkamp et al., 2019). This is even more pertinent given generic cognitive tests such as NeurOlympics are used at elite youth academies with homogeneous samples, thus requiring high sensitivity in this specific group (and not solely eliciting group differences between elite and non-elite athletes; Höner et al., 2023). Therefore, in the context of elite youth football, the inclusion of both concurrent *and* prognostic validity analyses is essential and requires the use of both performance level *and* subjective rating of on-field performance. This seems even more important in light of the ongoing debate about the near and far transfer of cognitive functions, hinting toward limited transfer effects to sport-specific performance (Fransen, 2024; Zentgraf et al., 2017) and vice versa (Furley & Memmert, 2011). Additionally, calls have been made to consider potential covariates when assessing the association between cognitive test performance and football performance (Furley et al., 2023; Kalén et al., 2021; Williams & Ericsson, 2005). In particular, chronological age (Wattie et al., 2015) should be considered, since generic cognitive functions, such as executive functions, evolve through typical age-related development (Huizinga et al., 2006), also in samples of youth footballers (Beavan, Chin, et al., 2020; Beavan, Spielmann, et al., 2020).

Given the limited information on the study design and sample characteristics as well as the lack of context-specific psychometric qualities of the NeurOlympics tests, further investigations are needed before applying the assessment in the field. Therefore, the present study aims to investigate the psychometric properties of the NeurOlympics to guide researchers' and practitioners'

decision-making regarding its applicability as a talent-diagnostic tool. The present study pursues three objectives. First, to analyze the test–retest reliability of NeurOlympics in elite youth football. Second, to examine its association with performance level and subjective performance ratings while controlling for age (diagnostic validity). Third, to investigate its association with future performance level and subjectively rated performance and potential while controlling for age (prognostic validity).

Method

Participants

Elite youth footballers ($N = 57$) from the Under 11 to Under 15 age groups ($M_{\text{age}} = 12.14$, $SD_{\text{age}} = 1.38$) from the youth academy of a German professional team (first league) participated in this study. Sub-elite youth footballers ($n = 53$) of the same age groups ($M_{\text{age}} = 12.37$, $SD_{\text{age}} = 1.57$) were recruited from the youth department of a semi-professional German team (fourth league). As is customary in expertise research (Schweizer & Furley, 2016b), convenience sampling was employed due to the limited number of and access to elite youth footballers (i.e., resource constraints; Lakens, 2022).

Design and Procedure

This study adopted a cross-sectional (concurrent diagnostic validity) and prospective (prognostic validity) design. NeurOlympics variables serve as the predicting variables to be evaluated. For concurrent diagnostic validity, players' performance level (elite vs. sub-elite) and subjectively rated small-sided game performance were used as criteria. For prognostic validity, coaches' subjective rating after one year (above average vs. not) and performance level after two seasons (selected vs. deselected) were used as criteria.

Initial data collection for NeurOlympics (t1) occurred at the beginning of the 2022/2023 football season. The retest of NeurOlympics (t2) for the elite youth players took place 2 weeks after the initial testing session, with 48 players (82.8 %) participating. Small-sided games were played during the same period. All testing was conducted by qualified assessors using standardized instructions and familiarization phases prior to the assessment. Importantly, the test results were not disclosed to any staff members involved in the player selection process. Coaches provided ratings of players' performance and potential at the end of the 2022/2023 season. Performance levels were recorded at t1 and at the beginning of the third season after data collection, compiled by the clubs' scouting department (see Figure 8). Prior to the study, approval was given from the

first and last authors' institutional ethics committee and informed consent was obtained from all participants' and their legal guardians.

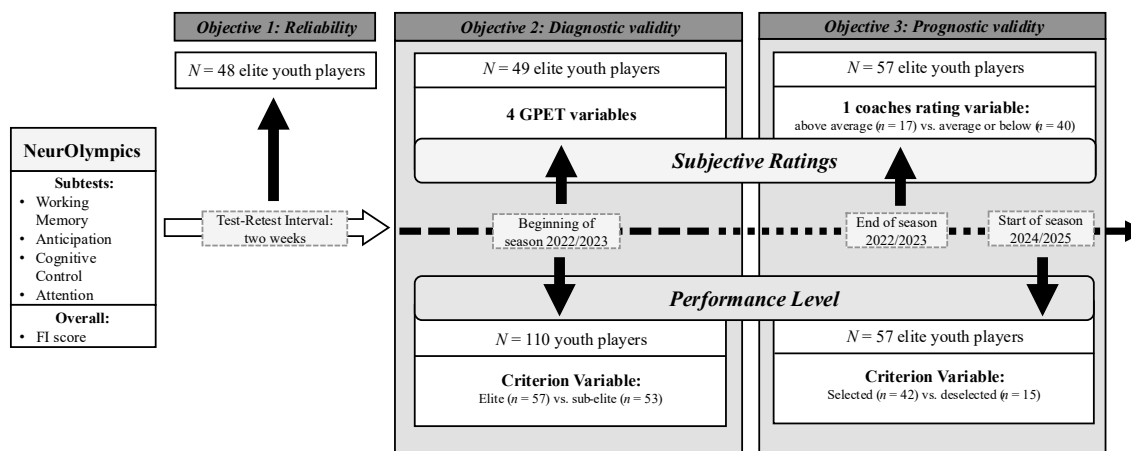


Fig. 8. Schematic overview of design and procedure. GPET = Game Performance Evaluation Tool. FI score = Football Intelligence score, referred to as cognition score in the article.

Assessments

NeurOlympics

The NeurOlympics test battery consists of four assessments presented in standardized, fixed order, designed to evaluate working memory (Test 1), anticipation (Test 2), cognitive control (Test 3), and attention (Test 4). The stimuli are generic, that is, they consist of computer-generated neurons that do not stem from the context of football (see Appendix C ESM1 for screenshots²⁷). The test battery takes approximately 45 min to complete, and participants perform the test on a laptop or a tablet in a team setting. Test 1 (working memory) is based on paradigms assessing visual working memory capacity (Kyllingsbæk & Bundesen, 2009; Mc-Nab et al., 2015) and consists of two subtests. In the first subtest, participants must remember the positions of varying numbers of “neurons” in a 5×5 matrix. In the second subtest, participants have to detect changes in direction of one of the varying numbers of neurons that appear twice. Test 2 (anticipation) is custom-made and not based on established neuropsychological paradigms. It requires participants to use four cannons (two horizontal, two diagonal) to shoot neurons falling from six different tubes at varying speed. Test 3 (cognitive control) is based on a go–no-go task or switch–no-switch task (Isoda & Hikosaka, 2007; Neubert et al., 2010). Participants must react as quickly as possible to correctly identify three ‘neurons’ displayed side-by-side in two different colors, indicating the location (left or right) of the neuron with the same color as the central neuron. Test 4 (attention) is based on the attentional network test (Fan et al., 2009, 2005),

²⁷ For demo version see: <https://neurolympics.nl>

which is a cued arrow flanker task (Ridderinkhof et al., 2021). Participants indicate the direction to which the central one of five blue ‘neurons’ presented in a row (either top or bottom of screen) points to, ignoring the four irrelevant ‘neurons’. Before display of the ‘neurons’, two cue conditions (neutral cue, spatial cue) are used by showing a red ‘neuron’.

Participants collect points based on accuracy (Tests 1–4), timing (Test 2), and response time (Tests 2–4). In addition to points allocated per test, a total score, referred to as the *football intelligence* (FI) score by the manufacturer, is calculated. We will refer to this score as the *cognition score* in the remainder of the manuscript to account for the fact that general cognitive functions and not football-specific cognitive skills are being measured. The cognition score takes the weighted performance of an individual across all tests and presents a percentile rank that compares the performance with norm values using a database of same-aged footballers (6-month bins). The exact weights and calculation of the cognition score as well as the size of the respective norm group have not been made public. Performance on the four tests (accumulated points) and the cognition score (percentile rank) served as the NeurOlympics variables evaluated in this study.

Performance level

For concurrent diagnostic validity, the performance level at the time of testing was used. The players from the professional football club (first league) were classified as elite youth footballers ($n = 57$). The players from the semi-professional football club (fourth league) were classified as sub-elite ($n = 53$).

Regarding prognostic validity criterion, the performance level two years after initial data collection was employed. The performance level was dichotomized to “selected” and “deselected,” as all players left the academy involuntarily (i. e., the responsible persons at the academy decided these players would not progress to the next year due to perceived lack of potential and performance). Of the 57 elite youth footballers, 42 players (73.7 %) were still in the academy.

Subjective assessments

For concurrent diagnostic validity, a subjective assessment of (cognitive) decision-making and performance in small-sided games was used. Each elite team played a small-sided game in balanced groups of six versus six for two \times four min. Following the Game Performance Evaluation Tool (GPET; García López et al., 2013), offensive actions for on- and off-the-ball attackers were rated (by two independent raters) for adherence to situational principles, decision-making accuracy, and execution accuracy. The raters underwent an eight-week training period to

ensure a common understanding of the manual and to clarify any questions with the developer of the tool. The inter-rater reliability was acceptable for each assessed variable (agreement > 75 %, $M = 87.1$ %), situation and application principles (prevalence-adjusted, bias-adjusted kappa—ordinal scale [PABAK-OS] $\geq .84$), decision-making and execution on-ball (Cohen's $\kappa \geq 0.67$), and decision-making and execution off-ball (Yule's $Y \geq .52$). The mean of both assessors' ratings for adherence to situation principles, on-ball and off-ball decision-making and overall performance were used as outcome variables (details in Appendix C ESM2 and ESM3). Regarding the prognostic validity, coaches' subjective ratings of the elite youth players were collected at the end of the 2022/2023 season (i. e., one year after initial data collection). The rating was based on a potential-performance matrix (Baker et al., 2018) used regularly at the academy. Coaches rated the players according to their performance throughout the season and their potential to reach a professional level in adulthood, using three categories: above average, average, below average. The outcome variable was a dichotomized rating of above average versus average and below average, as youth academies focus on the development of high-performing and talented football players who are likely to succeed in elite senior football (cf. Deutsche Fußball Liga, 2024). Of the 57 elite youth footballers, 17 players (29.8 %) were rated as above average by the coaches.

Data analysis

All analyses were conducted using SPSS version 28. For validity analyses results of t1 and t2 were used separately for the homogenous elite youth footballer sample.

Test-retest reliability (objective 1)

Reliability analyses were conducted with the raw values of NeurOlympics variables. Pearson correlations with 95 % confidence intervals were calculated to assess the test–retest reliability for the NeurOlympics tests, while Spearman's rank correlation was used for the non-parametric distributed cognition score. Test–retest correlations are generally classified for neuropsychological tests as low ($r < 0.60$), marginal ($0.60 \leq r \leq 0.69$), acceptable ($0.70 \leq r \leq 0.79$), good ($0.80 \leq r \leq .89$), and excellent ($r \geq 0.90$; Calamia et al., 2013; Strauss et al., 2006). To assess potential differences between test and retest results, paired samples t tests were conducted for test performances and Wilcoxon signed-rank test was employed for the cognition score: adjusted $\alpha = .030$ for correlations and $\alpha = .010$ for difference analyses, using the Benjamin–Hochberg method (Benjamini & Hochberg, 1995; see Appendix C ESM4 Table 16 and Table 17). According to Cohen (1988), effect sizes for the t test were interpreted as small

($d \geq 0.2$), moderate ($d \geq 0.5$), and large ($d \geq 0.8$), and for the Wilcoxon signed-rank test, as small ($r \geq 0.1$), medium, ($r \geq 0.3$), and large ($r \geq 0.5$).

Validity analyses

Age is significantly associated with the results of Test 1 (working memory; $r = .38, p < .001$), Test 2 (anticipation; $r = .28, p = .003$), and Test 4 (attention; $r = .39, p < .001$). Thus, standardized residuals (adjusted for chronological age) of the respective independent NeurOlympics variables were used for all validity analyses.

Regression analyses were run with NeurOlympics variables as predictors for the performance level assessed concurrently (elite vs. sub-elite) and two years after initial testing (selected vs. deselected). Additionally, with subjective performance ratings assessed concurrently via the GPET (four variables) and prospectively via coaches' ratings (one dichotomous variable) as dependent variables. Effect sizes were interpreted for logistic regression analyses, according to Cohen (1988), as small ($f^2 \geq 0.02$), medium ($f^2 \geq 0.15$), and large ($f^2 \geq 0.35$).

The prerequisites for regression analyses with standardized residuals were satisfied, including the lack of multicollinearity (tolerance $> .10$, variance inflation factor [VIF] < 10). All analyses were performed both for t1 and t2 within the homogeneous elite youth footballer sample. To correct for multiple testing, the alpha level was adjusted for each objective using the Benjamini-Hochberg method (Benjamini & Hochberg, 1995; see Appendix C ESM4 Table 18 – Table 24).

Diagnostic validity (objective 2)

To assess diagnostic validity regarding the concurrent performance level, two separate logistic regression analyses were calculated using the performance level (elite vs. sub-elite) as dependent variable. In the analyses, the independent variables were either the four subtest performances (t1) or the cognition score (t1; adjusted $\alpha = .05$).

To evaluate diagnostic validity in relation to subjectively assessed concurrent performance, 16 separate regression analyses were conducted using the results of the test or retest of either the four subtest performances or the cognition score. The four GPET variables – adherence to situational principles, decision-making as on-ball or off-ball attacker, or GPET game performance – were used separately as dependent variables (adjusted $\alpha = .013$ for all analyses).

Prognostic validity (objective 3)

To assess the prognostic relevance for subjectively assessed future performance after one season, four separate logistic regression analyses were conducted. In the analyses, NeurOlympics

test or retest results of either the four subtests or of the cognition score were used as predictors, with coaches' rating (above average vs. not) as the dependent variable (adjusted $\alpha = .013$).

To assess prognostic relevance regarding performance level after two seasons, four separate logistic regression analyses were performed. Here, the predictors were the NeurOlympics test or retest results of either the four subtests or the cognition score, and the dependent variable was performance level (selected vs. deselected) two years later (adjusted $\alpha = .013$).

Results

Descriptive statistics for the samples can be found in Appendix C (ESM5 Table 25 [overall sample] and Table 26 [age and performance groups]).

Regarding test-retest reliability of NeurOlympics, marginal reliability was shown for attention ($r_{tt} = .68$, 95% CI = [.50;.81]) and the global cognition score ($r_{tt} = .63$, 95% CI = [.41;.78]), whereas the values of working memory ($r_{tt} = .42$, 95% CI [.15;.63]), anticipation ($r_{tt} = .19$, 95% CI = [-.10;.45]), and cognitive control ($r_{tt} = .15$, 95% CI = [-.14;.41]) demonstrated low reliability. Differences between the two test performances were non-significant for the subtests (all $p \geq .456$). For the global cognition score (presented in percentile ranks), retest results ($Mdn = 27$) were significantly higher than test results ($Mdn = 9$; asymptomatic Wilcoxon-test: $z = 4.40$, $p < .001$, $n = 48$), indicating a medium effect ($r = .30$) (see Appendix C ESM6 Table 27 and Table 28).

In terms of diagnostic validity, separate univariate analyses revealed each NeurOlympics subtest is significantly associated to the performance level with cognitive control ($\chi^2(1) = 68.79$, Nagelkerkes $R^2 = .62$, $p < .001$, correctly assigned players: 81.8%) and attention ($\chi^2(1) = 99.39$, Nagelkerkes $R^2 = .51$, $p < .001$, correctly assigned players: 80.0%) having the highest, and working memory ($\chi^2(1) = 4.99$, Nagelkerkes $R^2 = .06$, $p = .030$, correctly assigned players: 59.1%) and anticipation ($\chi^2(1) = 19.96$, Nagelkerkes $R^2 = .22$, $p < .001$, correctly assigned players: 70.9%) the smallest impact. Also, the NeurOlympics subtests significantly predict performance level in the multiple logistic regression model ($\chi^2(4) = 73.38$, Nagelkerkes $R^2 = .68$, $p < .001$, $N = 110$, correctly assigned players: 87.3%), indicating a large effect ($f^2 = 2.13$). Among subtests, however, only cognitive control ($b = 2.42$, Wald = 15.31, $p < .001$, Exp(b) = 11.27; 95% CI = [3.35;37.91]) and attention ($b = 1.31$, Wald = 7.10, $p = .008$, Exp(b) = 3.72; 95% CI = [1.42;9.79]) were significant predictors. A significant model ($\chi^2(1) = 10.92$, Nagelkerkes $R^2 = .13$, $p < .001$, $N = 110$, correctly assigned players: 60.9%) with a medium effect ($f^2 = 0.15$) emerged when using the cognition score ($b = 0.74$, Wald = 8.72, $p = .003$, Exp(b) = 2.09; 95% CI = [1.28;3.39]) (Appendix C ESM7 Figure 19).

Using the subjectively assessed game performance as criterion for diagnostic validity in the elite youth footballer sample, the cognition score emerged unexpectedly as a negative significant predictor for adherence to situational principles ($F(1,47) = 9.84$; $Adj. R^2 = .16$, $p = .003$, $B = -.42$) with a medium effect ($f^2 = 0.19$), while NeurOlympics subtests and cognition score failed to meet the respective significance level for the other GPET variables (all $p \geq .300$). Using NeurOlympics results from t2 does not change the pattern of results (see Appendix C ESM7 Table 30 and Table 31).

Regarding prognostic validity, the four subtests and the cognition score failed to predict future performance variables in the elite youth footballer sample. Specifically, using the subjective coaches rating (after one year) as criterion, neither the four subtests (t1: $\chi^2(4) = 2.35$, $Nagelkerkes R^2 = .06$, $p = .672$; t2: $\chi^2(4) = 1.93$, $Nagelkerkes R^2 = .06$, $p = .748$), nor the cognition score ($\chi^2(1) = .00$, $Nagelkerkes R^2 = .00$, $p = .979$) showed prognostic validity. Additionally, neither of the four subtests ($\chi^2(4) = 1.90$, $Nagelkerkes R^2 = .05$, $p = .755$), nor the cognition score ($\chi^2(1) = .11$, $Nagelkerkes R^2 = .00$, $p = .743$) predicted the performance level after two years. Using NeurOlympics results from t2 does not change the pattern of results (Appendix C ESM 8 Table 32 and Table 33).

Notable, neither using the mean values of both performances or the best performance per player of t1 and t2, changes the result pattern for diagnostic and prognostic validity analyses within the homogenous youth elite player sample (see Appendix C ESM9 Table 34 – Table 39). Also, using different categorizations of the coaches rating (above average vs. average vs. below average; above average and average vs. below average) does not change the pattern of results for prognostic validity (see Appendix C ESM 10 Table 40 – Table 44).

Discussion

Newly developed generic cognitive diagnostic tools, such as the NeurOlympics, are increasingly utilized in elite youth football. This study provides a valuable addition to the existing research by investigating the reliability as well as the diagnostic and prognostic validity of the NeurOlympics test battery in elite youth football, while controlling for chronological age. Additionally, based on previous recommendations (Baumeister et al., 2007; Bergkamp et al., 2019; Murr et al., 2018), both performance level *and* subjectively assessed performance, as well as concurrent *and* future performance indicators, were employed. Overall, performance differences in NeurOlympics variables were detected between concurrent performance levels in favor of elite youth players. However, within a homogeneous youth elite footballer sample, we found low to marginal test–retest reliability, no link to on-field performance as well as no prognostic

validity. We encourage other researchers to specifically test (commercial) cognitive diagnostic instruments, which often have unknown psychometric properties, and to report and publish nonsignificant results. This approach addresses potential publication bias and informs applied practitioners working in the assessment of generic cognitive functions in sport and exercise psychology (Furley et al., 2023; Furley & Memmert, 2011; Harris et al., 2018; Kalén et al., 2021). Together with a focus on replication studies (also for the present study), this seems even more pertinent given the discussion regarding the overinterpretation of single-study results in the context of psychological aspects in football (for a current discussion regarding an ideal psychological profile including cognitive functions, see Bonetti et al., 2025a, 2025b; Musculus et al., 2025).

The test–retest correlations (*Objective 1*) among the NeurOlympics variables exhibited considerable variation, with none demonstrating acceptable relative reliability (all $r < .69$). The marginal (cognition score; Test 4 [attention]) and insufficient (Test 1 [working memory], Test 2 [anticipation], Test 3 [cognitive control]) test–retest reliability results contradict the high values promoted by the manufacturer (BrainsFirst, 2020). For the AIQ, as a comparable instrument, low to good reliability (test–retest correlations $r = .57–.84$) has been reported (Bowman et al., 2021)²⁸.

By using a two-week retest interval in the current study, we ensured no substantial cognitive development influenced the retest results, as may be the case in samples of healthy children and adolescents (Ellis-Stockley et al., 2025; Hashida et al., 2024). A significant difference with a marginal effect was observed in test performances for the cognition score, raising concerns about the absolute stability of the cognition score when presented in percentile ranks. Given the initial cognition score was low ($Mdn = 9$), even minor improvements in raw scores may have resulted in notable increases in percentile ranks. These results warrant further investigation using varying test–retest intervals, different age groups, a longer habituation to the testing procedure, and an assessment of internal consistencies. The two latter aspects could not be examined in the current study due to lack of access to the trial-level raw data and limited access to elite youth footballers. Taking into consideration the lack of sufficient absolute and relative reliability within this study, which is a serious concern, the application of NeurOlympics as a (talent-)diagnostic instrument needs to be approached with caution, as reliability – both absolute and relative – is a prerequisite for performance tests (cf. Ackermann, 2014; Weakley et al.,

²⁸ Although Bowman et al. (2021) reported test-retest correlations, the results stem from a white paper published on the company's website reporting insufficient details (Athletic Intelligence Measures, 2020). Therefore, the values need to be read with caution.

2024). Measures to improve and ensure reliability (e. g., by using more practice trials) should be implemented both in scientific study and in the applied setting (cf. Finkenzerler et al., 2021; Weakley et al., 2024).

Concurrent diagnostic validity (*Objective 2*) regarding performance level (elite vs. sub-elite) was established in univariate analyses for all NeurOlympics variables, with Test 3 (cognitive control) and Test 4 (attention) having the largest effect (both Nagelkerke's $R^2 > .50$). In multiple regression analysis, a significant large effect ($f^2 = 2.13$) emerged for the combination of Test 3 (cognitive control) and Test 4 (attention), but not for Test 1 (working memory) and Test 2 (anticipation). This partly aligns with previous research indicating superior inhibitory control in elite youth football players (Huijgen et al., 2015; Verburgh et al., 2014) and adult team-sport athletes (Fleddermann et al., 2023) compared to their non-elite counterparts. However, the direction of the effect, "whether expertise affects inhibition performance or vice versa" (Fleddermann et al., 2023, p. 6), cannot be determined for cognitive control and attention based on cross-sectional analyses. Diagnostic validity was also established for the cognition score, albeit with a smaller effect ($f^2 = 0.15$), indicating that the subtest results of Test 3 (cognitive control) and, to a lesser extent, Test 4 (attention) seem, based on this study, better suited to differentiate between performance levels. The diagnostic value in a heterogeneous group supports the notion of a minimum threshold of necessary cognitive functions required to successfully compete at an elite youth level. Any increase beyond this threshold seems to not impact football performance in a homogeneous sample of elite youth football players (Beavan, Spielmann et al., 2020). For example, in our study, performance-level differences (elite vs. sub-elite) for Tests 1, 2, and 4 were more pronounced in the U11 and U12 age groups compared to the U14 and U15 age groups; for example, Test 4 (attention) U11/U12: $M_{\Delta} = 5488.19$, U14/U15: $M_{\Delta} = 2363.44$. For Test 3, the difference remained roughly consistent across all age groups (see Appendix C ESM5 Table 26). These results should be interpreted with caution, due to the presence of an unreliable variable showing diagnostic validity regarding concurrent performance level (i. e., Test 3 [cognitive control]). Reliability, however, is considered a vital component for establishing validity (Ackermann, 2014; Weakley et al., 2024).

Notably, the NeurOlympics has a fixed, standardized order. The two meaningful tests regarding diagnostic validity, Test 3 (cognitive control) and Test 4 (attention), were the last two tests administered, while Test 1 (working memory) and Test 2 (anticipation) showed no additional relevance beyond that of Test 3 and Test 4. Considering the length of NeurOlympics (approximately 45 min), there may have been confounding variables such as generic concentration ability or personality-related facets (e. g., motivational or emotional aspects) that could have

influenced the results (cf. Furley et al., 2023; Kilger & Blomberg, 2020). Another factor may be that elite players are more familiar with standardized testing procedures than non-academy players are, which potentially mitigates test anxiety that otherwise negatively impacts performance on complex (cognitive) tasks (Fuchs & Fuchs, 1986). Therefore, future studies should employ a balanced test order to eliminate potential test sequence effects and control for external variables potentially influencing the results.

The lack of a positive relationship between *NeurOlympics* variables and subjective performance variables assessed via GPET corroborates previous studies that found no association between performance on cognitive tests and on-field performance (e.g., Ehmann et al., 2022). However, previous studies have also reported a link between (selected) generic cognitive test performances and tactical game performance (e. g., Carnevale et al., 2022; Heilmann et al., 2022). For instance, one study utilized the System of Tactical Assessment in Soccer (FUT-SAT; Costa et al., 2011) to assess tactical performance and found inhibitory control, measured via the stop-signal test, along with biological maturation and sprint capacity was associated with both offensive and overall tactical game performance. In addition, cognitive flexibility, measured via the design fluency test, combined with aerobic resistance was linked to defensive tactical performance (Carnevale et al., 2022). Similarly, Heilmann et al. (2022) employed a simplified version of the Game Performance Assessment Instrument (GPAI; Oslin et al., 1998) to assess game performance and found inhibition, assessed by the flanker task, in conjunction with calendar age was related to ratings of players' game performance. The results of the current study question this link using *NeurOlympics* and GPET, thereby raising uncertainty about the extent to which generic cognitive functions are related to concurrently assessed game performance in elite youth football.

One possible explanation for the limited relationship between *NeurOlympics* variables and the concurrent subjectively assessed game performance in the homogeneous elite youth football sample is the inherent difficulty in evaluating game performance in invasion team sports, such as football (González-Víllora et al., 2015; Klingner et al., 2022). Although the GPET allowed for the distinction of cognitive (i. e., decision-making) and technical (i. e., execution) skills and had acceptable inter-rater reliability, the number of actions rated per player for on-ball (five to 24) and off-ball situations (twelve to 43) varied widely, limiting informational value and comparability between players (see Appendix C ESM2 Table 15). Additionally, a potential ceiling effect may have impacted the adherence to situational principles, as the mean accuracy was extremely high (92.4 %) with a small range (min: 74.1%, max: 100%) (see Appendix C ESM2 Table 15). These factors could account for the medium negative relationship between

cognition score and adherence to tactical principles. It should also be noted that using a notational system such as the GPET captures only a few minutes of players' behavior at a certain time point, with a lack of experimental control to conclude on their game performance and on-field decision-making. This limits the informative value compared to longer time periods or standardized sport-specific decision-making tasks (e. g., Höner, 2005; Murr et al., 2021). Taking the diagnostic validity in heterogeneous groups into account, this study expands the body of evidence regarding an expertise effect in general cognitive functions (Kalén et al., 2021; Scharfen & Memmert, 2019a). However, given the lack of diagnostic validity in a homogeneous group of youth elite football players, it also calls into doubt whether, and to what extent, generic cognitive functions are related to sport-specific (cognitive) performance (Fransen, 2024; Furley & Memmert, 2011; Zentgraf et al., 2017).

No prognostic validity (*Objective 3*) with nonexistent (cognition score) and weak (subtests) effects was found, adding to the literature questioning the link between performance on generic cognitive tests and future performance (Furley et al., 2023; Kalén et al., 2021). At the same time, these results contrast previous studies that demonstrate a link between performances on executive function tests and performance outcomes (such as playing time) in youth and adult players (Scharfen & Memmert, 2021; Vestberg et al., 2012, 2017). However, it must be noted that no game-related variables (such as assists, goals scored, minutes played) were used in this study. Instead, global measures after one (coaches rating) and two (performance level) years were utilized, potentially limiting the comparability with previous studies. Additionally, the prognostic validity may have been influenced by factors such as group specificity, compensability, and the prognosis period (Höner et al., 2023). For example, one- and two-year prognosis intervals are common but relatively short and have been criticized (cf. Murr et al., 2018). Especially for homogeneous samples in terms of performance level (elite youth) and heterogeneous samples in terms of age (U11–U15), future studies would benefit from using the performance level reached at adulthood (e. g., at 21 years of age) for all participants. Additionally, tracking the longitudinal development of performances in cognitive functions, comparable to physiological, physical, and technical aspects, seems worthwhile (Leyhr et al., 2018). Another reason for the lack of prognostic validity in the elite youth sample may be the assessment of general instead of domain-specific cognition. NeurOlympics tests are derived from neuropsychological origins and lack sport specificity both in terms of stimuli and answer requisites. This transfer of out-of-context cognitive tests has previously been criticized as reductionistic (cf. Anshel & Lidor, 2012; Kilger & Blomberg, 2020). Additionally, the lack of prognostic validity in this study adds to the literature questioning the *far* transfer of generic cognitive functions to

sport-specific performance measures (Fransen, 2024; Furley et al., 2023; Furley & Memmert, 2011; Zentgraf et al., 2017).

Overall, NeurOlympics was found to have diagnostic validity for detecting performance differences between heterogeneous groups (elite vs. sub-elite), mainly driven by Test 3 (cognitive control) and, to a lesser extent, Test 4 (attention). However, in the homogenous elite youth football sample, a lack of reliability and no diagnostic and prognostic validity was found. Therefore, based on this study, the application of NeurOlympics as a talent-diagnostic tool in youth football cannot be recommended due to serious constraints in reliability and validity. This is in line with others urging caution when using tests assessing generic cognitive functions in the context of talent identification (cf. Beavan, Spielmann, et al., 2020; Kalén et al., 2021; Reinhard et al., 2025).

Limitations

Several limitations need to be acknowledged. First, due to limited access to elite youth football players and resource constraints, convenience sampling was used. Future studies should utilize larger samples to increase statistical power. Post hoc sensitivity analyses using R Statistical Software (v4.2.2; R Core Team, 2022) with the package *pwr* (Champely, 2023) for logistic regression analyses revealed a minimum detectable effect size of Cohen's $f^2 = .11$ (four subtest predictors) and Cohen's $f^2 = .07$ (one cognition score predictor) for diagnostic validity ($u = 4$, $N = 110$, $1-\beta = .80$) and Cohen's $f^2 = .23$ (four subtests predictors) and Cohen's $f^2 = .14$ (one cognition score predictor) for prognostic validity (see Appendix C ESM11). Future studies could follow a multicenter approach, whereby academies using NeurOlympics (or any other cognitive diagnostic) could align with independent researchers to test the psychometric properties with larger samples to increase statistical power.

Second, while chronological age was accounted for as confounding variable, other factors such as emotional and physical states (cf. Furley et al., 2023) or the device used for testing (cf. Holden et al., 2019) were not controlled for. However, standardized instructions, trained experimenters, and consistent testing times in rested state ensured objectivity. Future studies should consider additional potential confounding variables, such as biological maturation (Leyhr et al., 2024) when assessing the relationship between cognitive functions and football performance measures.

Third, the lack of access to raw trial-level data restricted the scope of analyses and insights generated. For instance, reconstruction of percentile ranks for the cognition score and calculation of internal consistencies or split-half reliability were not possible. Access to raw data and

sharing of anonymized data obtained by clubs and associations using NeurOlympics (or other cognitive assessments) would advance our understanding of cognitive diagnostics in football.

Lastly, the focus of this study was not to contribute to the theoretical background regarding the role of cognition for sport expertise, but to empirically evaluate a commercial test battery developed for use across contexts. The labels of the tasks in NeurOlympics have been provided by the manufacturer and are based on neuropsychological paradigms, often used in clinical and/or animal studies (e. g., Isoda & Hikosaka, 2007). They do not resemble general classifications of relevant general cognitive functions in sports (such as Kalén et al., 2021; Scharfen & Memmert, 2019). Also, cognitive tasks, especially of executive functions, are known for their task impurity, meaning that a test designed to measure one cognitive construct measures several simultaneously (cf. Furley et al., 2023). This underpins the importance of clear conceptualization and labeling of measured constructs, especially due to the various stakeholders (researchers, practitioners, companies) involved (cf. Baker et al., 2023; Marsh, 1994; Martin et al., 2019; Ong, 2015). As NeurOlympics has been promoted and is used at various football clubs and federations, the aim of this study was to provide relevant information on empirical evidence in elite youth football for sport psychologists working in the field and considering the implementation of cognitive diagnostics for the purpose of talent identification.

Recommendations for the applied work

In practice, clubs and federations in youth football are in search of outstanding top-talents among highly talented footballers. Additionally, in the process of talent identification, prognostic validity is crucial in guiding decision-making. In this study, neither the sensitivity in identifying top-talent nor the prognostic validity could be shown. Therefore, based on the findings, including the lack of test–retest reliability, the use of NeurOlympics in youth academies as a talent-diagnostic tool cannot be recommended. However, in this study, NeurOlympics Test 3 (cognitive control), to a lesser extent, Test 4 (attention), and the cognition score are significantly linked to performance levels (elite vs. sub-elite) in younger age groups. Yet, Test 1 (working memory) and Test 2 (anticipation) show no additional relevance beyond Test 3 and Test 4. Hence, the use of generic cognitive diagnostics such as NeurOlympics as a talent-diagnostic tool in elite youth football should be approached with caution. Notably, similar concerns regarding the usage of generic cognitive tests for talent identification have been raised, whether paper–pencil (Design Fluency Test; Finkenzeller et al., 2021) or computerized (determination test; Beavan, Spielmann et al., 2020). These tests are often criticized as reductionistic and out-of-context, failing to account for the broader factors influencing performance (Anshel & Lidor,

2012; Kilger & Blomberg, 2020). Additionally, practitioners and researchers alike are asked to critically scrutinize the labeling within cognitive diagnostics. The label “football intelligence score” implies some domain-specific cognitive skill; however, it is based on the assessment of general cognitive functions without any resemblance to football (which is why we used the general term *cognition score* instead; cf. Gabler, 2000). Additionally, one should be aware of whether different labels are used for the same construct, for example, attention and inhibition (jangle fallacy; Marsh, 1994; Martin et al., 2019). Lastly, practitioners should especially focus on sensitivity and prognostic validity in homogeneous elite youth samples, as this resembles the challenge in the applied field to identify those players in an academy who will progress to elite senior level. Based on this study, generic cognitive assessments such as NeurOlympics should not be used for individual (de)selection decisions of young football players in youth academies. Before implementation, issues with objectivity, reliability, and validity need to be clarified and critically evaluated (cf. Anshel & Brinthaupt, 2014), and it is recommended that practitioners adhere to clear criteria when considering using cognitive tests (e. g., those presented in a decision flow chart by Weakley et al., 2024).

Conclusion

The objectives of this study were to evaluate the reliability and the diagnostic and prognostic validity of the generic cognitive test battery NeurOlympics in youth football. Results showed only marginal test–retest reliability for attention and the global cognition score, with low reliability for working memory, anticipation, and cognitive control. Regarding diagnostic validity, elite youth players outperformed youth players on all assessed NeurOlympics variables in univariate analyses. In multiple regression analysis, Test 4 (attention) and Test 3 (cognitive control) emerged as significant discriminators of performance level. However, within a homogeneous elite youth sample, there is no association between NeurOlympics test performances and concurrently assessed performance in small-sided games, nor any prognostic validity for future performance assessed via performance level and subjective ratings. In conclusion, NeurOlympics was found to have diagnostic validity for detecting performance differences between heterogeneous groups (elite vs. sub-elite). However, in the homogeneous elite youth footballer sample, there was a lack of reliability, and no diagnostic and prognostic validity was found. Therefore, the use of generic cognitive diagnostics such as NeurOlympics as a talent-diagnostic tool elite youth football should be approached with caution and not be used for individual (de)selection decisions.

3.3 Beitrag 3: An assist for cognitive diagnostics in soccer: two valid tasks measuring inhibition and cognitive flexibility in a soccer-specific setting with a soccer-specific motor response

Musculus, L., Lautenbach, F., Knöbel, S., **Reinhard, M. L.**, Weigel, P., Gatzmaga, N., Borchert, A., & Pelka, M. (2022). An assist for cognitive diagnostics in soccer: two valid tasks measuring inhibition and cognitive flexibility in a soccer-specific setting with a soccer-specific motor response. *Frontiers in Psychology, 13*, 867849. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.867849>

[Das vorliegende Manuskript entspricht der akzeptierten Version des in der Zeitschrift *Frontiers in Psychology* innerhalb der *Section Movement Science* publizierten Artikels, der seit dem 31. März 2022 online verfügbar ist]

Key points

- We developed tasks that allow to measure inhibition and cognitive flexibility in a soccer-specific setting with a soccer-specific motor response.
- We validated these cognitive tasks in two studies ($N = 77$, $N = 63$).
- We provide tasks for cognitive diagnostics in a soccer-specific setting with motor responses in the field.

Introduction

Cognitive skills are important for soccer performance, recognized by researchers, applied sport psychologists, coaches, and players alike as a “crucial part of the modern game” (Perarnau, 2016, p. 124). That cognitive skills affect sports performance has also been supported by scientific literature (Kalén et al., 2021; Scharfen and Memmert, 2019a; Voss et al., 2010). However, this research is rarely used as a basis for cognitive diagnostics in the field. Most of the diagnostic instruments used to assess cognition have not been theoretically derived or empirically validated (Beavan, 2019; Keegan et al., 2017; Memmert, 2019). The aim of this project was to overcome this gap by (1) developing cognitive diagnostics in a soccer-specific setting requiring a soccer-specific motor response that are at the same time standardized and more ecologically valid and by (2) validating these tasks.

Cognition in Sport

In sports, research on cognition has mostly been based on two approaches: The cognitive component skills approach (Nougier et al., 1991) and the expert performance approach (Ericsson, 2003). Both approaches have been used to explore the expertise of athletes. The assumption is that athletes show better general (cognitive component skills approach) or better sport-specific cognitive processes (expert performance approach) than non-athletes. We argue that it is fruitful

to combine the strengths of these two approaches and develop more ecologically valid, cognitive tasks applied in a soccer-specific setting requiring a soccer-specific motor response (expert performance approach) based on and showing convergent validity with well-established standardized computer-based cognitive tasks (cognitive component skill approach).

Cognitive Component Skills Approach

Researchers focusing on the cognitive component skills approach assume that athletes outperform non-athletes in *general* cognitive functions assessed with standardized computer-based cognitive tasks and button press responses. Such tasks have typically been developed in the field of cognitive psychology and are not sport-specific (see a detailed list in Diamond, 2012; Friedman et al., 2008). General cognitive functions include executive functions, which are top-down processes that regulate thoughts and behavior (Diamond, 2012; Miyake and Friedman, 2012). There is general agreement in the literature that inhibition, working memory, and cognitive flexibility are the core executive functions (see reviews by Diamond, 2012; Miyake and Friedman, 2012). While there is an ongoing debate about the usefulness and added value of (diagnosing and training of) executive functions to improve sports performance (see e.g., Beavan, Spielmann et al., 2020; Simons et al., 2016), results of meta-analyses show that athletes outperform non-athletes in these general cognitive tasks (Scharfen and Memmert, 2019a; Voss et al., 2010).

From a theoretical and an applied perspective investigating inhibition and cognitive flexibility is highly relevant. *Inhibition* is the “deliberate, controlled suppression of prepotent responses” (Miyake et al., 2000, p. 57), and *cognitive flexibility* refers to “shifting back and forth between multiple tasks, operations or mental sets” (p. 55). Theoretically, the unity-diversity framework considers inhibition to reflect the common executive function (unity) and is considered to be part of all other executive functions (Friedman and Miyake, 2017; Miyake and Friedman, 2012). In other words, inhibition is necessary for cognitive flexibility and working memory (diversity) and thus, of interest for our research. From an applied perspective, the crucial impact of inhibition and cognitive flexibility on soccer performance is evident and thus, under investigation: In a dynamic soccer situation, players frequently need to control their action alternatives and inhibit or ignore irrelevant stimuli (i.e., inhibition) and be adaptive (i.e., cognitive flexibility). In particular, players have to inhibit their previously intended action by inhibiting this prepotent action in favor of an alternative, for example when a player one was intending to pass to becomes marked by an opponent. In response to the rapidly changing situational demand, players

need cognitive flexibility to quickly switch between alternative action options, for example when the coach announces a change of tactics from the side-line.

Overall, regarding the relative importance of executive function, especially inhibition and cognitive flexibility are relevant due to the increasing speed of play (Wallace and Norton, 2014) and its relation to soccer expertise and performance (Huijgen et al., 2015; Vestberg et al., 2012). In particular, most recent studies highlight this positive impact of players' inhibitory control (Heilmann et al., 2022; Sakamoto et al., 2018) and cognitive flexibility (Vestberg et al., 2020) on soccer performance. Nevertheless, beyond these general cognitive demands, soccer requires *specific* cognitive skills that depend on the sport context. The cognitive component skills approach has been criticized for not accounting for these specific skills (Ericsson, 2003). Overall, the theoretical value and methodologically the sport specificity of tasks is the main difference between the cognitive component skills approach and the expert performance approach.

Expert Performance Approach

In the expert performance approach, participants, mainly athletes, are tested in sport-specific cognitive tasks that are aiming to be of high ecological validity. Sport-specificity refers to the setting (e.g., being tested in a position typical for the sport; room for movement), the stimuli presented (e.g., pictures or videos of stimuli relevant to the sport), and/or the required response (e.g., moving in a similar way to when doing the sport such as intercepting movements, passing a ball).

The main assumption is that athletes of higher expertise will outperform athletes of lower expertise in sport-specific cognitive tasks. Researchers have used this approach to study the perceptual-cognitive skills involved in a range of behaviors, from gaze behavior, attention allocation, and anticipation to decision making. Research has demonstrated that athletes also outperform non-athletes in sport-specific cognitive tasks (see meta-analyses by Kalén et al., 2021; Mann et al., 2007; Scharfen and Memmert, 2019a). Even though the expert performance approach aims at higher ecological validity and sport specificity is considered highly valuable in studying expertise differences, tasks used in studies conducted with this approach still often *lack a-sport-specific response* (e.g., show pass direction with a finger or by pressing a key or button; Voss et al., 2010). This is crucial as meta-analyses emphasize the crucial impact of sport-specific stimuli and responses (Kalén et al., 2021; Mann et al., 2007).

Presenting sport-specific settings and requiring sport-specific motor responses is nowadays possible through the technological advances in the field of cognitive diagnostics and training. Tools such as Footbonaut (Saal and Fiedler, 2014), Helix (Kittelberger, 2018), or the SoccerBot

(Heilmann et al., 2021), provide new possibilities to assess cognition in (more) ecologically valid settings, which is attractive to coaches and players. Following this argument, a recent study used the SoccerBot360 to administer cognitive tests requiring soccer-specific responses (i.e., passing a ball; Heilmann et al., 2021). However, the study has methodological limitations such as the low amount of trials used (e.g., 6 trials for an anticipation test). This is why the reliability and robustness of the data and the conclusions drawn remain questionable and preliminary. Thus, in the current project, we aimed to overcome limitations through a theory-driven approach to develop cognitive tasks in a soccer-specific setting including a soccer-specific response and by systematically testing their construct validity. In particular, we combined the strengths of the two cognitive approaches: That is, we focused on the assessment of executive functions based on well-established computerized tasks (cognitive component skills approach). In addition, inspired by the strength of the expert performance approach, we aimed to develop more sport-specific, more ecologically valid inhibition, and cognitive flexibility tasks: We developed sport-specific cognitive tasks (i.e., setting and response by passing a ball) which could be used for cognitive diagnostics in soccer-specific settings in research and in the field in the future.

The Present Project

We conducted two studies. For the first study, soccer players were recruited to perform both general and soccer-specific inhibition and cognitive flexibility tasks (flanker and number–letter tasks). Soccer-specific means that the tasks were conducted in a setting, in which participants were standing and responding to stimuli by executing soccer-specific responses, namely pass to goals. We tested adolescent soccer players from a professional youth academy because the inhibition and cognitive flexibility reach adult level during adolescence (Best and Miller, 2010; Huizinga et al., 2006).

We expected the participants to show a flanker effect and a switch effect in the soccer-specific cognitive tasks that would be comparable to those in the general versions of the tasks assessing inhibition and cognitive flexibility, respectively (Hypothesis 1). In terms of convergent validity, we expected to see a positive relationship between the general, non-sport-specific tasks and the tasks with a soccer-specific setting and a soccer-specific response modality for both inhibition and cognitive flexibility (Hypothesis 2).

Moreover, in a more exploratory fashion, we examined the relationship between inhibition and cognitive flexibility. Based on the unity/diversity framework (Friedman and Miyake, 2017; Miyake and Friedman, 2012) that describes the relations between executive functions as

separable but “not completely independent,” we expected that inhibition and cognitive flexibility are positively correlated (Hypothesis 3). In detail, we assumed that congruent trials in the flanker task would be related to no-switch trials in the number–letter task and that incongruent trials would be related to switch trials for the general tasks and the soccer-specific versions of the tasks.

Materials and Methods: Study 1 (Validation)

Participants: Study 1 (Validation)

A priori analysis in G*Power (Erdfeilder et al., 2009) revealed a required sample size of a minimum of 63 participants [ρ H1 = 0.4, α = 0.05, $1-\beta$ = 0.95; the effect size estimate is based on previous work on executive functions by Huizinga et al. (2006)]. A total of 77 male soccer players from the youth academy of a German first division soccer club participated in the study. They were born between 2001 and 2005 (M_{age} = 15.7 years, SD_{age} = 1.3) and belonged to the U15, U16, U17, and U19 youth teams. We selected the U15 as the youngest team to participate because inhibition and cognitive flexibility reach adult-level by age 15 (Best and Miller, 2010; Huizinga et al., 2006). On average, participants had played soccer for 10.34 years (SD = 2.4) and practiced 10.11 h/week (SD = 2.69). At the time of data collection (July 2019), their teams were playing at the top level of their respective age group and the players had been part of a professional youth academy for an average of 4.5 years (SD = 2.5). Prior to the investigation the club obtained written informed consent from the participants and their legal guardians. The study was carried out in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the ethics committee of the German Sport University Cologne (Number 056/2019).

Materials: Study 1 (Validation)

Instruments to Measure General and Soccer-Specific Cognition

To measure general inhibition and cognitive flexibility, we presented the computerized cognitive tasks on a 15-in. flat-screen monitor (1,280 × 960 pixels at 60 Hz) at a viewing distance of approximately 60 cm, using Inquisit 5 (2018). Participants were asked to press the correct key depending on the task. We decided to cover the relevant keys (“E” and “I”) with neutral colors (i.e., white and black stickers) to make the tasks as clear as possible.

To measure inhibition and cognitive flexibility in a soccer-specific manner, the general computerized cognitive task was transferred to the SoccerBot360 by Umbrella Software. The SoccerBot360 is a circular training device with a diameter of 10 m that provides for a 90-m² field surrounded by a 32-segment wall, each segment 1-m wide and 2.5-m high, serving as a

projection area for the training content and against which played balls can be kicked (see Appendix D, Figure 20). Six high-definition projectors, providing a 360° experience, project the training content. An integrated high-speed camera enables the recording of parameters such as response time, processing time, and accuracy. The playing field's ground consists of artificial grass. Thereby, the SoccerBot360 provides a soccer-specific setting by projecting footage of a 360° environment (e.g., a soccer field). Additionally, it can be programmed to provide soccer-specific stimuli (e.g., players, goals) that we used for the flanker task, and it enables the measurement of a soccer-specific response (e.g., response time and accuracy when hitting a certain target; see Appendix D Figure 20).

Inhibition

An arrow version of the flanker task (B.A. Eriksen and C.W. Eriksen, 1974) was used to measure general and sport-specific inhibition. It is a commonly used and robust cognitive task (Hedge et al., 2018). For the computerized task, the stimuli were five black arrows on a white background presented on a computer screen. The middle arrow was identified as the target arrow. The arrows either pointed all in the same direction (congruent trials) or the middle arrow only pointed in the opposite direction (incongruent trials), as illustrated in Figure 9A. Participants were asked to respond only to the target arrows by pressing either the white key (the covered “E” key) when the target arrow pointed to the left or the black key (the covered “I” key) when the target arrow pointed to the right as quickly and accurately as possible, thereby inhibiting the flanking stimuli.

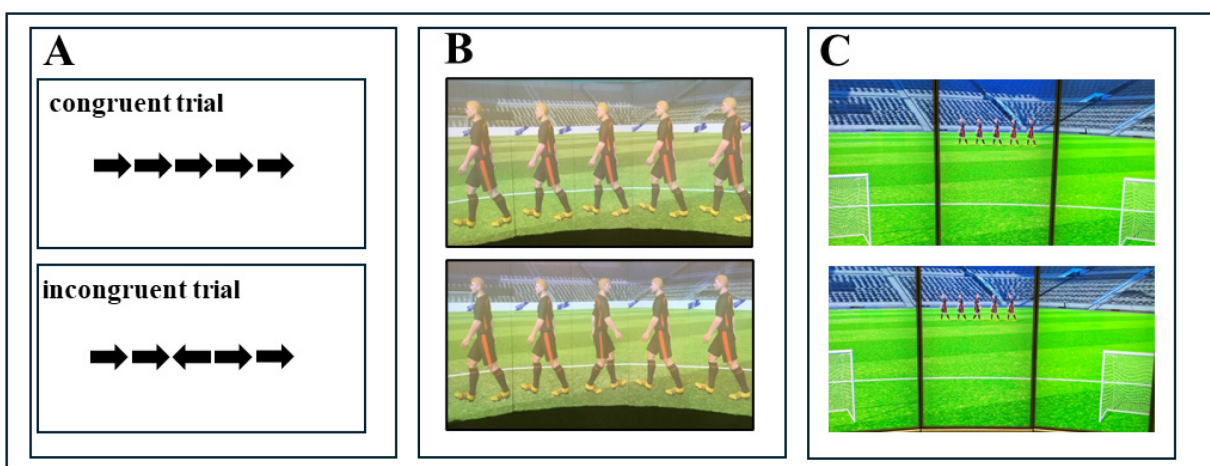


Fig. 9. Flanker task for the computerized version (A), adapted for the SoccerBot360 (B) and after revision in SoccerBot100 (C). Images of SoccerBot reproduced with permission from Umbrella Software.

For the flanker task developed and used in the SoccerBot, setting, response, and stimuli were soccer-specific: Players were standing in a soccer field, they had to respond by passing a ball, and as stimuli, five soccer players were presented from the side (Figure 9B). In accordance with the general flanker task, the target player was in the middle with two players on each side. Depending on the direction in which the target player faced, participants were asked to kick the ball into the left or right goal presented on either side of the players. From here on, we refer to this task as soccer-specific flanker task.

Requiring participants to process both flankers and targets at the same time is the main idea of the flanker task (Verbruggen et al., 2004). Because congruent flankers activate the correct response, but incongruent flankers prime an incorrect response (Ridderinkhof & van der Molen, 1995), response times are expected to be prolonged in the incongruent trials, where participants must inhibit the incorrect response (Coles et al., 1985). The so-called flanker effect is determined by the participants' individual difference between incongruent and congruent mean response time for correct trials. The lower the flanker effect, the better the inhibitory control.

Further details of the general and soccer-specific flanker task are presented in Appendix D Table 45 (see Appendix D Table 46 for justification based on previous studies). It should be noted that we used twice as many congruent trials as incongruent trials because using fewer incongruent trials has been shown to ensure higher demand on inhibitory control (for flanker task, see Krenn et al., 2018).

Cognitive Flexibility

Cognitive flexibility was assessed using a version of the number–letter task as adapted from Rogers and Monsell (1995) by Miyake et al. (2000). For the computerized as well as the SoccerBot360 task, participants were presented with a 2×2 matrix (see Figure 10). In each trial, a number–letter pair (e.g., 4I or A7) appeared in one of four quadrants. The numbers were even (2, 4, 6, 8) or odd (3, 5, 7, 9). The letters were vowels (A, E, I, O) or consonants (G, K, M, R). When the number–letter pair appeared in one of the top two quadrants, participants were asked to focus on the letter, pressing the white “E” key when the letter was a consonant and the black “I” key when it was a vowel. When the number–letter pair appeared in one of the bottom two quadrants, participants were asked to focus on the number, pressing “E” when the number was even, and “I” when the number was odd.

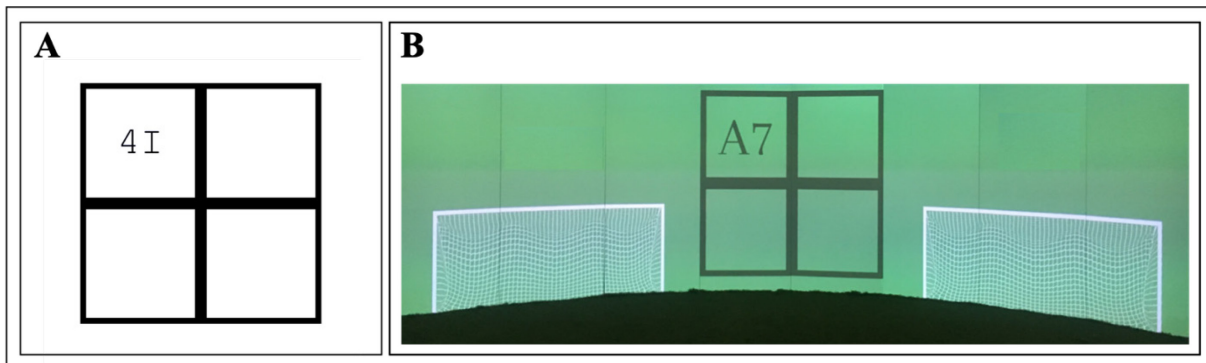


Fig. 10. Number-letter task in the computerized version (A) and adapted for the SoccerBot360 (B). Images of SoccerBot reproduced with permission from Umbrella Software.

For the number-letter task developed and used in the SoccerBot, setting, and response were soccer-specific: Players were standing in a soccer field and had to respond by passing a ball to one of the goals depending on the presented stimulus. From here on, we refer to this task as soccer-specific number-letter task.

The number–letter task is designed to assess how people switch between two different sets of rules depending on the context (i.e., presented stimuli and stimuli location). Whereas response time is typically slower for “switch trials” (i.e., change in rule: switch from number to letter or vice versa) compared to “no-switch trials” (i.e., no change in rule: continuing number or letter task), the reverse is true for accuracy, that is, fewer correct switch trials compared to no-switch trials (Monsell, 2003). This so-called switch cost or switch effect is therefore calculated as the difference in response times and accuracy between the switch trials and the no-switch trials. Participants with lower shift costs are thought to have higher cognitive flexibility.

Further details of the general and soccer-specific number–letter task are presented in Appendix D Table 45 (see Appendix D Table 46 for justification based on previous studies).

Control Variables: Motivation, Physical Exertion, Fun

Motivation of the participants was assessed as a control variable. For this purpose, they answered the question “How motivated are you at this moment?” on a visual analog scale (VAS; Crichton, 2001) of 0 (*not at all*) to 100 (*highly*) before performing the computerized and SoccerBot360 tasks. The scale was presented in digital form on a tablet.

In addition, perceived physical exertion of the participants was assessed using the 15-point Borg scale for ratings of perceived exertion (Borg, 1970). This assessment was also made before participants performed the tasks to control for potential increased physical load during the experiment.

Finally, we assessed perceived fun regarding the tasks. Players were asked to answer the question “How much fun did you have doing the current task?” on a VAS scale of 0 (*none*) to 100 (*a lot*).

Procedure: Study 1 (Validation)

Our first step was to develop the tasks to measure soccer-specific inhibition and cognitive flexibility. This was accomplished in collaboration with the soccer club academy’s sport psychologists and sports scientists. Programmers of the Umbrella Software Company then implemented this task for the SoccerBot360.

Next, we ran a pilot study with three players and two coaches at the participating academy. They performed both tasks and gave critical feedback especially for the soccer-specific tasks. Considering their experience with the SoccerBot360 and their knowledge and competencies in soccer, we reduced the number of trials (flanker task: 144 to 108 test trials; number–letter task: 128 to 112 test trials) and the response stimulus interval was reduced from 2,000 to 1,000 ms.

For the final experiment, players were informed about the study by their coaches and sports psychologists prior to data collection during the teams’ preseason preparation in 2019 and written informed consent was obtained before testing from the participants or their legal guardians by the club. The experiment was conducted in the youth soccer academy of the participating club and lasted approximately 75 min for each player. The general computerized tasks were executed in a dressing room for referees and the SoccerBot360 is in the academy’s sports hall, an approximately 2-min walk away. Two experimenters supervised the study, one overseeing the computer room and one the SoccerBot360, alternating daily.

The study followed a cross-sectional approach. First, participants were asked to fill out demographic and soccer-specific questionnaires. This was followed by the general cognitive tasks on the computer. After that, participants were asked to walk to the SoccerBot360 where they were then asked to warm up individually for 5–10 min to reduce the risk of injuries, before starting the tasks in the SoccerBot360. All tasks on the computer and the SoccerBot360 were presented in a counterbalanced order. The order of the versions (i.e., first computer, second SoccerBot360) was set for logistical reasons but more importantly, in order to familiarize the players with each task and reduce the number of practice trials, and therefore the physical load, in the SoccerBot360, especially for the number–letter task. Before both the computerized cognitive task and the soccer-specific cognitive tasks participants were asked to fill out the Borg scale to assess perceived physical exertion and the VAS assessing motivation. In the end, players were asked to state how much fun they had had and were thanked for their participation.

Data Preparation: Study 1 (Validation)

For both the flanker and the number–letter task, all trials with incorrect responses were excluded from the analysis (2.38% computerized flanker task; 0.10% soccer-specific flanker task; 9.11% computerized number–letter task; 5.34% soccer-specific number–letter task). In a second filter for the computerized task, all trials with response times lower than 200 ms or higher than 1,750 ms in the flanker tasks (0.01%) and lower than 200 ms or higher than 3,000 ms in the number–letter tasks (2.55%) were excluded to account for extreme results (e.g., Lautenbach et al., 2016). For the soccer-specific tasks, the same filter (flanker task: 0.39%; number–letter task: 1.28%) was used but with 400 ms as the lower bound, assuming longer response times for whole-body actions that take into account the visuomotor interval and the time interval between take-off of the kicking foot and ball contact (as also described by Morya et al., 2003). A third filter excluded response times $\pm 3 SD$ from the individual mean (1.22% computerized flanker task; 0.95% soccer-specific flanker task; 0.87% computerized number–letter task; 1.22% soccer-specific number–letter task).

Overall, three players had to be excluded because of incomplete data sets (one in the computerized tasks, one in the soccer-specific tasks, one for both the computerized and the soccer-specific tasks). For the flanker task, an additional three participants were excluded because of their overall error rates in the first filter, either on the computerized task ($> 15\%$) or on the soccer-specific task ($> 10\%$; see Verbruggen et al., 2004). For the number–letter task, nine participants were excluded because they had an average accuracy (i.e., percentage of correct trials) of 70% or less in either the computerized ($n = 4$) or the soccer-specific ($n = 5$) task (in accordance with Adrover-Roig et al., 2012). In total, analyses of the flanker task include data of 72 participants and analyses of the number–letter task include data of 66 participants. Complete data sets were available for 63 participants.

Data Analyses: Study 1 (Validation)

The dependent variables were first checked for normality and outliers. For the soccer-specific flanker task in the SoccerBot360 accuracy and response time parameters in the incongruent and congruent conditions were not normally distributed. Also, for the number-letter task, no-switch trials in the computerized version and switch trials, no-switch trials and switch effect were not normally distributed in the soccer-specific number–letter task. However, recent literature shows the relative robustness of analysis of variance (ANOVA) against violations of the normal distribution, so we applied parametric tests (see Blanca et al., 2017; Wilcox, 2011).

One outlier ($M \pm 3 \times SD$) was detected for the number–letter task in the no-switch trials of both the computerized general and the soccer-specific task. Additionally, one outlier was detected only for the no-switch trials in the soccer-specific task. All data were analyzed using SPSS Statistics, version 25. Initially, the level of significance was set at $p < 0.05$ for all analyses. First, to control for potential influences of motivation and perceived exhaustion, we checked whether there was a difference in motivation or perceived exhaustion prior to the computerized and soccer-specific tasks by running two paired t -tests. If differences were found, we followed up by calculating Pearson correlations with the relevant inhibitory (congruent, incongruent) and cognitive flexibility (switch, no-switch) variables.

To test Hypothesis 1 for inhibition as well as cognitive flexibility, we ran two one-factorial multivariate analyses of variance (MANOVAs), in which we tested the main effect of condition (congruent vs. incongruent and switch vs. no-switch) on accuracy and response time in both the general, computerized task and the soccer-specific tasks. To test Hypothesis 2, we calculated Pearson correlations between inhibition (congruent, incongruent trials) and cognitive flexibility (switch, no-switch) for the general, computerized tasks and the soccer-specific tasks, respectively. Finally, we ran a dependent t -test to assess the fun participants perceived during the two versions of the tasks.

Results: Study 1 (Validation)

Statistical analyses indicated the same pattern of results when outliers were included and thus all analyses are reported including the outliers. The descriptive statistics for response times and accuracy for the computerized general and soccer-specific versions of the flanker task and number–letter task are shown in Table 5. Reliability, assessed via split-half reliability (coefficient r) and Cronbach’s Alpha for response time parameters, show high values for both computerized general (flanker, congruent: $r = 0.89$; $\alpha = 0.93$, incongruent: $r = 0.86$; $\alpha = 0.89$, number-letter, switch: $r = 0.82$; $\alpha = 0.95$, no-switch: $r = 0.82$; $\alpha = 0.93$) and soccer-specific tasks (flanker, congruent: $r = 0.98$; $\alpha = 0.96$, incongruent: $r = 0.96$; $\alpha = 0.95$, number-letter, switch: $r = 0.92$; $\alpha = 0.94$, no-switch: $r = 0.90$; $\alpha = 0.95$).

Tab. 5. Descriptive statistics for the general, computerized and the soccer-specific versions of the tasks measuring inhibition (flanker; $n = 72$) and cognitive flexibility (number-letter; $n = 66$)

Task	Descriptive statistics			
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Study 1: Number–letter task				
RT, computerized, no-switch trials (ms)	897.56	202.77	653.56	2,046.09
RT, computerized, switch trials (ms)	1,411.69	262.06	806.21	2,061.25
Accuracy, computerized (%)	90.11	6.67	72.66	100.00
RT, soccer-specific, no-switch trials (ms)	1,229.13	232.16	871.76	2,116.49
RT, soccer-specific, switch trials (ms)	1,392.21	269.03	939.89	2,086.85
Accuracy, soccer-specific (%)	94.30	5.39	75.89	100.00
Study 1: Flanker task				
RT, computerized, congruent trials (ms)	403.46	34.65	328.87	505.41
RT, computerized, incongruent trials (ms)	425.53	35.36	342.90	515.77
Accuracy, computerized (%)	94.97	2.48	91.15	100.00
RT, soccer-specific, congruent trials (ms)	990.10	153.59	800.82	1,595.18
RT, soccer-specific, incongruent trials (ms)	1,001.29	150.73	807.39	1,631.77
Accuracy, soccer-specific (%)	99.88	0.005	98.61	100.00
Study 2: Revised Flanker task				
RT, computerized, congruent trials (ms)	393.42	53.59	603.80	308.60
RT, computerized, incongruent trials (ms)	421.49	49.33	330.28	621.17
Accuracy, computerized (%)	98.52	1.83	93.06	100.00
RT, soccer-specific, congruent trials (ms)	997.93	154.09	729.55	1402.72
RT, soccer-specific, incongruent trials (ms)	1027.66	161.24	717.72	1517.44
Accuracy, soccer-specific (%)	99.94	0.32	98.15	100.00

Note: RT = response time

Control Variables (Motivation, Perceived Exhaustion, and Perceived Fun)

There was no significant difference in motivation prior to the computerized general ($M = 77.51$, $SD = 21.44$) and soccer-specific ($M = 73.73$, $SD = 21.96$) tasks, $t(62) = 1.7$, $p = .094$, $d = 0.17$. However, the perceived exhaustion was significantly higher prior to the soccer-specific task in the SoccerBot360 ($M = 13.32$, $SD = 2.07$) in comparison to the general task on the computer ($M = 11.17$, $SD = 3.05$), $t(62) = 4.99$, $p < 0.001$, $d = 0.83$. A Pearson correlation, however, did not show any significant correlations between perceived exhaustion and performance in the computerized ($r < .15$, $p > .257$) or soccer-specific ($r < .20$, $p > .116$) tasks. Finally, elite youth soccer players found the soccer-specific tasks in the SoccerBot360 to be significantly more fun ($M = 75.86$, $SD = 21.6$) than the computerized tasks ($M = 66.16$, $SD = 21.13$), $t(62) = 3.457$, $p = .001$, $d = 0.45$.

Inhibition

Flanker Effect (Hypothesis 1)

For the flanker task, the 2 (Task Version: computerized vs. soccer-specific) \times 2 (Trial: congruent vs. incongruent) repeated-measures MANOVA showed a significant multivariate main effect of

task version, Wilks's $\Lambda = .05$, $F(2, 70) = 610.20$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .95$, and trial, Wilks's $\Lambda = .38$, $F(2, 70) = 58.02$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .62$, as well as a significant interaction of task version and trial, Wilks's $\Lambda = .68$, $F(2, 70) = 16.30$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .32$, on both dependent variables. Following up the significant multivariate main effect with univariate ANOVAs showed that the main effects of task version and trial were significant for both response time, task version: $F(1, 71) = 1082.50$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .94$; trial: $F(1, 71) = 92.95$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .57$, and accuracy, task version: $F(1, 71) = 116.91$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .62$; trial: $F(1, 71) = 30.03$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .30$. Further, the Task Version \times Trial interaction was also significant for response time, $F(1, 71) = 14.43$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .17$, and accuracy, $F(1, 71) = 21.73$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .23$.

To scrutinize the significant interaction in the flanker task, we conducted further repeated-measures ANOVAs for each task version separately. For the computerized general flanker task, the repeated-measures ANOVA showed a significant main effect of trial for response time, $F(1, 71) = 122.797$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .63$, and accuracy, $F(1, 71) = 27.013$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .28$. Also, for the soccer-specific flanker task in the SoccerBot360, a main effect of trial for response time was detected, $F(1, 71) = 20.602$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .23$, indicating that participants needed significantly longer to respond to incongruent trials in comparison to congruent trials (i.e., flanker effect). However, no significant main effect was found for accuracy, $F(1, 71) = 0.724$, $p = .389$, $\eta_p^2 = .01$, indicating that participants responded correctly most of the time (congruent: 99.92%; incongruent: 99.85%) independent of the type of trial.

Convergent Validity (Hypothesis 2)

For the computerized and the soccer-specific flanker tasks, correlational analyses revealed no significant correlations for response time (congruent trials: $r = .14$, $p = .234$; incongruent trials: $r = .19$, $p = .11$) or accuracy (congruent trials: $r = -.02$, $p = .86$; incongruent trials: $r = -.12$, $p = .32$). This indicates that the newly developed soccer-specific flanker task is not related to the general, computerized flanker task.

Cognitive Flexibility

Switch Effect (Hypothesis 1)

For the number–letter task, the 2 (Task Version: computerized vs. soccer-specific) \times 2 (Trial: congruent vs. incongruent) repeated-measures MANOVA showed a significant multivariate main effect of task version, $F(1, 64) = 23.56$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .42$, and trial, $F(1, 64) = 212.99$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .87$, as well as a significant interaction of task version and trial, $F(1, 64) = 143.09$, $p = .005$, $\eta_p^2 = .82$, on both dependent variables. Following up the significant

multivariate main effect with univariate ANOVAs, main effects of task version and trial were significant for response time, task version: $F(1, 65) = 33.49, p < .001, \eta_p^2 = .34$; trial: $F(1, 65) = 376.51, p < .001, \eta_p^2 = .85$, and accuracy, task version: $F(1, 65) = 30.30, p < .001, \eta_p^2 = .32$; trial: $F(1, 65) = 137.06, p < .001, \eta_p^2 = .68$. Further, the Task \times Trial interaction was also significant for response time, $F(1, 65) = 239.10, p < .001, \eta_p^2 = .85$, and accuracy, $F(1, 65) = 33.56, p < .001, \eta_p^2 = .68$.

For the soccer-specific number–letter task in the SoccerBot360, the ANOVAs revealed a significant main effect of trial for response time, $F(1, 65) = 128.28, p < .001, \eta_p^2 = .66$, and accuracy, $F(1, 65) = 23.80, p < .001, \eta_p^2 = .27$. This indicates that participants were faster and more accurate in the no-switch trials (response time: $M = 1.229.12, SD = 232.16$; accuracy: $M = 95.56, SD = 5.35$) compared to the switch trials (response time: $M = 1.392.21, SD = 269.03$; accuracy: $M = 93.05, SD = 6.18$) in the soccer-specific cognitive flexibility task.

Convergent Validity (Hypothesis 2)

For the computerized and soccer-specific number–letter tasks, correlational analyses revealed positive medium correlations: For response time and accuracy, the tasks were positively correlated for switch (response time: $r = .53, p < .001$; accuracy: $r = .44, p < .001$) and no-switch (response time: $r = .53, p < .001$; accuracy: $r = .37, p = .002$) trials. In sum, these correlational patterns indicate that the soccer-specific number–letter task has convergent validity with the general, computerized number–letter task.

Relation Between General and Sport-Specific Inhibition and Cognitive Flexibility (Hypothesis 3)

The exploratory correlational analyses to investigate if the relation between inhibition and cognitive flexibility was comparable for the general, computerized task and the newly developed soccer-specific task revealed comparable correlational patterns for response time in the congruent inhibition and no-switch trials (see Table 6).

Tab. 6. Correlations between inhibition (measured with congruent and incongruent trials in the flanker task) and cognitive flexibility (measured with switch and no-switch trials in the number–letter task) in the general, computerized and the soccer-specific tasks.

Variable	Number–letter task	Computerized task		Soccer-specific task	
		Congruent	Incongruent	Congruent	Incongruent
Reaction time	No-switch	.15	.06	.32**	.33**
	Switch	.27*	.19	.27*	.26*
Accuracy	No-switch	.17	.17	.09	.11
	Switch	.21	.21	.04	.25*

* $p < .05$. ** $p < .001$.

Intermediate Discussion Study 1 (Validation)

In Study 1, we tested elite youth soccer players who performed general, computerized cognitive tasks and the adapted soccer-specific tasks to assess inhibition and cognitive flexibility. For the soccer-specific cognitive tasks in the SoccerBot360, players were standing and moving with the ball (soccer-specific setting) and had to respond with a sport-specific response, namely, by passing a ball. In short, the results revealed that the soccer-specific cognitive flexibility task had acceptable convergent validity, while the soccer-specific inhibition task was not. The results will be discussed in more detail in the general discussion below. However, two potential limitations of Study 1 led to the follow-up study: First, Study 1 was conducted with elite youth soccer players, which could limit the generalizability of the results. Second, the soccer-specific inhibition task showed lacking convergent validity. This is why we revised the soccer-specific inhibition task and enrolled adult soccer players in the follow-up Study 2.

Study 2: Follow-Up

The follow-up Study 2 aimed at modifying and further testing the convergent validity of a revised flanker task for the soccer-specific setting in a sample of adult soccer players. The soccer-specific flanker task developed and tested in our main study did not show satisfactory convergent validity. As a potential reason for these results, we identified the size of the player stimuli and the size-relation of presented stimuli and the distance of the participants to the screen. In detail, the players presented on the screen were simply too tall for the viewing distance of 5 m. Consequently, the size of the players was distinctly reduced for the soccer-specific flanker task. For this size adjustment, we calculated the optimal presentation size of the stimuli based on a realistic virtual angle of 2.5–3.7° in relation to a 5 m distance to the screen proposed by Murphy et al. (2016) (see also Loffing et al., 2011). This led to a presentation size of 38 cm height and 20 cm width for each player stimulus (see Figure 9C for the new size of player stimuli

presented). Further, the number of trials was reduced by half for both tasks, especially to reduce physical load and prevent injuries as well as to avoid a decrease in motivation. Based on correlational analyses regarding the results of split-half reliability in Study 1 the reduction of trials did not affect the reliability of the tasks (computerized task congruent: $r = .89$, incongruent: $r = .86$ and soccer-specific task congruent: $r = .98$, incongruent: $r = .96$). We hypothesized, as in the main Study 1, that participants would show a flanker effect in the soccer-specific flanker task in the SoccerBot that would be comparable to the effects found in the computer-based versions of the task assessing inhibition (Hypothesis 2.1) and that the revised soccer-specific flanker task would show a positive correlational relationship to the general flanker task regarding convergent validity (Hypothesis 2.2).

Participants: Study 2 (Follow-Up)

Based on the *a priori* G*power analysis (for exact settings see Study 1), a total of 63 male soccer players ($M_{\text{age}} = 25.17$, $SD_{\text{age}} = 4.81$) participated in the study. Only adult players with soccer experience of at least one competitive season in club football were included. Twenty-one participants used to play in a youth academy when they were younger. On average, participants had played soccer for 16.17 years ($SD = 5.61$) and practiced 4.72 h/week ($SD = 2.69$). Most players played in the 6th ($n = 27$) and 7th highest league in Germany ($n = 13$), whereas only two players played in the 9th and 10th league. Four played in the 4th highest, nine in the 5th highest league, and finally six played in the 8th highest league. Prior to the investigation, informed consent and assent for all players was received. The study was carried out in accordance with the Declaration of Helsinki.

Material: Study 2 (Follow-Up)

To measure general inhibition, the computerized flanker task was presented in the same way as in the main Study 1. To measure inhibition soccer-specifically, the SoccerBot360 inhibition task was modified and transferred to the SoccerBot100. The modified task presented five players with a height of 38 cm on a 1-m wide segment (see Figure 9C). The SoccerBot100 is a smaller version of the SoccerBot360 with a smaller field but with walls for projections. The training content is shown on 7 full HD screens with a viewing angle of 100°. The playing ground is artificial grass. The starting point where the participants pass and control the ball is 5 m away from the screen which is identical to the Soccerbot360.

Data Preparation and Analyses: Study 2 (Follow-Up)

Data preparation and analyses followed the exact protocol of Study 1. Accordingly, the analyses include data of 63 participants. Two outliers ($M \pm 3 \times SD$) were detected in the congruent trials of the computerized task. Additionally, two outliers were detected in the incongruent trials of the computerized task as well as one outlier in the incongruent soccer-specific trials in the SoccerBot100.

Results: Study 2 (Follow-Up)

Control Variables (Motivation, Perceived Exhaustion, and Perceived Fun)

No significant difference in motivation was detected prior to the computerized and soccer-specific tasks, $t(62) = 0.861$, $p = 0.393$, $d = .10$ as well as for perceived exhaustion, $t(62) = 1.332$, $p = .188$, $d = .18$. For the fun perceived, results were similar to the results of Study 1: The participating players found the SoccerBot000 soccer-specific flanker task to be significantly more fun ($M = 85.17$, $SD = 16.61$) than the computerized task ($M = 64.32$, $SD = 25.49$), $t(62) = -6.510$, $p < .001$, $d = 0.97$.

Flanker Effect (Hypothesis 2.1)

Statistical analyses indicated the same pattern of results when outliers were included and thus, all analyses are reported including the outliers. The descriptive statistics for response times and accuracy for the computerized and revised soccer-specific versions of the flanker task are shown in Tab. 5. Reliability, assessed via split-half reliability and Cronbach's alpha for response time parameters, show high values for both computerized (congruent: $r = .91$; $\alpha = .96$, incongruent: $r = .90$; $\alpha = .91$) and soccer-specific task (congruent: $r = .94$; $\alpha = .97$, incongruent: $r = .92$; $\alpha = .97$).

For the revised flanker task, the 2 (Task Version: computerized vs. soccer-specific) \times 2 (Trial: congruent vs. incongruent) repeated-measures MANOVA showed a significant multivariate main effect of task version, Wilks's $\Lambda = .04$, $F(2, 61) = 679.89$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .96$, and trial, Wilks's $\Lambda = .23$, $F(2, 61) = 101.31$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .77$, as well as a significant interaction of task version and trial, Wilks's $\Lambda = .71$, $F(2, 61) = 12.28$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .29$, on both dependent variables. Following up the significant main effect with univariate ANOVAs showed that the main effect of task version was significant for response time: $F(1, 62) = 1323.34$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .96$; and accuracy: $F(1, 62) = 37.54$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .38$. However, the main effect of trial was significant for response time $F(1, 62) = 186.84$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .75$ and for accuracy $F(1, 62) = 21.129$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .75$. Further, the Task Version \times Trial interaction was not

significant for response time, $F(1, 62) = 0.161$, $p = .689$, $\eta_p^2 = .01$, but for accuracy, $F(1, 62) = 24.14$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .28$.

To scrutinize the significant interaction in the flanker task, we conducted further repeated-measures ANOVAs for each task version separately. For the computerized flanker task, the repeated-measures ANOVA showed a significant main effect of trial for response time, $F(1, 62) = 121.837$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .66$, and accuracy, $F(1, 62) = 23.627$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .28$. Also, for the revised soccer-specific flanker task in the SoccerBot100, a main effect of trial for response time was detected, $F(1, 62) = 80.545$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .57$, indicating that participants needed significantly longer to respond to incongruent trials in comparison to congruent trials, presenting the typical flanker effect. However, no significant main effect was found for accuracy, $F(1, 62) = 0.197$, $p = .658$, $\eta_p^2 = .00$, indicating that participants responded correctly most of the time (congruent: 99.95%; incongruent: 99.91%) independent of the type of trial.

Convergent Validity (Hypothesis 2.2)

For the computerized and the adjusted soccer-specific flanker task, correlational analyses revealed significant correlations for response time (congruent trials: $r = .61$, $p < .001$; incongruent trials: $r = .62$, $p < .001$) but not for accuracy (congruent trials: $r = -0.15$, $p = .243$; incongruent trials: $r = .04$, $p = .749$).

Intermediate Discussion Study 2 (Follow-Up)

The follow-up Study 2 aimed to test a revised version of the soccer-specific inhibition task with adult soccer players. In Study 2, the size of players presented in the SoccerBot100 for the adjusted soccer-specific flanker task was distinctly reduced in comparison to the presentation in the main Study 1. The results showed a flanker effect for response time, with participants reacting more slowly in response to incongruent compared to congruent trials. However, no flanker effect was found for accuracy in the adjusted soccer-specific flanker task. Participants were similarly correct when responding to congruent and incongruent trials, which is contrary to general findings on the flanker task (Miyake et al., 2000) and to the results found in the general, computerized task. Thus, it seems that it was easier for participants to respond correctly in the adjusted soccer-specific flanker task, which will be discussed in detail below.

For convergent validity of the general and adjusted soccer-specific flanker inhibition task, we found strong positive correlations for response time parameters in both task conditions. Results regarding the reliability and validity of the reaction-time measure indicate that the revised version of the flanker task for the SoccerBot100 can be used to assess inhibition in adult soccer

players. However, the results have to be interpreted carefully, as validity could only be detected for response time parameters so far.

For accuracy, very low variance in this revised version of the task was apparent, so that despite the reduced size of the projected stimuli (i.e., players), this might be a reason why we did not detect the expected positive correlations. In this vein, the longer times needed for motor responses could be an important aspect to consider regarding the relationship between the accuracy values of the computerized and the SoccerBot100 flanker task. Based on the memory-drum theory by Henry and Rogers (1960), stating that response times are directly related to the complexity of the response that has to be initiated, the soccer-specific response requiring players to execute a precise pass with the foot can be considered more complex and in need of more comprehensive motor preparation than a button press with the index finger, resulting in longer times until execution. Thus, in the soccer-specific setting, the players might have had more time to potentially suppress their first response tendency and to inhibit their response because the activation and movement of the corresponding muscles take longer. This might be an explanation for the low errors in the adjusted soccer-specific flanker task.

General Discussion

In the present project, we aimed at developing and validating inhibition and cognitive flexibility tasks in a soccer-specific setting including soccer-specific responses. Thereby, it was our goal to combine the strengths of the cognitive component skills approach and the expert performance approach by assessing general executive functions in a more ecologically valid setting requiring a soccer-specific response. To evaluate the newly developed tasks, we conducted a first validation study with 72 elite youth soccer players and a follow-up study with 63 soccer players, in which a revised version of the soccer-specific flanker task was tested further.

Soccer-Specific Inhibition Task Shows Flanker Effect but no Convergent Validity

In the present project, our soccer-specific flanker task (i.e., soccer-specific setting, stimuli, and response) presented images of players facing left or right. As expected, the results showed a flanker effect for response time, with participants reacting more slowly in response to incongruent compared to congruent trials. This seems to show that the participants needed to cognitively engage more to inhibit a response in incongruent trials (cf. Krenn et al., 2018) and is in line with the mechanism proposed for the flanker task (B.A. Eriksen and C.W. Eriksen, 1974). However, in contrast to expectations, no flanker effect was shown for accuracy. Participants were similarly correct when responding to congruent and incongruent trials, which is contrary

to general findings on the flanker task (Miyake et al., 2000) and to the results found in the general, computerized task performed by the same participants in our main study. It seems that it was easier for participants to respond correctly in the soccer-specific setting task. This might be explained by the relatively large size of the players presented as stimuli, which might have made detection of direction easier. After refinements of the task regarding the size of the players in the follow-up study still no flanker effect was shown for accuracy. Here, it must be mentioned that the motor response in the soccer-specific flanker task in the SoccerBot360 is, on the one hand, a more complex movement in comparison to pressing a button, but on the other hand, it allows participants to suppress a started action that might have been a wrong response, thereby increasing their accuracy.

For convergent validity of the general and soccer-specific flanker task, we found no relationship in the scope of the first study. A possible explanation for not finding positive correlations for response times might be that there was fairly low variance in the computerized task, as can be seen in the descriptive statistics (see Table 5) and depicted in a scatter plot (see Appendix D Figure 21). Regarding accuracy, a very low variance in the soccer-specific flanker task, potentially due to the size of the projected player stimuli, and the possibility of adapting the motor response in the SoccerBot360 more effectively might also be why we did not detect the expected positive correlations.

Given the results of the soccer-specific flanker task in the first validation study, it seemed difficult to state confidently that the newly developed task can be considered a valid measurement and used for diagnostics in the applied field. Although the typical response latency for incongruent trials in comparison to congruent trials was evident for the soccer-specific flanker task, which indicates the assumed mechanism of the flanker effect, the results did not show convergent validity with respect to the computerized task. Consequently, further refinements (e.g., decreasing the size of presented stimuli) were implemented to increase the convergent validity when comparing a general, computerized inhibition task with an adapted version in the SoccerBot100.

Following the refinements of the task, the second validation study was conducted to re-investigate convergent validity. After reducing the stimuli size, convergent validity could be established for response time parameters. This indicates that the revised soccer-specific flanker task is related to the general, non-sport-specific flanker task. Thus, the revised task can be applied to assess response time parameters reflecting inhibition. Regarding the accuracy, it seems difficult to reach values similar to the general, computerized task, which might be due to the

aforementioned reasons. Along these lines, the accuracy of the SoccerBot flanker task could be assessed beyond the correct direction (i.e., pass to the left or right) decision. The accuracy of the motor response (i.e., pass) could be better captured by assessing the precision of the pass. In detail, the precision could be captured by determining whether or not the pass hit the goal (i.e., target area). Further, the goal could even be scaled in size and different target sizes could be presented across trials to obtain a scaled accuracy and precision value for each player. This would be a high added value for diagnostics of individual players and for designing individually tailored cognitive training interventions.

Soccer-Specific Cognitive Flexibility Task Shows Convergent Validity

The soccer-specific cognitive flexibility task required participants to switch between rules and to pass a ball, accordingly, eliciting a switch effect. The results demonstrate that switching between rules negatively affected both response time and accuracy, as expected. Importantly, the costs of switching between rules also affected the soccer-specific response, that is, passing the ball in the right direction. This is important because it shows that the entire motor-cognitive control system of the participants seemed to be affected.

In addition, we looked at the convergent validity of the general and the soccer-specific cognitive flexibility tasks. The results show medium correlations for both response time and accuracy for the number-letter tasks. Thus, the soccer-specific cognitive flexibility task can be considered a valid measurement that can be applied to assess whether players can cognitively switch between rules. The task can be implemented as a cognitive diagnostic instrument with soccer-specific motor response and might be used by researchers as well as sport psychologists working in soccer.

Soccer-Specific Inhibition and Cognitive Flexibility Tasks Are Related

The relation between the two cognitive functions, that is, inhibition and cognitive flexibility, in the general computerized tasks and the soccer-specific tasks were also explored in the present project. Interestingly, while we detected only one significant correlation (for response time) within the computerized tasks, most correlations in the soccer-specific tasks in the Soccer-Bot360 were significant: The response times and accuracy for incongruent trials in the flanker task and switch trials in the number-letter task were significantly positively related, and the response times for congruent trials in the flanker task and no-switch trials in the number-letter task were significantly positively related. Thus, the harder it was and the longer it took for participants to inhibit a wrong response in the flanker task, the harder it was and the longer it

took for them to switch between rules in the number–letter task. Even though the correlations between inhibition and cognitive flexibility are not as strong as presented in previous research (e.g., $r = .77$ in Friedman et al., 2011), the pattern of results is in line with the theoretical predictions of the unity–diversity framework (Miyake and Friedman, 2012). Therefore, it can be argued that especially for the soccer-specific tasks, there is theoretical support and conceptual overlap. This conceptual overlap indicates a relation between the constructs in accordance with the unity–diversity framework and lends support to the face validity of both soccer-specific tasks assessed in the SoccerBot360.

Given that the general and sport-specific tasks are not highly correlated, the newly developed tasks also seem to differ to some degree from the general cognitive tasks. Thus, it could be discussed to which degree the soccer-specific tasks implemented here, should be considered cognitive tasks and to which degree the motor response might even make it a *motor task*. However, based on the medium correlations between the general and sport-specific tasks, we conclude that the shared variance reflects the cognitive core of the tasks, while the rest of the variance could be attributed to different processes influencing the performance such as perceptual and motor processes relevant for successful performance (i.e., pressing a button vs. passing a ball).

Limitations

The present project has some methodological limitations. The first is related to the study design of both studies: For each participant, the task in the SoccerBot360 was conducted after the computerized task. This could have potentially resulted in learning effects, which on the one hand were intended to reduce physical exhaustion and prevent injuries in the SoccerBot360 but on the other hand might have biased the results. However, the order of the two computerized and SoccerBot360 tasks were counterbalanced in the main study.

Second, concerning data collection, in the soccer-specific task, the starting point for passing the ball was not always exactly at the same location. However, the SoccerBot360 does not take the time the ball hits the wall as the starting time but rather the time when the ball leaves the foot of the player. Thus, response time measures should not have been affected by slightly differing starting locations of the participants. Third, the response times were inferred from a camera that assesses 120 frames/s. While this way of measuring response times is sufficient for training purposes and for assessing cognitive flexibility as shown in the main study, the diagnostics of inhibition seem to require more precise data. Technically this is feasible and can be implemented in the SoccerBot360 for similar measurements in the future. Importantly, these last two

issues did not seem to impact the results considerably when focusing on the variance in response times especially for the soccer-specific flanker task. Fourth, even though both Soccerbot tasks require a soccer-specific motor response (i.e., pass), only the Soccerbot flanker tasks also displays soccer-specific stimuli (i.e., players; see Hadlow et al., 2018). However, including a motor response can be seen as more ecologically valid and presents a first relevant step.

Finally, the follow-up study was conducted with adult soccer players in comparison to the main study which was conducted with younger players. This on the hand increases generalizability of the task but on the other hand it could be argued that those groups are not comparable. Focusing, however, on the process of data analysis, the groups are only analyzed within themselves that thus, a direct comparison is not necessary.

Future Directions

The results of the present study suggest several future directions for theory and methods in research as well as in the field. In terms of theory, future research should strive to deepen the understanding of which cognitive functions assessed in soccer-specific settings including soccer-specific responses and stimuli are related to soccer expertise. Therefore, future studies should compare different expertise groups and potentially also different age groups (cf. Beavan, Spielmann & Mayer, 2019; Musculus et al., 2019) to infer the relevance of soccer-specific cognitive functions on the route to expertise in soccer. In particular, comparing players of different ages and expertise levels can help clarify which sport-specific cognitive functions are either developing or are indeed expertise related (see e.g., Beavan, Chin et al., 2020; Heilmann et al., 2023; Turner et al., 2022). By conducting a systematic line of experiments, the predictive validity of the tasks for (future) expertise could also be established further.

Additionally, implementing other methods for validation could be highly interesting from a theoretical perspective. In the flanker task, we found the flanker effect but lower than expected error rates. In order to provide a more sensitive measure, the accuracy of the SoccerBot tasks could be assessed beyond the correct direction (i.e., pass to the left or right) decision. The accuracy of the motor response (i.e., pass) could be better captured by assessing the precision of the pass. In detail, the precision could be captured by determining whether or not the pass hit the goal (i.e., target area). This allows an additional measure about the execution of the motor response which is equally important for the evaluation of inhibition in the soccer context. Further, the goal could even be scaled in size and different target sizes could be presented across trials to obtain a scaled accuracy and precision value for each player. This would be a high

added value for the individual player diagnostics and might have direct consequences for training.

Moreover, it is of theoretical and practical relevance to understand how players cognitively adapt to pressure (e.g., Musculus et al., 2018) and the corresponding psychophysiological stress responses (e.g., Lautenbach et al., 2014). When psychophysiological stress is high, for example, at the end of a competitive soccer match, players still have to be able to inhibit and react cognitively flexible. Thus, striving to better understand how psychophysiological stress affects (sport-specific) cognitive functions is warranted (e.g., Lautenbach et al., 2016). This might be studied in the future by manipulating psychophysiological stress, and emotional states, thus targeting “resilient cognition” that is cognitive performance under psychophysiological demands (Walton et al., 2018).

Methodological issues should be discussed in light of practical applicability. To be applicable in an everyday (professional) soccer setting, the soccer-specific cognitive tasks need to be feasible (cf. Beavan, Spielmann et al., 2020). In particular, a reduction in the number of trials should be aimed at in the future. If the tasks can be reliable with fewer trials this would support the use of soccer-specific cognitive diagnostics in the future. Furthermore, though not every academy would be able (and willing) to invest in technologies such as the Soccerbot360, they could adapt existing diagnostics to their own means (see Murr et al., 2021 for decision-making). Relatedly, soccer clubs, coaches, and sport psychologists working in the field should aim at developing the potential of in-house diagnostics further (Musculus & Lobinger, 2018). In detail, it would make sense to develop shorter parallel versions of the same sport-specific cognitive tasks. Clubs could then establish their own norms and (developmental) benchmarks for sport-specific cognitive functions by enrolling new players in a systematic cognitive diagnostics program and by repeatedly testing the same players, thereby, potentially allowing for talent identification one day. Similarly, a well-established, sport-specific cognitive diagnostics program containing parallel versions could also serve as a tool for quantifying the effects of soccer-specific cognitive training interventions being conducted in the soccer lab or on the field. In this context, longitudinal studies have to be implemented investigating whether superior performance in cognitive paradigms is related to soccer performance on the field and thus can serve as potential predictor for future success (Beavan, Spielmann et al., 2020; Sakamoto et al., 2018; Van Maarseveen et al., 2018).

Beyond the specific findings of this study, the research field faces the challenge to explain complex sports performance and, potentially, to distinguish the contribution of cognitive and motor

processes to performance as well as their interaction with respect to performance. However, cognitive and motor processes in sports actions are so closely intertwined (see e.g., Roca et al., 2013) that one can also ask whether the isolation of both is at all possible – even with specific experimental designs and sensitive dependent variables – and should even be aimed at. Recent developments, especially stemming from the field of embodiment, actually move beyond the separation of cognitive and motor processes and rather focus on the interaction (e.g., Musculus et al., 2021 on embodied planning in climbing; Raab, 2021 on embodied choices).

Conclusion

In the present project, we aimed to develop soccer-specific inhibition (flanker) and cognitive flexibility (number–letter) tasks and implemented them in the SoccerBot360 and SoccerBot100, thereby, combining the strengths of the expert performance and the cognitive component skills approach. Given the flanker effect and the switch effect found for the soccer-specific tasks, one could argue that the tasks seem to place the same cognitive demands as the general, computerized versions of the tasks. This claim is further supported by the convergent validity demonstrated for cognitive flexibility and, after revision, partially for inhibition. Based on the results from our main study and our follow-up study with the revised flanker task, we would cautiously argue that the first version of the sport-specific flanker task tested in the main study was too easy: The stimuli were players as opposed to arrows, which can be considered highly sport specific and more ecologically valid, but the size of the players was too large. However, the revised sport-specific flanker task can be considered valid for response time parameters but would need revision to be considered a fully (i.e., also for accuracy) valid measurement tool. The soccer-specific version of the cognitive flexibility task showed convergent validity with the computerized version and can be used for diagnostic purposes. Together, the sport-specific tasks contribute applied and theoretical added value to cognitive diagnostics in soccer which we hope will be fruitful in the future for players, coaches, and researchers alike.

3.4 Beitrag 4: Associations between executive functions, coaches' evaluation, and performance development in youth soccer

Knöbel, S^{*}, **Reinhard, M.L.**^{*}, Borchert, A., Gatzmaga, N., Musculus, L., & Lautenbach, F. (2026). Associations between executive functions, coaches' evaluation, and performance development in youth soccer. *Scientific Reports*, *15*, 44335. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-33159-4>

[Das vorliegende Manuskript entspricht der akzeptierten Version des in der Zeitschrift *Scientific Reports* innerhalb der *Collection Sport and Performance Psychology* publizierten Artikels, der seit dem 22. Dezember 2025 online verfügbar ist]

Researchers and practitioners emphasize the multifaceted and complex performance demands in soccer. This complexity has driven an increasing integration of scientific analysis into the applied work in recent years to identify and investigate predictors of elite performance with the overarching aim to optimize talent identification and development (Vaeyens et al., 2008; Williams et al., 2020). Psychological factors, particularly cognitive skills, have become a key focus (Casanova et al., 2009; Höner et al., 2023; Williams et al., 2020). Among others, the core executive functions (EF) inhibition, working memory and cognitive flexibility are considered as potential predictors of elite performance in soccer (Scharfen & Memmert, 2019b; Vestberg et al., 2017). These top-down processes underpin higher-order cognitive processes, enabling control and regulation of thought and behavior (Huizinga et al., 2006).

Due to EFs significant development during early and middle adolescence (Huizinga et al., 2006; Karr et al., 2018; Karr et al., 2022), they are considered as potential predictors of talent and elite performance in soccer (Höner et al., 2023; Williams et al., 2020). While research suggests links between EFs and expertise (Sakamoto et al., 2018; Verburch et al., 2014) or game-relevant constructs such as game intelligence (Scharfen & Memmert, 2021), questions about their validity and predictive value persist (Beavan, Spielmann et al., 2020). Many previous studies rely on correlational data, with a lack of longitudinal or prognostic analyses needed to establish causality (Furley et al., 2023; Murr et al., 2018). In addition, research on elite players shows significant interindividual variability within samples and developmental patterns resembling those in the general population (Beavan, Spielmann et al., 2020; Knöbel et al., 2024). This prompts deeper exploration of whether elite youth players inherently possess superior EFs or develop them through gaining higher levels of experience (Beavan, Spielmann et al., 2020; Murr et al., 2018; Vestberg et al., 2017), and whether these functions can significantly contribute to senior performance in a complex and dynamic environment.

In this article, we explore several interconnected topics concerning the role of EF in elite youth soccer, specifically the association between EFs and coaches' evaluation of players' potential, their age-related development, and their predictive value of future senior performance levels.

Executive functions in sports

Core EFs, including inhibition, working memory, and cognitive flexibility (Diamond, 2013), underpin higher-order cognitive processes such as reasoning and planning. Their role in controlling and regulating thoughts and behavior makes them central to effective decision-making (Diamond et al., 2013; Voss et al., 2010). The unity and diversity framework (Miyake et al., 2000) characterizes EFs as distinct yet interconnected, emphasizing their separable but interdependent nature (Karr et al., 2018; Karr et al., 2022). Specifically, inhibition is considered as a fundamental component of both working memory and cognitive flexibility (unity), while the latter functions also encompass updating and shifting, respectively, reflecting aspects of diversity (Miyake & Friedman, 2012; Miyake et al., 2000).

This study focuses primarily on cognitive flexibility and inhibition, both of which are particularly crucial in soccer due to dynamic and unpredictable nature of the game. (Jacobson & Matthaeus, 2014). Inhibition allows players to focus their attention on relevant cues and suppress ineffective actions, such as avoiding a pass to a tightly marked teammate. Cognitive flexibility enables the rapid integration of new information, such as changes in ball possession, and facilitates adaptive behavioral adjustments. Well-developed EFs may therefore confer a competitive advantage, enhancing technical execution and tactical decision-making (Heilmann et al., 2022; Scharfen & Memmert, 2019b).

Age-related Development of EFs

The development of EFs is closely tied to the maturation and growth of brain regions, particularly the prefrontal cortex (Best & Miller, 2010; Miyake et al., 2000). Significant improvements occur between childhood and early adolescence, with the potential to reach adult-like performance levels as early as ages 12 to 15 (Huizinga et al., 2006; Zelazo & Müller, 2002). This period is followed by a slower yet continuous improvement up to the age of 18, after which EF performance plateaus (Beavan, Spielmann et al., 2020; Huizinga et al., 2006). Thus, adolescence represents a critical phase for EF development, reflecting the maturation of the underlying brain regions (Davidson et al., 2006; Huizinga et al., 2006). Research on youth elite soccer players suggests their progression mirrors that of the general population (Beavan, Chin et al., 2020; Beavan, Spielmann et al., 2020). A recent cross-sectional study indicated a pivotal

turning point in EFs around the age of 11 (Heisler et al., 2023), potentially linked to a shift in decision-making strategies (Mata et al., 2011). This aligns with evidence showing that activation of task-relevant neural networks such as the prefrontal cortex increases with age, while activity in non-involved areas decreases (Casey et al., 2010; Luna et al., 2004). Therefore, EF performance during adolescence appears to be shaped by chronological and biological age, reflecting individual differences in brain maturation (Heilmann et al., 2023).

Measuring EFs in Sports

EFs have gained growing attention in the context of talent identification in soccer. Numerous studies have demonstrated superior performance in elite players compared to amateurs, or in athletes selected versus non-selected for promotion stages, suggesting that EFs may contribute to distinguishing higher-potential players from their peers (Huijgen et al., 2015; Sakamoto et al., 2018; Vestberg et al., 2017).

In sports, research on cognition has primarily followed two distinct approaches: the cognitive component skills approach (Nougier et al., 1991) and the expert performance approach (Ericsson, 2003). The former posits that athletes possess superior general cognitive skills, assessed with general computer-based cognitive tasks, such as the Stroop and flanker tasks (inhibition), the n-back task (working memory), and the number-letter task (cognitive flexibility). Empirical studies have shown that athletes often excel in aspects such as processing speed and attention (Scharfen & Memmert, 2019a; Voss et al., 2010). However, sports require specific cognitive skills tailored to each sport, a nuance overlooked by the cognitive component skills approach (Ericsson, 2003). Consequently, a meta-analysis across sports found no evidence that general cognitive testing could predict future sports performance (Kalén et al., 2021).

The expert performance approach suggests that athletes exhibit enhanced sport-specific cognitive skills. Therefore, athletes are tested in sport-specific contexts, such as analyzing sport-related images or videos. This approach has been used to investigate perceptual-cognitive skills such as attention, anticipation, and decision-making, with research indicating that athletes outperform non-athletes in these tasks (Mann et al., 2007). To further enhance the representativeness of diagnostics tests of cognitive skills some studies incorporate standardized sport-specific motor responses (Hadlow et al., 2018; Travassos et al., 2013).

Despite extensive evidence of elite players' superiority in general and sport-specific EF tasks, as well as correlations with soccer-specific motor skills, the predictive value of EFs soccer remains unclear. It is particularly debated whether superior EF levels in youth players reflect accumulated sporting experience and expertise or are primarily influenced by genetic factors

(Beavan, Spielmann et al., 2020; Vestberg et al., 2020). Moreover, isolated measures of perception and information processing are insufficient performance indicators in soccer, as successful outcomes also involve physiological and motor-technical skills (Morgans et al., 2014). Consequently, a key challenge for research is to accurately assess cognitive skills within soccer-specific contexts and to investigate their predictive value within the sport's multidimensional performance structure (Höner, Larkin et al., 2023; Murr et al., 2018). Therefore, we follow calls for longitudinal designs and for evaluations of EFs prognostic relevance in the context of soccer (Furley et al., 2023; Ivarsson et al., 2020; Murr et al., 2018)

Aims and objectives of the present study

In this study, we aim to thoroughly explore (i) whether EFs can explain coaches' evaluations of the players' future potential, (ii) the age-related development of EFs, and (iii) the predictive value of EFs for senior performance levels in a cohort of elite youth soccer players aged 13 to 18. Analyses of (iii) are further divided into iii_a (i.e., first year on senior level) and iii_b (i.e., five years after initial tests) to address the need for different and meaningful prognostic periods (Ivarsson et al., 2020; Murr et al., 2018). Building on the successful transfer and validation of general computerized tasks for measuring cognitive flexibility and inhibition in a soccer-specific context (Musculus et al., 2022), we aim to incorporate tasks with a more soccer-specific perception-action coupling (Murr et al., 2018) and compare the contributions of both tasks to explaining soccer performance. To obtain a comprehensive understanding, we employ different dependent variables as criteria for assessing talent and performance levels. These include subjective measures, such as coaches' evaluations of players' potential (i), and objective outcomes, such as the senior league levels attained (iii_a, iii_b).

Regarding the association between EFs and coaches' evaluations (i), we hypothesized that players with higher EF performance will be rated by coaches as having greater potential to reach higher levels in senior soccer. Regarding longitudinal development (ii), we expect improved performance with age. Based on evidence indicating higher validity of domain-specific tests for distinguishing between higher and lower-skilled athletes (Kalén et al., 2021), we further expect that the sport-specific tasks will provide better predictive value (iii_a, b). Additionally, in line with research on the age-related development in EFs, we hypothesize stronger predictability for older players, as recently demonstrated across various domains of juvenile athletic performance (Güllich & Barth, 2024).

Methods

Participants

The EF data analyzed in this study originates from the 2019 preseason ($t1$), involving 77 youth soccer players from an elite youth academy in Germany (a priori analysis in G*Power (Erdfelder et al., 2009) revealed a minimum required sample size of 63 participants for the original study (Musculus et al., 2022). During this period, we administered both computerized tasks and newly developed tasks within the SoccerBot360 system to assess inhibition and cognitive flexibility. All players were members of the U15, U16, U17 and U19 youth teams ($M_{age} = 15.7$, $SD_{age} = 1.3$), competing at the highest level of their respective age group. Due to numerous factors such as injuries, transfers or players leaving the academy after U19, longitudinal data was not feasible for 43 participants from the initial data collection. Therefore, for the longitudinal analyses (ii), we used data from 34 participants who were repeatedly assessed with the adjusted version of the number-letter task in the SoccerBot360. The first measurement point (t_1 ; $M_{age} = 14.5$, $SD_{age} = 1.02$) was conducted during the preparation for the 2020/2021 season. The second measurement point (t_2 ; $M_{age} = 16.4$, $SD_{age} = 1.02$) occurred two years later, during the preparation for the 2022/2023 season (see Figure 11). Based on the original study (i), which was designed under careful a-priori power calculations, the players were followed up longitudinally (ii, iii). The final sample consisted of all eligible and available players who voluntarily agreed to participate at the time of data collection, resulting in complete data sets of (i) $n = 74$, (ii) $n = 34$, and (iii) 69 players (see data preparation and analyses for more details).

Prior to the investigation, we obtained written informed consent from the participants and their legal guardians. The study was carried out in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the ethics committee of Leipzig University (2020.11.17_eb_69).

Material

SoccerBot360

In the initial study (Musculus et al., 2022) we transferred computerized tasks in the SoccerBot360 (SB), a 10-meter diameter circular training device with a 90-m² field and a 32-segment wall for projecting training content and interacting with the ball. This setup, featuring six high-definition projectors and an integrated high-speed camera, creates a 360° environment and simulates a soccer field with artificial grass. It also enables the projection of soccer-specific stimuli (e.g., players, goals) and measures soccer-specific motor responses (e.g., passes, shots) using parameters such as response time, ball speed, and accuracy (see Appendix E Section A).

Inhibition

An adapted version of the flanker task (B.A. Eriksen & C.W. Eriksen, 1974) measured inhibition. Instead of arrows, the SB task used five side-view soccer players, with the middle player as the target flanked by two distractors on each side (see Appendix E Section A). Players pressed a white or black key in the computerized task or kicked the ball left or right in the SB task, based on the middle player's direction. In congruent trials, all players faced the same direction, while in incongruent trials, the target and flankers faced opposite directions. The validation included four practice and 144 test trials (96 congruent, 48 incongruent) in the computerized task, and 108 (72 congruent, 36 incongruent) in the SB task. Response times (ms) and accuracy (%) were recorded, and the flanker effect was calculated by subtracting mean congruent from incongruent response times.

Cognitive Flexibility

Cognitive flexibility was assessed using an adapted version of the original number-letter task (Miyake et al., 2000; Rogers & Monsell, 1995). In both computerized and SB versions, participants viewed a 2×2 matrix (see Appendix E Section A) with a number-letter pair (e.g., 4I or A7) in one of four quadrants. When the pair appeared in the top quadrants, participants responded to the letter, pressing white for consonants and black for vowels. When in the bottom quadrants, they focused on the number, pressing white for even and black for odd. In the SB task, responses were made by passing into the left or right goal instead of pressing keys. Non-switch trials kept stimuli in the same row, while switch trials required shifting focus between letters and numbers. After 24 practice trials, the computerized task included 128 test trials (64 switch, 64 non-switch) and the SB task had 112 (56 each). After successful validation of the SB task, the trial number was reduced by half. Response times (ms) and accuracy (%) were recorded, with switch costs calculated as the difference between switch and non-switch trials.

Coaches Evaluation

Coaches' subjective assessments have been demonstrated to be potentially an economical, reliable, and valid method for evaluating players' potential and predicting their future performance (Jokushies et al., 2017; Sieghartsleitner et al., 2019). Eight to ten weeks after the initial validation study, the sport psychologist of each respective club invited the coaches to assess their players. Coaches were asked to predict the level the player would reach by adulthood, categorizing them into one of the following four categories: (A) top player (professional player at Champions League level), (B) professional player (1st, 2nd, or 3rd German league, 1st league

abroad), (C) 4th league and below, or (D) 6th league and below. Therefore, the coaches' assessments focused not primarily on current performance but rather on the perceived potential of the player. This evaluation of the club's academy players was integrated into the routine operations of the academy. Consequently, the question and answer categories were not designed by the research team but were established by the individuals responsible within the academy. The academy's sport psychologists then provided access to these assessments for the study.

Assessment of senior performance levels

To assess the prognostic value of the cognitive tasks, we followed the career progression of all players who participated in the initial tests 2019. The league in which players compete serves as a performance criterion, categorizing them into different groups according to their league level. Based on the coaches categorization, the league levels were classified as "elite" for category A and B, "sub-elite" for category C, and "non-elite" for category D (Leyhr et al., 2018; Wachsmuth et al., 2024).

Procedure

The coaches' evaluation of the players' future potential (i) was collected eight to ten weeks after the initial validation study, without informing the coaches of the cognitive test results. Following the validation study, we made slight adjustments to the cognitive flexibility task by reducing the number of trials by half. The inhibition task was completely revised due to unacceptable convergent validity (Musculus et al., 2022). In the subsequent years, we tested the U15 to U19 teams annually during preseason through 2022. However, the revision and validation of the flanker task in the SB were not successfully completed until 2021. Therefore, we will focus on cognitive flexibility for the longitudinal analysis (ii).

At the start of the 2024/2025 season, with the assistance of the club and additional searches in online databases (e.g., Transfermarkt), we tracked the players' transitions to the senior level. Given the diverse age range of players at the time of testing, we utilized two distinct dependent variables to indicate future success and expertise. Firstly, we evaluated players' performance level in their initial year with a senior team (iii_a). Secondly, we collected their performance data five years after the initial test, in 2019, at the start of the 2024/2025 season (iii_b). By this time, all players had transitioned from the youth academy to the senior level. The cut-off date for current club affiliation was July 30, 2024. Figure 11 provides a comprehensive conceptual overview of the collected data, along with the research questions and the analyses conducted based on that data.

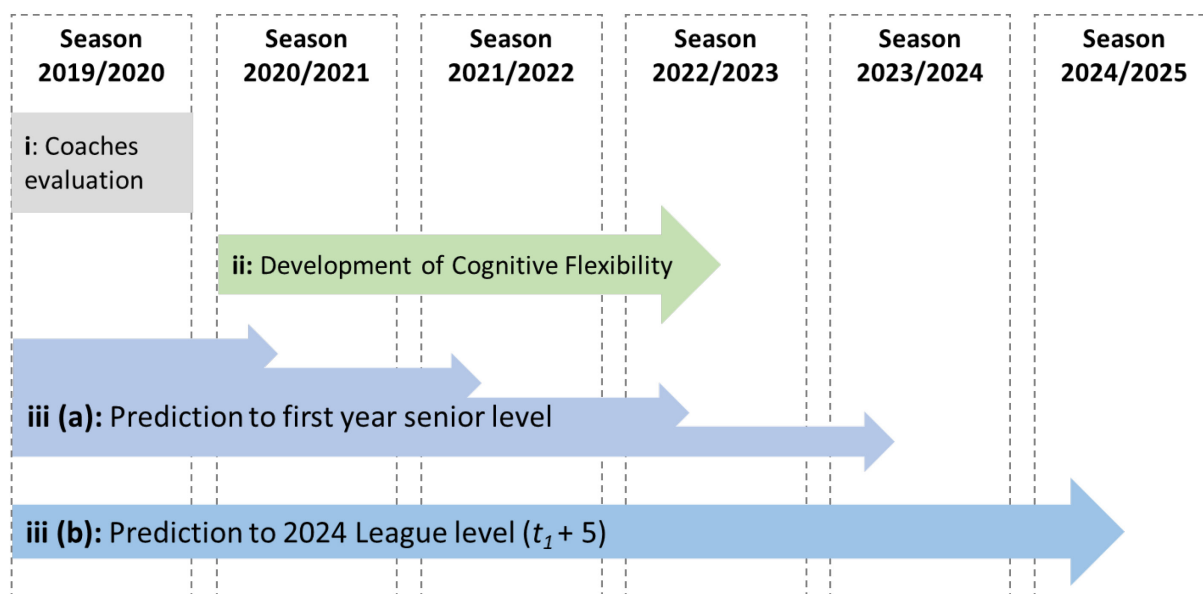


Fig. 11. Overview of data collected over time and corresponding research questions. EF data on computerized and soccer-specific inhibition and cognitive flexibility has been previously published (Musculus et al., 2022).

Data Preparation and Analyses

The statistical analyses were conducted using SPSS (version 29) and R (version 4.4.1). A two-tailed significance level of $p = .05$ was applied to all statistical tests. As indicators of cognitive performance, we utilized response times and accuracy across the respective task conditions (i.e., congruent, incongruent; non-switch, switch). The switch costs and flanker effect were excluded from the analyses to avoid redundancy, as their calculation overlaps with the mean values of the parameters already included. Additionally, difference scores are less effective for individual comparisons because they do not account for global performance levels and potential speed-accuracy trade-offs (Hughes et al., 2014). In other words, participants may have significantly slower response times compared to others but demonstrate lower switch costs if they respond more consistently in both conditions.

Coaches' evaluation

For the cognitive tasks assessing inhibition and cognitive flexibility, we only included players with complete data sets in the computerized and in the soccer-specific tasks. Because the dependent variable reflected discrete performance levels rather than a continuous outcome, a multinomial logistic regression was employed. This analytical approach is well suited for categorical outcomes, as it models non-linear relationships and does not assume normally distributed predictors (Hosmer et al., 2013; Tabachnik & Fidell, 2013). Data were collected from all

available and voluntarily participating academy players ($N = 77$); however, three players were excluded from further analyses due to missing data in one or more tests, resulting in a final sample of 74 players. To address multicollinearity among correlated EF indicators (e.g., no-switch, switch, switch costs), a principal component analysis (PCA) with oblique Promax rotation was conducted, allowing for correlations between factors (Tabachnik & Fidell, 2013). This analysis extracted four factors (Factor 1: response times for switch and no-switch trials in the SB and PC tasks, as well as SB accuracy; Factor 2: response times for congruent and incongruent trials in SB and PC; Factor 3: accuracy in congruent and incongruent trials for SB and PC; Factor 4: accuracy in switch and no-switch trials in PC). These factors extracted from the original variables were then used as predictor variables in the regression analyses (for further details, see Appendix E Section B). Although PCA primarily aims at variance reduction, the resulting components were interpreted as latent dimensions reflecting underlying executive functions, consistent with the latent variable approach used to study EF structure in previous research (Miyake et al., 2000).

Age-related development of cognitive flexibility

For the 34 participants who completed the measurements on cognitive flexibility in the SB in 2020 and 2022, we performed a multilevel analysis in R (lmerTest). In detail, a mixed-effects model with fixed effects for the predictors age and measurement time was modeled. Age was applied as a continuous between-subjects variable and measurement time (two levels: t_1 , t_2) as within-subjects variables. In a step-wise manner, we compared different models for each dependent variable separately. We compared a random intercept for the subject (i.e., allowing individual starting points) with a random intercept and random slopes model that contained either only main effects or the interaction terms in addition. This model comparison approach was followed for each of the three different dependent variables: (1) response times no-switch trials; (2) response times switch trials; (3) overall accuracy (hit rate).

Predictive value of EFs

We conducted additional multinomial logistic regressions using the league achieved in the players' first senior year (iii_a) and the league they are competing at the beginning of season 2024/2025 (iii_b). For eight players, their first senior year coincided with the current season. From the 74 players with complete datasets for analysis (i), five were excluded due to unclear classification of their current leagues or because they were not actively playing at the club level, leaving a final sample for this analysis of 69 players. Similar to the analyses on the coaches' evaluation, we ran the analyses with the four extracted factors and age as predictor variable.

Additionally, we included coaches' evaluations as a factor to assess their potential impact on player development, such as increased playing time.

Results

Descriptive statistics for the tests conducted across all participants can be found in Appendix E Section C.

Coaches' evaluation

The multinomial logistic regression model, which included the four extracted factors and age, was not significant, $\chi^2(10) = 8.439$, $p = .586$, Nagelkerke's $R^2 = 0.122$. Also, each individual predictor variable showed no significant relation to the future performance level evaluated by coaches (all $p \geq .125$, see Appendix E Section C). This result indicated that there was no meaningful statistical relation between the EFs assessed and the subjective, prospective coaches' evaluation of the player's future performance level.

Age-related development of cognitive flexibility

Longitudinal analyses, which were conducted for cognitive flexibility, revealed that the random intercept and slope model including interaction terms resulted in the best model fit for response times in the no-switch condition ($R^2 = 0.34$). The model revealed a significant main effect of age on response time ($B = -153.66$, $p = .012$) showing that older players responded faster in the no-switch condition. The time of measurement was also a significant predictor, $B = -1049.96$, $p = .004$. In particular, the analysis showed that response times decreased from t_1 ($M = 1517.82$, $SD = 344.79$) to t_2 ($M = 1152.76$, $SD = 203.22$). The main effects were further qualified by the significant interaction between age and time of measurement, $B = 58.38$, $p = .011$, indicating that the effect of age on reaction time depends on the measurement time (see Figure 12). As shown in the interaction plot, until the age of 15.7 players improved their response times in the no-switch trials significantly from t_1 to t_2 , while they did not improve significantly above that age anymore.

For response time in the switch-condition, the random intercept and slope model with interaction terms similarly resulted in the best model fit ($R^2 = 0.38$). While age had no significant main effect on response times, $B = -135.42$, $p = .065$, measurement time was a significant predictor, $B = -979.11$, $p = .030$. As observed in no-switch trials, response times were reduced from t_1 ($M = 1680.60$, $SD = 410.27$) to t_2 ($M = 1199.29$, $SD = 209.35$). Again, the main effects were further qualified by the significant interaction between age and time of measurement, $B = 49.96$, $p = .030$ (see Figure 12). As shown in the interaction plot, until the age of 16.2 players improved

their response times in the no-switch trials significantly from t_1 to t_2 , while they did not improve significantly above that age anymore.

For accuracy, the random intercept and slope model without interaction terms indicated the best model fit ($R^2 = 0.13$). Age ($B = 0.01$, $p = .334$) and measurement time ($B = 0.03$, $p = .141$) showed no significant effects.

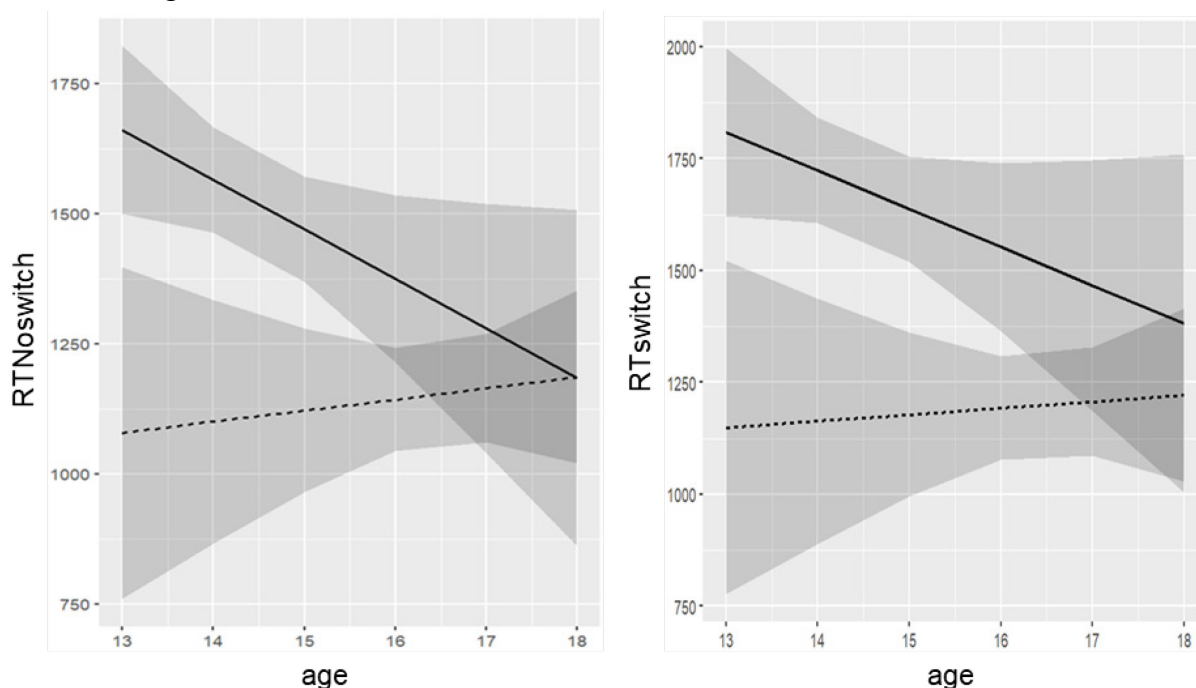


Fig. 12. Predicted reaction times in no-switch trials (ms) as a function of measurement time and age, interaction plot.

Note. $t_1 = \text{—}$; $t_2 = \text{- - - -}$. The grey zones surrounding the t_1 and t_2 mean response times across age represent the 95% confidence intervals. Therefore, the overlapping of the grey zones represents the ages where response time differences between t_1 and t_2 were nonsignificant

Predictive value of EFs

The regression model for the first senior level (iii_a) was not significant $\chi^2(14) = 18.990$, $p = .165$, Nagelkerke's $R^2 = 0.277$. Except for the “non-elite” coaches evaluation category ($C = \text{“non-elite”}$), $B = 2.66$, $p = .046$, $OR = 14.26$, none of the predictors did significantly explain variance of first-year senior league levels (see Appendix E Section C).

The model for the current league level in the 2024/2025 season also failed to demonstrate predictive validity of the cognitive variables $\chi^2(14) = 13.946$, $p = .454$, Nagelkerke's $R^2 = 0.219$, with no predictor being significant (see Appendix E Section C). All regression analyses were repeated without principal component analysis, incorporating the individual variables directly. These included two separate analyses for each measure: response times and accuracy, for both cognitive flexibility and inhibition. The regression analyses containing all dependent variables

showed the same pattern of results.

Discussion

This study investigated whether the core EFs of inhibition and cognitive flexibility can contribute to predicting the career progression of youth elite soccer players. Specifically, we examined whether EF data obtained in computer-based and soccer-specific settings could account for both subjective (i.e., coaches' assessments of talent and future performance) and objective (i.e., attained senior levels) performance parameters. Additionally, we tracked players' cognitive development over a two-year period, considering the influence of age and measurement point. Contrary to previous findings that reported positive associations between EFs and performance, the results of this study do not support a relationship between EFs and (future) soccer performance. However, these findings contribute to the ongoing debate about the role of EFs in (elite) sports.

Executive functions and coaches' evaluation

Our analyses showed no statistically significant relationship between individual EF performance, measured with general computerized and the adapted SB tasks, and coaches' evaluation of future soccer performance. The direction of associations was inconsistent, with non-significant trends suggesting both enhanced (e.g. factor 3, OR = 0.560) and diminished (e.g. factor 4, OR = 1.554) cognitive performance among elite ranked players compared to non-elite ranked players (see Appendix E Section C). These findings contrast with previous research showing a relationship reporting a link between coaches' ratings and design fluency performance, although that study focused narrowly on game intelligence ratings (Vestberg et al., 2020). Correlations have likewise been observed between game intelligence ratings and EFs (Scharfen & Memmert, 2021), suggesting that closer-defined performance constructs may be more likely related to EF performance. Another difference lies in the sample, as the other studies included adult players, where coaches' evaluation may be more reliable than in youth contexts. Besides, numerous confounding factors influence the development of soccer performance, limiting the accuracy of subjective evaluations. Subjective talent assessments in soccer often focus on aspects such as athleticism, agility, and technical-motor skills (Christensen, 2009; Meylan et al., 2010). Thus, in the youth stages, chronological and biological age, along with the resulting developmental advantages, often influence talent selection and the respective prognoses (Coble et al., 2009). Consequently, cognitive abilities may play a lesser role in coaches'

evaluations compared to directly observable attributes of players. In line with this, compensation effects have been proposed in talent research, whereby players might counterbalance lower cognitive abilities with exceptional speed and agility (Carling & Collins, 2014; Höner, Larkin et al., 2023).

Longitudinal development of cognitive flexibility

Multilevel analyses of cognitive flexibility measured with the SoccerBot revealed varying age-related changes in EFs. Cognitive flexibility, regarded as the most complex core EF (Miyake et al., 2000), is typically reported to reach adult-like levels by the age of 15 (Best & Miller, 2010; Huizinga et al., 2006). Our results confirm this trajectory, with significant interactions between age and measurement time. Younger players (ages 13–15) displayed greater fluctuations and changes across the two-year period than older players (ages 16–18). This aligns with age-related trends observed in both general and athletic population (Beavan, Chin et al., 2020; Heilmann et al., 2023; Huizinga et al., 2006). Additionally, the findings offer insights into the developmental trajectory of flexibility demands, as closer inspection revealed distinct developmental cut-offs. Response times in less complex no-switch-trials improved until age 15, whereas improvements in more complex switch-trials continued until age 16. This pattern suggests that higher switching demands remain challenging for adolescents and may therefore serve as a potential indicator to differentiate between higher- and lower-skilled athletes. For the applied setting, the strong variability before age 15 limits the diagnostic value of EF diagnostics in younger age groups. However, due to the lack of normative or reference values from other athletes or performance levels, the results do not allow for conclusions about the development of EFs in relation to sports experience and performance (Krenn et al., 2018; Musculus et al., 2018). Further, in the regression analyses predicting future performance the age at t_1 did not have a significant influence in any of the regression analyses.

Executive functions and senior performance levels

EF are widely debated in relation to future soccer performance with meta-analyses drawing divergent conclusions (Kalén et al., 2021; Scharfen & Memmert, 2019a). In the present study, EFs did not significantly predict senior performance levels, regardless of the time period examined (i.e., first year on senior level or five years after testing). Instead, coaches' evaluation, particularly categorizations as “non-elite” (OR = 14.264, $p = .046$), appeared more informative, although wide confidence intervals (1.054–193.126) highlight considerable uncertainty (see Appendix E Section C). These findings diverge from studies reporting positive relationships between EFs and expertise in soccer (Huijgen et al., 2015; Verburgh et al., 2014; Vestberg et

al., 2012), but align with others showing no predictive value (Beavan, Spielmann et al., 2020; Heilmann et al., 2023; Kalén et al., 2021). Thus, our results may help to further address a possible publication bias that has been previously highlighted in the research area of EFs in sports (Furley et al., 2023; Kalén et al., 2021). More broadly, given the complex and multifaceted nature of high performance in soccer, considering single aspects in isolation appears insufficient for predicting future success (Murr et al., 2018; Musculus et al., 2025; Williams et al., 2020). This applies not only to EF measures but also to tests of individual athletic, motor and psychological attributes (Höner et al., 2015; Musculus & Lobinger, 2018). Furthermore, generalizations across players are further complicated by positional demands as roles, objectives and performance requirements differ substantially within a team (Vestberg et al., 2020).

Methodologically, neither the general measure of cognitive flexibility and inhibition nor the adapted SB tasks demonstrate significant explanatory value, despite previous findings suggesting better differentiation with sport-specific tests (Kalén et al., 2021). Despite their specific response modalities and context, our tests remain insufficiently representative of the complex demands on the field. Additionally, test outcomes may also be influenced by other variables such as motivation, task utility, enjoyment, or experience (Furley et al., 2023; Kalén et al., 2021). In this context, testing under neutral conditions may also weaken the connection with actual soccer performance, since competitive matches involve stressors known to alter EFs (Knöbel et al., 2024; Walton et al., 2020). Therefore, advancing representative testing methods and incorporating competitive conditions are essential steps for further understanding the role of EFs in the development of athletic performance (Cañal-Bruland & Mann, 2025; Iskra et al., 2025). Based on our findings, we also question using EF measures as reliable indicators for talent identification, selection and prediction processes (Beavan, Spielmann et al., 2020, Furley et al., 2023).

Limitations

This study has several limitations that could inform directions for future research. First, the absence of comparison groups, such as amateur players or elite level adults, limits the ability to contextualize our findings. Second, the specificity of the sample – elite youth players from one club – naturally restricted the participant pool, yielding a relatively small sample size. Although typical in expertise research (Lakens, 2022; Schweizer & Furley, 2016b) this may have contributed to non-significant results. Future studies should therefore aim to collect cognitive data from larger samples, for example across different academies and institutions, similar to multi-center studies in the clinical setting (Hecksteden et al., 2022). Third, as the SB is a relatively

new instrument, normative data across different age groups and performance levels are lacking. Collecting such data and establishing benchmarks could provide valuable insights into whether specific patterns emerge across various groups and categories. Forth, we did not assess the full range of EFs. Relying on two tasks may insufficiently capture the diverse components involved. Future research should employ a broader range of tasks and scoring metric. Finally, the high correlations between cognitive variables suggest that the tasks capture the interaction between inhibition and cognitive flexibility more effectively than isolating specific aspects of EFs. In this context, it is also important to reiterate that the version of the flanker task used in the SB did not show a strong correlation with the PC test and was subsequently adjusted.

Conclusion

This study examined whether the core EFs of inhibition and cognitive flexibility can account for subjective (coaches' evaluation) and objective (adult performance level) future performance metrics in youth elite soccer players. In addition, we tracked the cognitive development of players that remained in the academy system over a two-year period, considering the influence of age and measurement point. The present findings in this sample show that EF performance was not associated with coaches' evaluation and future soccer performance levels, while cognitive flexibility showed age-related developmental trends similar to those in the general population. These findings contribute to previous research on the role of EFs in elite youth sports, their possible relation to future, senior performance levels in soccer, and suggest areas for further investigation. Future research should aim for larger elite samples, employ a broader range of tasks and scoring metrics to capture the complex nature of cognitive performance, while incorporating comparison groups and more contextually relevant testing conditions. Overall, our findings suggest that EFs alone may not be sufficient to predict soccer performance, underscoring the need to integrate cognitive data into multifaceted approaches to talent identification and development.

3.5 Beitrag 5: The role of generic cognitive skills: an empirical investigation into the association between generic and sport-specific cognitive skills and playing level in youth football

Reinhard, M.L., Mann, D.L., & Höner, O. (2025). The role of generic cognitive skills: an empirical investigation into the association between generic and sport-specific cognitive skills and playing level in youth football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 28(7). 587-593. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2025.01.010>

[Das vorliegende Manuskript entspricht der akzeptierten Version des in der Zeitschrift *Journal of Science and Medicine in Sport* publizierten Artikels, der seit dem 30. Januar 2025 online verfügbar ist]

Introduction

Research in talent identification and development often seeks to identify relevant predictors of future adult sporting performance in youth athletes. Cognitive skills, i.e., the ability to intake, process, and store information (Lachmann et al., 1979), are often considered to be an important set of predictors of talent (Williams et al., 2020) and performance (Höner, Larkin et al., 2023). Proponents of the *cognitive component skills approach* (Nougier et al., 1991) argue that skilled athletes have better overall generic cognitive skills (e.g., executive functions) than lesser-skilled or novice athletes, and therefore use generic tests of cognitive skills with common stimuli (e.g., arrows, colored circles) to test expertise differences. Advocates of the *expert performance approach* (Ericsson & Smith, 1991) contend that skilled athletes outperform others only or much better in tests of sport-specific cognitive skill (e.g., decision-making). Consequently, they advocate the utilization of sport-specific stimuli for testing cognitive skills (e.g., video clips from the respective sport). Whilst some meta-analyses and systematic reviews support the usefulness of generic approaches (Logan et al., 2023; Scharfen & Memmert, 2019a), others support domain-specific approaches (Kalén et al., 2021) to differentiate skilled athletes from others. The terms generic and sport-specific can refer to the extent to which both the stimuli and the participants' response correspond to those in the natural environment (Travassos et al., 2013). In this study, we focus on the stimuli as one means of increasing the representativeness of cognitive tasks (Hadlow et al., 2018) by using stimulus-response tests in which the presented stimuli represent either generic or football-specific stimuli to test cognitive skills.

Across sports, an argument has been put forward that generic cognitive skills such as the core executive functions may serve as the foundation for higher cognitive functioning skills such as problem-solving (Diamond, 2013) and sport-specific cognitive skills such as decision making (Memmert & Roca, 2019). This may also be the case in football given that players need to

perceive the environment, anticipate the movements of the ball and players, and decide on the best possible course of action. Therefore, it seems plausible to assume that generic cognitive skills may be associated with football-specific decision-making skills. Some recent evidence suggests that both generic and football-specific cognitive skills may be related to skill level in the sport (Ivarsson et al., 2020; Murr et al., 2018).

Decision making is a sport-specific cognitive skill that refers to the ability to find a suitable solution for a given situation, often with tight time-constraints and performed under high levels of pressure and complexity (Höner, Larkin et al., 2023). In football, decision-making skills are considered crucial predictors of talent (Williams et al., 2020) that develop with age (Heisler et al., 2022; Radke et al., 2023). In a similar way, sport-specific *anticipation*, defined as the ability to foresee what is the most likely outcome of an event before it occurs (Gonçalvez et al., 2015), might be a relevant predictor of talent in football (Williams et al., 2020). Most studies use a temporal and/or spatial occlusion paradigm with sport-specific video sequences to test anticipation (Loffing & Cañal-Bruland, 2017).

Generic tests of core *executive functions* typically include tests of working memory capacity, inhibition, and cognitive flexibility. These three concepts refer to self-regulatory processes and are related yet are clearly distinct from each other and develop during childhood and adolescence (Karr et al., 2018). In football, the expert-novice paradigm has often been applied to study differences in executive functions across players of different skill levels. Regarding working memory, expertise differences have been found in some studies (Vestberg et al., 2017), but not in others (Verburgh et al., 2014). Regarding inhibition, expertise differences have been recorded in football (Verburgh et al., 2014). In terms of cognitive flexibility, expertise differences in football have been found, but also that these diminish when controlling for age (Radke et al., 2023) (see Appendix F Supplementary Information A for more details).

Although the usefulness of diagnostic tests of cognitive skill remains a topic of debate in sports – particularly regarding the limited ability of generic cognitive tests to predict playing level or performance (Furley et al., 2023; Kalén et al., 2021) – football clubs and federations are increasingly incorporating both generic *and* football-specific tests in their methods to identify and develop talents. Two of the most popular generic tests are the *determination test* (Neuwirth & Benesh, 2007) included as part of the Vienna Test System, and the *NeurOlympics* (Brains First B.V.) battery of tests. However, the extent to which generic cognitive diagnostics are associated with football-specific ability remains an ongoing debate. One recent study provides some support. Heisler et al. (2023) performed a cross-sectional study of young football players that found

a link between working memory capacity and the quality of the first option taken in a football-specific test of decision making (both with and without time pressure). However, the diagnostic validity of most tests commonly and increasingly used in the field remains unknown (e.g., no published reports on NeurOlympics).

Whilst football-specific cognitive skills develop not only with age but also profit from experience in the sport (Klatt & Smeeton, 2022), generic cognitive skills may develop throughout the typical process of age-related development. For example, the negatively accelerated (generic) cognitive development observed in youth footballers has been shown to correspond to the typical developmental trajectory of the general youth population (Beavan, Spielmann et al., 2020). Also, it has been found that the relationship between executive functions and football performance is impacted by age (Heilmann et al., 2022), and even diminishes when controlling for age (Radke et al., 2023). Therefore, including chronological age as a confounding variable is crucial in studies of cognitive test performance in children (Kalén et al., 2021).

The aim of the present study was to establish the degree to which commonly used diagnostic tests of generic cognitive skills are associated with football-specific skills in youth football. To achieve that aim, we first sought to establish the association between performance on common tests of generic cognition (the determination test and NeurOlympics) and performance on a football-specific test of decision making. Second, we sought to establish the diagnostic validity of each of the tests by comparing the performance on those tests of players competing at the elite and sub-elite levels. For the first objective, we hypothesized that performance on both tests of generic cognitive skills would be positively associated with performance on the football-specific test of decision making. For the second objective, we hypothesized that the football-specific test of decision making would better differentiate players of higher skills in football (i.e., show higher diagnostic validity) than the tests of generic cognitive skills. Due to the ongoing debate regarding the relevance of generic and football-specific cognitive skills for football performance, we also investigated whether adding generic cognitive skills to football-specific cognitive skills would increase the diagnostic validity. Moreover, our study design allowed us to perform a comparative evaluation of the relative contributions of generic and sport-specific cognitive test to playing level in the same cohort of players.

Methods

A total of $N = 120$ male youth football players competing in the U11 to U15 age groups participated in the study. Players stemmed from an elite football academy ($n = 60$) and from a youth department of a semi-professional (4th league) football club ($n = 60$). Players in these age

groups play in different playing positions throughout the season, therefore the playing position was not considered the inclusion criteria (only outfield players participated). No female players were recruited due to an absence of under-age female teams at the respective clubs and the inherent differences in the playing levels of boys and girls of the same age. Data from players who did not complete all tests were removed from all analyses ($n = 10$). The research project was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the institutional ethics committee of the first and last author.

We used existing cognitive diagnostics to assess generic and football-specific cognition.

Determination test. The determination test of the Vienna Test System (Schuhfried GmbH, Austria) was used to measure reactive stress tolerance and the related reaction speed (Neuwirth & Benesch, 2007). Participants completed the ‘S1: Adaptive Short’ version of the test that lasts 4 min. Participants needed to respond as quickly as possible to three types of stimuli: (a) a circle filled with one of five colors, presented amongst ten circles arranged in two rows of five, by pressing respective buttons on the keyboard; (b) two acoustic signals (100 Hz low tone and 200 Hz high tone) by pressing a corresponding black or grey rectangular button on the keyboard, and (c) two visual grey, rectangular signals (bottom left, bottom right) by pressing a respective foot pedals (see Appendix F Supplementary Information B for more information). Stimuli were presented on the screen in a random order, with the speed of presentation increasing or decreasing as a function of the participants’ performance, thus putting the participant under permanent (time) pressure. The number of correct responses and the median reaction time in milliseconds were recorded as the outcome variables (Beavan, Spielmann et al., 2020).

NeurOlympics. The NeurOlympics test battery (BrainsFirst BV, Netherlands) is designed to measure the cognitive functioning of individuals using four generic tests that assess working memory, anticipation, cognitive control, and attention (see Appendix F Supplementary Information B for more information). BrainsFirst calculates a ‘Football Intelligence score’ (FI score) that is said to predict an individual's football ability based on their performance on the generic tests of cognitive function. This FI score takes the weighted performance on an individual across all tests and calculates a percentile rank that compares the performance of that individual to that of a database of football players of the same age. The exact weights and calculation of the FI score as well as the size of the respective normative group have not been made public. The test battery lasts about 45 min in total, including a short self-paced break between each test. The FI score served as the outcome variable.

Football-specific test of decision making. A 360°-video decision-making test was used to measure the football-specific decision-making ability of the participants. The test involves 54 video clips of 6 vs. 6 game sequences on a half field of a U19 youth academy team filmed from the position of a central midfielder player, each clip lasting approximately 10 s (Höner, Dugandzic et al., 2023). The 360°-videos were presented in a Head Mounted Display (Vive Pro, HTC Corporation, Taiwan) allowing the players to look around freely. Participants were asked to imagine that they were the central midfielder player who received the ball at the end of each video clip and to decide what they would do in that situation. The ball when passed to them was marked with one of three possible overlaying colors for 500 ms. The video turns grey when the ball arrives at the player's position. Participants were then asked to verbally answer within 2 s (a) what they would do on the pitch, choosing from five possible actions (keep the ball, pass to the left defender, pass to the central defender, pass to the right defender, or pass to the striker), and (b) what was the color overlaying the ball. The trial was counted as correct only if both statements were correct. The correct option for every video was rated and agreed upon by three football coaches holding an UEFA Pro-Level License. The test consisted of two blocks. Before each block participants completed three practice videos. In the first block, the participants received the ball from the striker. In the second block, the participants received the ball from the left defender (see Appendix F Supplementary Information B for more information). The test took approximately 35 min to complete. The response accuracy (in %) served as the outcome variable.

Participants performed the tests in a randomized order at the beginning of the 2022/23 football season. For the *determination test* and *360°-video decision-making test*, players were tested individually by one of three trained experimenters. For the *NeurOlympics* test, teams were tested as a group.

Data were analyzed using IBM SPSS version 28.0.1.1 and R version 4.2.2. As is customary in expertise research (Schweizer & Furley, 2016b) due to the limited number of players playing at the elite level, convenience sampling was conducted (Lakens, 2022). Therefore, a *post-hoc* power analysis (G*Power version 3.1.9.7.) was conducted and yielded an actual power of $1 - \beta = .72$ (Δ Adjusted $R^2 = .04$, $f^2 = .06$, $\alpha = .05$, $N = 110$) for the analyses of the association between generic and football-specific cognitive skills. In this cross-sectional study, age in days was controlled for to take into account the developmental trajectories of children (Karr et al., 2018). Prerequisites for each analysis were tested and met, including lack of multicollinearity (Tolerance > 0.10, Variance Inflation Factor < 10).

To test the association between the tests of generic cognitive skills and football-specific decision making (*Objective 1*), two hierarchical multiple regression analyses were calculated with decision-making performance as the dependent variable and the confounding variable age entered in step one, and either the reactive stress tolerance variables or FI score entered in step two. The change in explained variance compared to the nested model via adjusted R^2 served as the relevant variable. The differences in the models were tested via chi-square difference tests.

To test the diagnostic validity of the tests (*Objective 2*), the standardized residuals of each cognitive variable (controlled for age) were used to assess the unique contribution of the cognitive performance beyond age (see Appendix F Supplementary Information C). Logistic regression models with playing level (elite vs. sub-elite) as the dependent variable were created with either the reactive stress tolerance variables, FI score, or decision-making performance as the independent variables. Further, a logistic regression model was also run with playing level (elite vs. sub-elite) as the dependent variable and the standardized residuals of all cognitive variables as the independent variables (method: stepwise forward). Differences between the models were assessed via deviance tests based on χ^2 statistics. The models were compared using Bayesian Information Criterion (*BIC*) and Akaike Information Criterion corrected for small sample sizes (*AICc*) with significance assessed through log-likelihood ratio tests. Standardized odds ratio coefficients (e^b) were computed to represent the relative change of the likelihood for being an academy player for each one standard deviation increase within the respective predictor to foster comparisons for effect sizes of individual predictors (Höner et al., 2021). Also, univariate analyses with receiver operator characteristic (ROC) curves were calculated to examine the sensitivity and specificity for each variable.

Results

An overview of descriptive statistics can be found in Table 7. Bivariate correlations showed significant associations between performance on the tests of generic cognition and on the test of football-specific decision making (reactive stress tolerance, RT: $r = -.35$, correct: $r = .34$; FI score: $r = .28$). However, there were also significant associations between the age of the participants and their performance on the tests of reactive stress tolerance (RT: $r = -.59$, correct: $r = .50$) and football-specific decision making ($r = .51$), highlighting the need to control for age during all analyses (see Appendix F Supplementary Information D and E).

Tab. 7. Overview of sample, age, and test performances (Mean with Standard Deviation in brackets) for each subgroup and for the total sample.

		<i>n</i>	Age	Generic		NeurOlympics FI Score (percentile rank) ⁴	Football-specific decision-making performance (%) ³
				Determination test of reactive stress tolerance	Correct answers (<i>n</i>) ⁶		
				Reaction time (ms) ⁵			
U11	Elite ¹	11	10.15 (0.33)	85.36 (5.87)	201.64 (21.56)	13.09 (10.67)	51.09 (10.54)
	Sub-elite ²	9	10.09 (0.22)	95.56 (10.24)	184.78 (20.40)	3.89 (4.20)	31.88 (10.09)
	Total	20	10.12 (0.28)	89.95 (9.45)	194.05 (22.22)	8.95 (9.46)	42.45 (14.05)
U12	Elite	11	11.29 (0.19)	78.18 (5.29)	219.36 (25.50)	26.82 (25.97)	59.57 (9.74)
	Sub-elite	12	11.14 (0.21)	90.58 (7.15)	180.58 (22.38)	7.17 (7.38)	41.82 (8.83)
	Total	23	11.21 (0.21)	84.65 (8.86)	199.13 (30.63)	16.57 (20.85)	50.30 (12.82)
U13	Elite	12	12.23 (0.21)	84.58 (5.76)	202.50 (28.35)	25.25 (21.19)	59.04 (6.80)
	Sub-elite	8	12.22 (0.32)	86.25 (11.50)	189.63 (20.40)	15.50 (12.41)	47.34 (8.23)
	Total	20	12.23 (0.25)	85.25 (8.28)	197.35 (25.70)	21.35 (18.46)	54.36 (9.29)
U14	Elite	12	13.14 (0.24)	81.08 (4.66)	211.00 (22.50)	19.50 (17.72)	57.98 (7.37)
	Sub-elite	12	13.46 (0.32)	75.25 (6.34)	227.25 (24.53)	17.25 (18.62)	57.37 (14.80)
	Total	24	13.30 (0.32)	78.17 (6.20)	219.13 (22.87)	18.38 (17.81)	57.68 (11.44)
U15	Elite	11	14.12 (0.56)	76.09 (6.22)	225.55 (22.14)	18.82 (16.13)	67.45 (7.41)
	Sub-elite	12	14.32 (0.34)	72.17 (7.48)	244.92 (32.39)	10.42 (11.60)	58.62 (10.40)
	Total	23	14.22 (0.46)	74.04 (7.04)	235.65 (29.08)	14.43 (14.28)	62.84 (9.97)
All players	Elite	57	12.20 (1.42)	81.12 (6.45)	211.82 (25.13)	20.75 (19.01)	59.01 (9.64)
	Sub-elite	53	12.37 (1.57)	83.13 (12.17)	207.79 (35.97)	10.89 (12.69)	48.29 (14.51)
Overall		110	12.28 (1.49)	82.09 (9.65)	209.88 (30.75)	16.00 (16.94)	53.84 (13.31)

¹ Elite Youth Academy, ² Youth department of 4th league club, ³ assessed via 360°-videos, relative accuracy (% correct answers), ⁴ assessed via NeurOlympics; presented in percentile rank based on age-matched football players completing the test, provided by BrainsFirst, ⁵ assessed via determination test; in milliseconds, ⁶ assessed via determination test; number of correct responses within four minutes. Boxplots displaying descriptive results can be found in the Appendix F Supplementary Information H.

To address Objective 1, hierarchical regression analyses (Table 8) showed that the FI score was associated with football-specific decision making ($p = .006$), but that reactive stress tolerance was not ($p \geq .326$). Age alone explained 26% of the variance in the decision-making score. Further including the FI score led to a significant increase ($p = .006$) of the explained variance up to 30%. The B score indicated that an increase of one year of age would result in an average increase in decision-making performance of more than 4 percentage points, whilst a ten percentile ranks better performance in the generic FI score, would indicate an average gain of 1.8 percentage points in the decision-making performance.

Tab. 8. Hierarchical regression analysis results for the association between age and generic cognition with 360°-video decision-making performance whilst controlling for age.

Model	Omnibus test			Predictor	Regression Coefficients				
	F (df)	p	adj. R^2		Δ adj. R^2 (#)	B [95% CI]	β	T	p
Model 1 (age)	38.41 (1,108)	< .001	.26	-	Constant	-2.32 [-20.41;15.78]	-	-	-
					Age	4.57 [3.11;6.04]	.51	6.20	< .001
Model 2 (age +FI score)	24.41 (2,107)	< .001	.30	.04**	Constant	-2.38 [-19.92;15.16]	-	-	-
					Age	4.35 [2.92;5.77]	.49	6.04	< .001
					FI score	0.18 [0.05;0.30]	.23	2.82	.006
Model 3 (age + reac- tive stress tolerance)	13.21 (3,106)	< .001	.25	.00	Constant	-11.73 [-71.24;47.78]	-	-	-
					Age	4.13 [2.31;5.96]	.46	4.50	< .001
					Correct	0.06 [-0.06;0.17]	.13	0.99	.326
					RT	0.04 [-0.35;0.42]	.03	0.19	.851

The predictors are sorted according to the size of the standardized regression coefficients. (#) Δ adjusted R^2 shows the increase in explained variance compared to model 1 (using solely age as a predictor). ** significant ($p < .01$) difference between model 1 and model 2, assessed via chi-square difference test in R.

To address Objective 2, logistic regression analyses (Tab. 9) showed that both the football-specific decision making (Model A), and FI score (Model B) significantly differentiated the elite from sub-elite players, but that of the test of reactive stress tolerance (Model C) did not. Amongst them, Model A was clearly the best fitting one. Statistically, the standardized odds ratio showed that an increase of one standard deviation in the decision-making performance would increase the likelihood for being in the elite group almost fourfold (see the results for e^b

in Table 9), whilst an increase of one standard deviation in the FI score would more than double the likelihood of being in the elite group. Additionally, Receiver Operator Characteristic (ROC) analyses revealed that the highest probability of correct assignment to the respective playing level was found based on the residuals of the test results for decision-making performance ($AUC = 0.79$), followed by the FI score ($AUC = 0.68$) (Appendix F Supplementary Information F and G).

Tab. 9. Logistic regression analysis results for the influence of standardized residuals of cognitive test performance on playing level (elite vs. sub-elite).

Test	Omnibus test		Nagelkerke's R^2	Correctly assigned players	Predictor	Logistic Regression Coefficients			
	χ^2 (df)	p				B	Wald	p	e^b (95% CI) ^(c)
Model A: Decision making	32.11 (1)	< .001	.34	73.6%	Constant	0.06	-	-	-
					DM	1.37	21.26	< .001	3.93 [2.20;7.04]
Model B: FI score	11.01 (1)	< .001	.13	60.9%	Constant	0.12	-	-	-
					FI Score	0.74	8.78	.003	2.09 [1.28;3.41]
Model C: Reactive stress tolerance	3.26 (2)	.20	.04	55.5%	Constant	0.07	-	-	-
					RT	-0.38	1.89	.169	0.68 [0.40;1.12]
					Correct	-0.04	0.02	.892	0.96 [0.57;1.64]
Model ABC: all ⁽⁺⁾	36.62 (2)	< .001	.38	70.0%	Constant	0.08	-	-	-
					DM	1.28	18.12	< .001	3.61 [2.00;6.52]
					FI Score	0.52	3.90	.048	1.68 [1.00;2.83]
			ΔR^2						
			.04 ^(a) *						
			.25 ^(b) ***						
			.34 ^(c) ***						

⁽⁺⁾Including all four cognitive variables as independent variables (model: forward Wald). Only significant predictors in the model are listed. The predictors for each analysis are listed according to the Wald-coefficient. ^(a) indicates the change to model A. ^(b) indicates the change to model B. ^(c) indicates the change to model C. * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$. ^(c) standardized Odds Ratio.

Whilst Model ABC (combining the decision-making and FI scores) was the best fitting model in terms of $AICc$, AIC and log-likelihood tests, Model A (decision making only) was the most accurate in terms of percentage of correct assignment. Adding generic cognitive variables to football-specific decision making revealed decision-making performance and FI score as significant predictors, with a significant increase in explained variance of 4 percentage points compared to Model A ($p = .034$), and with lower AIC (121.73) and $AICc$ (121.95) compared to

Model A (AIC: 124.24, AICc: 124.35). However, the results revealed that Model ABC assigns approximately 3% less players correctly compared to Model A, and BIC analyses uncovered the lowest value for Model A with Δ BIC of 0.18 to Model ABC (see Appendix F Supplementary Information F).

Discussion

The aim of this study was to establish the degree to which tests of generic cognitive skill are associated with sport-specific skill in youth football. There has been much discussion about the potential association between generic cognitive skills and sport performance (Furley et al., 2023; Kalén et al., 2021) – and a wave of new commercially available tools to test those skills. Our findings support previous studies suggesting that cognitive skills improve with age (Heisler et al., 2023; Klatt & Smeeton, 2022), and only limited evidence that they are in any way associated with skill in the sport when controlling for age (Radke et al., 2023). Specifically, we found that youth footballers with better test results in a generic cognitive test measuring executive functions and anticipation (FI score) tended to also register better results in a football-specific test of decision making, but that the association was best explained by age. Only a small portion of the variance could be explained (i.e., 4%) after age was controlled for. Additionally, the playing level of players was best predicted by performance on the sport-specific test of decision making, with performance on tests of executive function and anticipation (FI score) making only a small improvement in variance explained, and the test of reactive stress tolerance providing no improvement. Overall, these results support the idea that sport-specific tests of perceptual-cognitive skill are better discriminators of playing level in youth footballers, and that generic tests of cognitive skill make only a limited contribution beyond the insights provided by sport-specific assessments.

The results demonstrate that both the generic FI score (for executive functioning and anticipation) *and* football-specific decision-making performance together can significantly differentiate between two playing levels in youth football players. Yet, the football-specific decision-making test assigned more players correctly and explains significantly more variance (34%) than the FI score (13%), therefore, having the highest diagnostic validity. This result is in alignment with what would be expected (Kalén et al., 2021), and in particular is likely due to the lesser degree to which the stimuli in the NeurOlympics test represents that experienced in the competition environment (Hadlow et al., 2018; Travassos et al., 2013). This conclusion is further supported by the fact that the test of generic reactive stress tolerance failed to differentiate between playing level, confirming doubts about the usefulness of this generic cognitive test for talent

identification purposes (Beavan, Spielmann et al., 2020; Kalén et al., 2021). The fact that the FI score demonstrated (some) diagnostic validity, whereas the reactive stress tolerance scores did not, may suggest that executive functions and generic anticipation do make some limited form of contribution to football-specific cognitive skills in youth football whereas reactive stress tolerance does not. Alternatively, the result could be explained by the relative differences in the length of the test (reactive stress tolerance: 4 min, FI score: ca. 45 min).

There was some suggestion that a model that combined the FI score with football-specific decision making was better able to predict playing level than when using a model with the test of decision making alone. The combined model increased the explained variance in skill level from 34% to 38% (Table 9). Depending on the statistical analyses, either the combined model (i.e., based on *AIC* and *AICc*) or the model with decision making alone (based on % of correctly assigned players) was best. From an applied perspective, this study builds on previous recommendations (Kalén et al., 2021) to prioritize sport-specific (decision making) assessments over generic cognitive tests. Additionally, a consideration of the cost-benefit trade-off may be necessary to decide whether an additional explanation of 4 percentage points in variance warrants the additional time and resources necessary to test generic cognitive skills in addition to football-specific cognitive tests (such as the decision-making performance).

Given that the FI score used in the test of NeurOlympics is a composite score across four different constructs, it is not possible to conclude what might be individual contributions of (small) extent to which each of the generic cognitive skills (working memory, anticipation, cognitive control, attention) might be linked to football-specific skill. It has previously been found in cross-sectional studies that, amongst executive functions, especially working memory is linked to football-specific decision making in young football players (Heisler et al., 2023), and that working memory and cognitive flexibility (but not selective attention and inhibition) are associated with coach-rated game intelligence in a sample of youth and adult football players (Scharfen & Memmert, 2021). However, neither this nor other cross-sectional studies allow for an empirical conclusion regarding the cause-effect relationship.

It is important to be clear about the operationalization of the constructs being measured in this and in other studies of cognitive skills. Concerns exist about the *task impurity* of tests of executive functions in particular (Furley et al., 2023), but this can also be extended to other tests. The *Jingle-Jangle-Fallacy* represents the (sometimes mistaken) belief that “scales with the same label reflect the same construct ... [and that] scales with different labels measure different constructs” (Marsh, 1994, S. 365). In this study, the ‘Football Intelligence’ score was based on

performance on tests using generic stimuli to assess working memory, anticipation, cognitive control, and attention. The term “Football Intelligence”, however, may imply that football-specific stimuli (and answers) have been used or required. Also, the *determination test* has been used to assess reactive stress tolerance in this study, but in other studies also as a measure for cognitive flexibility (Radke et al., 2023) and other constructs (Ong, 2015). Finally, decision-making (competence) has been conceptualized in various ways differing also along the answer requisite (Travassos et al., 2013). Therefore, it is vital to be clear and transparent about the operationalization of measured constructs and in communicating the uncertainty and alterability of results to relevant stakeholders (Kilger & Blomberg, 2020). This holds true for all cognitive tests used in this study, where we have drawn on the test manual, and elsewhere.

Limitations

This study is amongst the first to investigate the association between generic and football-specific cognitive skills. We consider as strengths of the study the elite sample and use of three tests that are increasingly commonly used in the applied field. The results may serve as a building block for further empirical studies, as limitations remain. First, convenience sampling was necessary due to the limited access to elite youth footballers. Future studies may use larger and more heterogeneous (e.g., regarding sex) samples to increase statistical power and to gain more insight into sex-related differences. This may be possible if clubs and federations that use cognitive diagnostics as regular part of their player testing and monitoring are willing to share their results with the scientific community. Second, we were not able to control for other potentially confounding variables such as emotional or physical characteristics (Furley et al., 2023). We addressed this by using three trained experimenters to conduct the testing using standardized instructions and by testing the players in the same time range (between 5 pm and 8 pm) in a rested state. Additionally, we evaluated whether the weekly hours spent gaming are associated with the cognitive results (which was not the case, see Appendix F Supplementary Information I). Results may have been affected by motivational factors, as participants received real-time feedback on their performance in *NeurOlympics* (but not the other tests). This is unusual in typical cognitive performance tests but may better represent on-field performance where immediate feedback about success is readily available. Also, we did not control for positional effects as players in younger age groups play across several positions throughout a season. Future studies with older age groups (e.g., U17, U19 and adult samples) should include information about position, especially (but not solely) for sport-specific cognitive tests. Third, the 360°-video decision-making test (which has been evaluated for older age groups; Höner,

Dugandzic et al., 2023) made use of verbal responses within a specific time-period (2 s) instead of motor responses, hence, limiting the representativeness of the design. The authors of a recent framework for decision-making diagnostics and training argue for the consideration of the perception-action cycle and the importance of representativeness (Janssen et al., 2023). In our study, we used a decision-making test with football-specific stimuli (i.e., 360°-videos) which is one possibility to increase representativeness in cognitive tests (Hadlow et al., 2018). In fact, the research design employed in this study required a generic response for all tests to elicit performance differences in cognitive functions regardless of motor skills. For example, the 360°-video decision-making test solely tests the perceptual-cognitive decision-making skill without consideration of the technical skill of this player (Bruce et al., 2012). Incorporating context-specific action responses (e.g., passing; Murr et al., 2021) instead of verbal responses may be one further strategy to enhance the representativeness of decision-making tests. Thus, future studies may include (standardized) motor responses (Travassos et al., 2013) and define a “window of opportunity” (Janssen et al., 2023) in which a given decision may be correct. Alternatively, on-field decision-making quality may be assessed, e.g., via small-sided games (Ehmann et al., 2022).

Finally, it is important to note that using the current playing level of players as a criterion only provides limited information on inter-individual differences and neglects prognostic validity (Bergkamp et al., 2019). The latter has been evaluated for the 360°-video decision-making test in a sample of U17 and U19 football players (Höner, Dugandzic et al., 2023) but should also be assessed in younger age groups and across a wider range of cognitive skills in future research.

Conclusion

In conclusion, the current study found a partial association between performance on tests of generic and football-specific cognitive skills in youth football players. However, the football-specific test of cognitive skill differentiated skill level much better than the different generic tests. This adds to the literature warranting caution in the use of generic cognitive diagnostics for talent identification and selection. We found an age-independent association between some generic and football-specific measures of cognition, with a generic ‘Football intelligence score’ designed to evaluate executive functions and generic anticipation being associated with football-specific decision-making performance in football. Regarding diagnostic validity, football-specific decision making was found to have a higher explanatory power than the tests of generic cognition when differentiating youth elite from sub-elite players. Yet, the addition of the FI score did marginally improve the diagnostic validity. However, caution is required when

seeking to generalize these results, because a cross-sectional instead of longitudinal study design has been applied. In the quest for more definite answers, future studies should continue to consider age as a covariate when assessing the diagnostic validity of cognitive tests in sport settings, employ designs that allow conclusions about cause-effect relationships, and further focus on applied cognitive diagnostics that are used by clubs and players as tools for decisions about selection and/or player development.

Practical Implications

- In our sample of U11–U15 youth footballers, reactive stress tolerance measured via the determination test is associated neither with football-specific decision making nor with playing level (i.e., elite vs. sub-elite).
- A generic ‘FI score’ assessing executive functions and anticipation could only predict a small amount of variance in sport-specific decision-making performance (4%) beyond that possible by age (26%).
- Football-specific decision-making performance has a higher diagnostic validity than cognitive tests using generic stimuli. The addition of these generic tests slightly improves diagnostic validity. This small added benefit should be weighed against the cost and time required.
- Practitioners should prioritize sport-specific assessments over generic cognitive tests as these are more directly relevant to performance.

4. Zusammenfassende Diskussion und Ausblick

Ausgehend von den drei skizzierten Ausgangspunkten (Kapitel 2.1), Forschungsdesideraten (Kapitel 2.3) und Forschungszielen (Kapitel 2.4) werden im Folgenden übergreifende Aspekte und Erkenntnisse der fünf in der Dissertation enthaltenen Beiträge diskutiert. Erstens wird die fundamentale Bedeutung psychometrischer Eigenschaften für die Entwicklung, Prüfung und Anwendung neuartiger (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken analysiert (*Forschungsziel 2*). Neben der in den empirischen Beiträgen untersuchten Reliabilität und Validität werden dabei auch Objektivität und relevante Nebengütekriterien berücksichtigt (Kapitel 4.1). Zweitens wird die Bedeutung der Wahl der Kriteriumsvariablen und möglicher Drittvariablen wie dem chronologischen Alter diskutiert (*Forschungsziel 2 und 3*) (Kapitel 4.2). Drittens steht die Frage nach der Sport-Spezifität bei der Erfassung kognitiver Funktionen im Fußball im Fokus, insbesondere im Hinblick auf forschungsmethodische Zugänge und theoretisch-konzeptionelle Präzision (*Forschungsziel 3*) (Kapitel 4.3). Den Abschluss bildet eine reflektierende Diskussion der Erkenntnisse aus und Empfehlungen für die Zusammenarbeit von Forschung und Praxis (*Forschungsziel 1*) (Kapitel 4.4).

4.1 Die psychometrischen Eigenschaften verwendeter Diagnostiken: Reliabilität, Validität und Objektivität sowie relevante Nebengütekriterien

Die Bedeutung der Prüfung psychometrischer Eigenschaften wird für psychologische Verfahren, welche im Sportkontext eingesetzt werden, hervorgehoben (Anshel & Brinthaup, 2014; Beavan, 2019; Finkenzeller et al., 2021; Fogarty, 1995; Singer, 1988). Dies gilt insbesondere für Verfahren, die außerhalb des ursprünglichen Kontexts eingesetzt werden (vgl. Finkenzeller et al., 2021; Kilger & Blomberg, 2020) sowie für Verfahren, welche im Rahmen der Talentdiagnostik direkte Auswirkungen in der Praxis haben (vgl. Anshel & Brinthaup, 2014; Weakley et al., 2024). Dies umschließt ebenfalls (kommerzielle) kognitive Testverfahren, die in der Praxis eingesetzt werden.

Reliabilität als zentrale Voraussetzung für die Validität psychologischer Testverfahren kann sowohl innerhalb eines Tests (über interne Konsistenzen und Split-Half-Reliabilität) als auch über mehrere Testzeitpunkte hinweg (Retest-Reliabilität) erfasst werden (Höner & Roth, 2002; Moosbrugger & Kelava, 2020). Im Rahmen der empirischen Beiträge wurde die Retest-Reliabilität von *NeurOlympics* (*Beitrag 2*) sowie die Split-Half-Reliabilität und interne Konsistenz für die Verfahren im *SoccerBot360* (*Beitrag 3*) analysiert.

Für das Verfahren *NeurOlympics* benennt der Hersteller – basierend auf einer Stichprobe von 88 Personen – gute bis ausgezeichnete Retest-Reliabilitätswerte ($.80 \leq r_{tt} \leq .90$) für die

Einzeltests (BrainsFirst, 2020). Allerdings fehlen Angaben zur Zusammensetzung der Stichprobe (z. B. Alter, beruflicher Hintergrund, Herkunft) und zum Retest-Intervall. Im Rahmen der empirischen Untersuchung in *Beitrag 2* konnte diese hohe Reliabilität nicht repliziert werden. Bei Nachwuchsleistungsfußballern der Altersklassen U11 bis U15 zeigte sich bei einem Retest-Intervall von zwei Wochen keine der untersuchten Variablen als ausreichend reliabel (alle $r_{tt} < .69$). Besonders auffällig waren die niedrigen Werte für Antizipation ($r_{tt} = .19$) und kognitive Kontrolle ($r_{tt} = .15$). Dies deutet, auch unter Berücksichtigung der Unterschätzung bei unsystematischer Merkmalsveränderung (Höner & Roth, 2002; Moosbrugger & Kelava, 2020), auf erhebliche Einschränkungen an der Zuverlässigkeit des Verfahrens hin. Dies insbesondere auch vor dem Hintergrund, dass Reliabilitätsmaße eine Obergrenze für die Validität darstellen, „because a measure cannot correlate more highly with another instrument than it does with a repetition of the same test“ (Ackermann, 2014, S. 14). Allerdings fehlen Informationen zur internen Konsistenz oder Split-Half-Reliabilität. Diese werden weder vom Unternehmen berichtet noch konnten diese im Rahmen der empirischen Arbeiten berechnet werden, da kein Zugang zu den Rohdaten auf Trial-Ebene vorlag. Für ein vergleichbares Verfahren, den AIQ, wurden geringe bis gute Werte berichtet ($.57 \leq r_{tt} \leq .84$; Bowman et al., 2021), welche ebenfalls nicht unabhängig geprüft wurden und das zugehörige White Paper des Unternehmens unzureichende Informationen enthält, z. B. über die Zusammensetzung der Stichproben und Retest-Intervall (Athletic Intelligence Measures, 2020).

Neben der unzureichenden relativen Reliabilität (vgl. Weakley et al., 2024) weist NeurOlympics auch Einschränkungen in Bezug auf die absolute Reliabilität auf, d. h. hinsichtlich der Stabilität der Ergebnisse des Globalmaßes (*Football Intelligence Score*). Innerhalb der homogenen Stichprobe von Nachwuchsleistungsfußballern fielen die Retest-Ergebnisse ($Mdn = 27$) signifikant höher aus als im initialen Test ($Mdn = 9$). Dieser Effekt lässt auf mögliche Übungseffekte schließen, wie sie bei kognitive Testverfahren diskutiert werden (z. B. Calamia et al., 2013; Scharfen et al., 2018). Die mangelnde absolute Reliabilität widerspricht zentralen Anforderungen des *Cognitive Component Skills Approach*, der darauf abzielt, Leistungsunterschiede in generischen, kognitiv herausfordernden Tests zu identifizieren, unabhängig von kurzfristigen Lerneffekten. Dies setzt voraus, dass (mindestens kurzfristig) stabile kognitive Leistungsfaktoren erfasst werden (Nougier & Rossi, 1999; Nougier et al., 1991). Auch der *Expert Performance Approach* postuliert für sport-spezifische diagnostische Verfahren, dass diese in der Lage sein sollten, stabile, wiederholbare und lerneffektunabhängige Expertise-Unterschiede abzubilden (Ericsson & Ward, 2007). Unter Berücksichtigungen der in *Beitrag 2* (vgl. Kapitel 3.2) vorhandenen Limitationen des Studiendesigns (z. B. etwaiges fehlendes Verständnis der Aufgaben

zum ersten Testzeitpunkt als Grund für niedrige Leistungen, fehlender Zugang zu Rohdaten) sollten Testhersteller zufriedenstellende Werte für relative *und* absolute Reliabilität anstreben und die Sicherstellung in der Testdurchführung in entsprechenden Manualen dokumentieren (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2020).

Für die Testverfahren im SoccerBot360 konnten in *Beitrag 3* hohe interne Konsistenzen und Split-Half-Reliabilitäten ermittelt werden. Dies gilt sowohl für den Test der Inhibition ($.96 \leq r_{tt} \leq .98$, $.95 \leq \alpha \leq .96$) als auch für den Test kognitiver Flexibilität ($.90 \leq r_{tt} \leq .92$, $.94 \leq \alpha \leq .95$). Auch Testverfahren in anderen innovativen Systemen zeigen zufriedenstellende Kennwerte. Eine 360°-MOT-Aufgabe in der Helix erzielte eine akzeptable Reliabilität ($ICC = .71$; Ehmann et al., 2021) und verschiedene psychomotorische Testverfahren in der ski-lls.lab Arena erreichten zufriedenstellende Reliabilitäten ($.71 \leq ICC \leq .91$; Dolata et al., 2025). Allerdings wurden für diese Verfahren keine Retest-Reliabilitätsmaße untersucht.

Zusammenfassend unterstreichen die Ergebnisse die Notwendigkeit einer transparenten und differenzierten Prüfung der Reliabilität. Dabei sollten nicht nur Testwiederholungskennwerte der absoluten und relativen Reliabilität, sondern auch Maße der internen Konsistenz (z. B. Cronbach's α) und/oder Split-Half-Reliabilitäten berichtet werden, um die jeweiligen Nachteile der Kennwerte auszugleichen (vgl. Höner & Roth, 2002). Für die letzteren beiden Maße muss in Zusammenarbeit mit den Anbietern (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken ein Zugang zu den Rohdaten auf Trial-Ebene sichergestellt werden. Zusätzlich ist eine differenzierte Analyse über verschiedene Retest-Intervalle (z. B. ein Tag, eine Woche, ein Monat) und unterschiedliche Zielgruppen (bzgl. Alters- und Leistungsklassen) hinweg erforderlich, um bei Bedarf Maßnahmen zur Verbesserung der Reliabilität anstreben zu können (vgl. Schweizer et al., 2020). Solche Maßnahmen (z. B. eine angemessene Anzahl an Probedurchgängen²⁹) sollten in Forschungsprojekten überprüft und in Manualen dokumentiert werden (Moosbrugger & Kelava, 2020; Schweizer et al., 2020; Weakley et al., 2024; Zorowitz & Niv, 2023). Diese Erhöhung der Reliabilität sollte auch deshalb eine Priorität haben, weil Reliabilität als Voraussetzung und Obergrenze für Validität gilt (Ackermann, 2014; Moosbrugger & Kelava, 2020; Weakley et al., 2024) und insbesondere in der Individualdiagnostik eine hohe Messgenauigkeit unverzichtbar ist (vgl. Höner & Roth, 2002; Moosbrugger & Kelava, 2020).

²⁹ In der Anwendung in deutschen NLZ halten manche Kollegen die teilnehmenden Spieler an, die Demo-Version von NeurOlympics (die online frei verfügbar ist) mit ihren Eltern durchzuführen, um ein Verständnis der Aufgaben sicherzustellen (C. Nuß; persönliche Kommunikation, 05.05.2025). Inwiefern dies tatsächlich die Reliabilität erhöht und inwiefern Faktoren wie Unterstützung und akademisches Niveau der Eltern sowie weitere Drittvariablen die Ergebnisse bei einem solchen Vorgehen beeinflussen, müsste dabei systematisch untersucht werden.

Diagnostische Validität wurde in den empirischen Beiträgen als Ausmaß betrachtet, in dem ein Test dazu geeignet ist, zwischen unterschiedlichen Ausprägungen eines etablierten Kriteriums, z. B. des Leistungsniveaus, zu differenzieren (Moosbrugger & Kelava, 2020). Dies erfolgte auf unterschiedlichen Wegen: mittels des Experten-Novizen-Paradigmas³⁰ für NeurOlympics (*Beitrag 2*) sowie den generischen und fußball-spezifischen kognitiven Leistungsfaktoren (*Beitrag 5*), den Zusammenhang mit Trainerurteilen für die SoccerBot360-Tests (*Beitrag 4*) und über die Leistung der teilnehmenden Spieler in Kleinfeldspielen für NeurOlympics (*Beitrag 2*). Die Prüfung der konvergenten Validität wurde mit dem Zusammenhang der SoccerBot360-Tests mit etablierten Verfahren untersucht (*Beitrag 3*) und wird, wenngleich nicht der diagnostischen Validität zuzuordnen (vgl. Höner & Roth, 2002; Kersting, 2018; Weakley et al., 2024), ebenfalls dargestellt.

Auf Basis des Vergleichs der Testleistungen von Nachwuchsfußballern unterschiedlicher Leistungsniveaus (Experten-Novizen-Paradigma) zeigt sich, dass der Determinationstest keine diagnostische Validität aufweist. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit Studien, die Zweifel an der diagnostischen Aussagekraft des Determinationstests äußern (Baláková et al., 2015; Beavan, Spielmann et al., 2020) und im Widerspruch zu Empfehlungen, die den Determinationstest als sinnvolles Instrument in der Talentelektion insbesondere in jüngeren Altersbereichen sehen (Szwarc et al., 2021). Aufgrund der Testleistungen im generischen Verfahren NeurOlympics kann zwischen Elite und Sub-Elite-Jugendfußballspielern unterschieden werden. Allerdings fällt der zusätzliche Erklärungswert im Vergleich zum fußballspezifischen 360°-Videoentscheidungstest mit zusätzlichen vier Prozentpunkten von 34% auf 38% aufgeklärter Varianz gering aus. Für den 360°-Videoentscheidungstest konnte die diagnostische Validität aufbauend auf früheren Befunden in den Altersklassen U17 und U19 (Höner, Dugandzic et al., 2023) auch für jüngere Altersklassen (U11 – U15) gezeigt werden.

Auf Grundlage des Zusammenhangs zu den generischen computerbasierten Verfahren zeigt sich für den SoccerBot360-Test zur kognitiven Flexibilität konvergente Validität. Beim ebenfalls neu entwickelten Test zu Inhibition im Soccerbot360 ergab sich auch nach einer Überarbeitung lediglich für Reaktionszeitparameter, aber nicht für Variablen der Antwortrichtigkeit konvergente Validität. Letzteres ist vermutlich auf die geringe Varianz und einen Deckeneffekt in der

³⁰ Das Experten-Novizen-Paradigma umfasst dabei die Untersuchung von Personengruppen mit unterschiedlicher sportlicher Expertise, d.h. nicht nur Experten mit höchstem sportlichem Niveau und Novizen ohne sportliche Expertise, sondern auch erfahrene Sportlergruppen mit weniger erfahrenen Sportlergruppen oder weniger leistungsstarken Sportlergruppen (Furley et al., 2023; Voss et al., 2010).

Antwortgenauigkeit zurückzuführen, die durch die große Darstellung der Stimuli und die grob-motorische Ausführung der Antwort (d. h. des Passes) bedingt sein könnte.

Auf Basis des Zusammenhangs zu Trainerurteilen und der Leistung in Kleinfeldspielen konnte weder für Testleistungen in den computerbasierten und SoccerBot360-Aufgaben (Trainerurteil) noch für die Variablen in NeurOlympics diagnostische Validität gezeigt werden. Dies wirft grundsätzlich die Frage auf, inwieweit sich isoliert erfasste kognitive Teilaspekte überhaupt mit ganzheitlichen, subjektiv geprägten Einschätzungen wie Trainerurteilen oder multidimensionaler Fußballleistung vergleichen lassen (vgl. Murr et al., 2018; Sieghartsleitner et al., 2019; Williams et al., 2020).

Auf Basis dieser Dissertation zeigt der Determinationstest keine diagnostische Validität, während NeurOlympics und der 360°-Videoentscheidungstest in einer heterogenen Gruppe diagnostische Validität aufweisen, mit stärkeren Effekten zugunsten des fußball-spezifischen Verfahrens. Die diagnostische Validität von NeurOlympics lässt sich jedoch in einer homogenen Stichprobe und im Zusammenhang mit Kleinfeldspielleistung nicht bestätigen. Die Ergebnisse der SoccerBot360-Tests deuten auf konvergente, aber nicht auf diagnostische (Trainerurteil) Validität hin. Keines der untersuchten generischen und fußball-spezifischen Verfahren scheint, auf Basis der empirischen Erkenntnisse dieser Dissertation, uneingeschränkt geeignet, für individuelle Selektionsentscheidungen genutzt zu werden (vgl. Tabelle 10). Der 360°-Videoentscheidungstest zeigt im Einklang mit vorherigen Ergebnissen anderer Altersklassen (Höner, Dugandzic et al., 2023) diagnostische Validität, weist allerdings keine Normstichprobe auf. Zudem zeigen sich, auch als etwaige Konsequenz geringer Reliabilität (für NeurOlympics), teils erhebliche interindividuelle Streuung der Leistungsvariablen innerhalb der Leistungsgruppen. In allen Altersgruppen der U11 – U15 erzielten in allen eingesetzten kognitiven Testverfahren einzelne Sub-Elite-Spieler bessere Ergebnisse als einzelne Elite-Jugendspieler (z. B. Entscheidungskompetenz oder kognitive Kontrolle (NeurOlympics Test 3) (siehe Abbildung 13; zu den weiteren Verfahren, siehe Anhang H Abbildung 36 – Abbildung 40). Daraus ergibt sich, dass kognitive Testverfahren – unabhängig davon, ob generisch oder sport-spezifisch – nicht als (alleinige) Entscheidungsgrundlage für die Talentidentifikation und -selektion herangezogen werden sollten (siehe auch Höner, Dugandzic et al., 2023; Höner et al., 2020; Morris, 2000). Stattdessen können im Rahmen einer multidimensionalen Betrachtung der Leistung und Entwicklung eines Spielers kognitive Testverfahren ein Bestandteil sein, um individuelle Entwicklungen zu verfolgen und positionsabhängig im Sinne der Vereinsphilosophie zu fördern. Dabei sollten allerdings die Störanfälligkeit und Unsicherheiten der erhobenen Werte stets kommuniziert werden (vgl. Weakley et al., 2024).

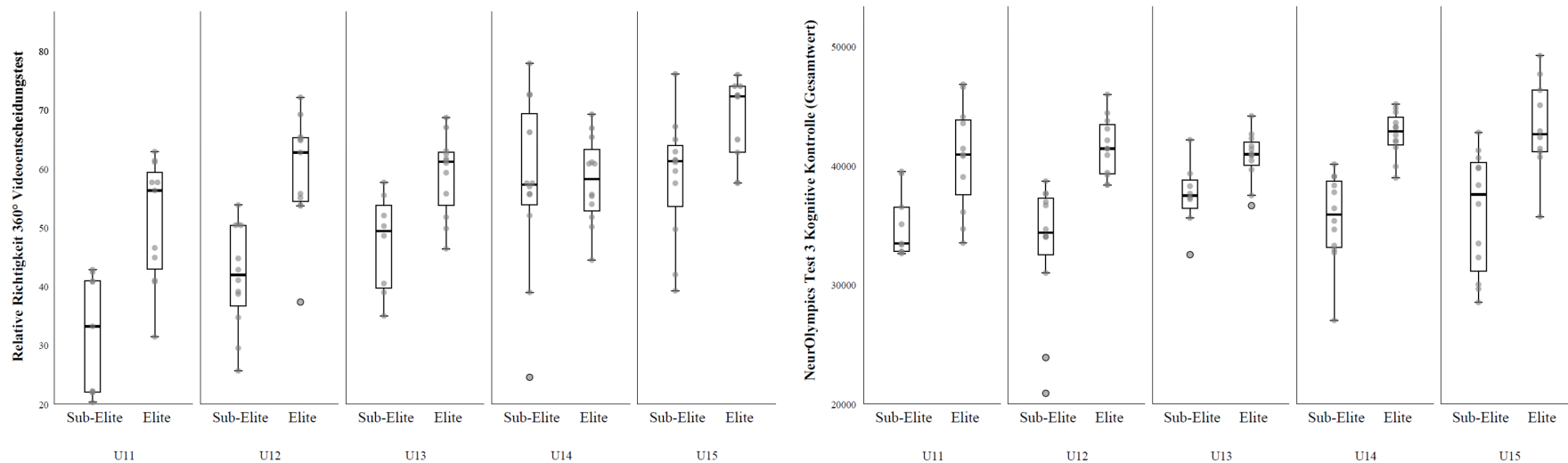


Abb. 13. Grafische Darstellung der Gruppenwerte und individuellen Ergebnisse in den diagnostisch validen Verfahren 360°-Videoentscheidungstest und dem Test 3 (Kognitive Kontrolle) in NeurOlympics.

Notiz. Für weitere Verfahren siehe Anhang H Abbildung 36 – Abbildung 40.

Die *Prognostische Validität* wurde in den empirischen Arbeiten wie folgt operationalisiert: Für NeurOlympics dienten eine Trainereinschätzung nach einem Jahr und das erreichte Leistungsniveau nach zwei Jahren als Kriteriumsvariablen (*Beitrag 2*). Im Fall der computerbasierten und Soccerbot360-Aufgaben zur Erfassung von Inhibition und kognitiver Flexibilität wurde das erreichte Leistungsniveau (i) mit Eintritt in den Seniorenbereich und (ii) fünf Jahre nach Erfassung herangezogen (*Beitrag 4*). Mit den gewählten Kriteriumsvariablen wurde Forderungen nach einer Untersuchung prognostischer Validität relevanter Talentmerkmale nachgekommen (vgl. Bergkamp et al. 2019; Höner et al., 2020; Ivarsson et al., 2020; Kalén et al., 2021; Murr et al. 2018; Williams et al., 2020). In beiden durchgeführten Studien zeigen sich keine Hinweise auf prognostische Validität. Dies bestätigt jene, welche die Prognoserelevanz generischer kognitiver Funktionen grundsätzlich in Frage stellen (Beavan, Spielmann et al., 2020; Furley et al., 2023; Heilmann et al., 2023; Höner et al., 2020; Kalén et al., 2021).

Drei mögliche Gründe für die fehlende prognostische Validität wurden auch für andere sportpsychologische Talentmerkmale (wie persönlichkeitsbezogene und psychomotorische Faktoren) im Rahmen der Talentdiagnostik diskutiert (vgl. Höner et al., 2020). Erstens ist zu hinterfragen, wie realistisch es ist, mit einem isolierten Merkmal wie kognitiven Leistungsfaktoren komplexe, kontext- und positionsabhängige sportliche Leistung valide vorherzusagen (Murr et al., 2018; Williams et al., 2020). Zweitens können Kompensationseffekte auftreten – etwa, wenn Defizite in einem Bereich (z. B. kognitiver Leistungsfaktoren) durch Stärken in einem anderen Bereich (z. B. Athletik) ausgeglichen werden³¹ (Höner et al., 2020). Drittens ist auch die Annahme eines sogenannten Schwellenmodells denkbar, bei dem ein Mindestwert („threshold“) ausreicht, um ein bestimmtes Leistungsniveau zu erreichen und darüber hinausgehende Verbesserungen keine Vorteile mit sich bringen (vgl. Baird, 1985; Beavan, Spielmann et al., 2020).

Die beiden Beiträge mit Hinweisen auf die fehlende prognostische Validität kognitiver Leistungsfaktoren tragen möglicherweise zur Verringerung eines in der Literatur vermuteten Publikationsbias im Bereich kognitiver Leistungsfaktoren und Talentdiagnostik bei (Furley et al., 2023; Kalén et al., 2021). Da dieser nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden kann (vgl. Song et al., 2013) können drei Strategien zu einem potenziell umfangreicheren empirischen Bild beitragen. Erstens die Präregistrierung von Studien, inklusive, zweitens, Replikationsstudien, und ihre Durchführung sowie Publikation der Ergebnisse (Moreau, 2019; Nosek et al., 2015; Wunsch et al., 2023). Hier sollte vor allem unabhängig vom unternehmerischen Interesse der Anbieter (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken geforscht und publiziert werden (vgl. Fabbri et al., 2018; Krinsky, 2013). Drittens, die systematische Bereitstellung (anonymisierter) Daten durch Sportorganisationen, die entsprechende Verfahren einsetzen, im Idealfall auch vereinsübergreifend im Sinne multi-zentrischer Studien. Dies würde unter anderem dazu führen, dass bislang häufig unter Verschluss gehaltene Erkenntnisse mit einer Stichprobe von Experten sowie mit zufriedenstellender Testpower der wissenschaftlichen Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden würden und eine unabhängige Auswertung erfolgt (vgl. Schweizer & Furley, 2016b). Dennoch wird wohl weiterhin und insbesondere auch im Fußball das Sprichwort zutreffen: „It is difficult to make predictions, especially about the future.“

Da *Objektivität* für standardisierte, computergestützte oder apparative Verfahren zur Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren häufig angenommen wird, wurde sie nicht explizit im Rahmen

³¹ Das gilt auch für die andere Richtung, d.h. dass Defizite im athletischen Bereich unter Umständen durch Stärken im kognitiven Bereich ausgeglichen werden können.

der Dissertation geprüft. Tatsächlich ermöglichen diese Systeme eine automatisierte und versuchsleiterunabhängige Erfassung und Auswertung der Daten. Allerdings gewährt dies nicht zwangsläufig eine vollständige objektive Durchführung, was selbst in reinen laborbasierten Testungen nicht immer erreichbar ist (Moosbrugger & Kelava, 2020). Als potenzielle Einflussfaktoren werden Versuchsleitereffekte, Unterschiede in der verwendeten Hard- und Software und die Einbindung fußball-spezifischer Antworten diskutiert.

Auch bei vollständiger Standardisierung der Instruktionen oder einer Vermeidung der Interaktion zwischen Versuchsleiter und Proband (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2020) kann die Testsituation sowie die Anwesenheit eines Versuchsleiters Auswirkungen auf die Probanden haben. So wird eine Vertrautheit mit der Testsituation und den Versuchsleitern als potenziell förderlich für Testleistungen angesehen (vgl. Fuchs & Fuchs, 1986), während eine durch die ungewohnte Testsituation entstehende Nervosität potenziell negativen Einfluss auf kognitive Testleistungen hat (vgl. Reeve et al., 2009). Um systematische Verzerrungen insbesondere in erkenntnisorientierter Anwendungsforschung zu vermeiden, sollte künftig gezielt auf die Minimierung und Dokumentation von Versuchsleitereinflüssen geachtet werden (vgl. Furley et al., 2023). Dies kann auf unterschiedliche Weise erfolgen: durch die Erfassung möglicher Einflussfaktoren (wie wahrgenommene Nervosität oder Motivation), durch standardisierte An- und Abwesenheit des Versuchsleiters, durch den Verzicht auf bekannte Versuchsleiter sowie durch Videoaufzeichnungen in Verfahren mit offenen, verbalen Antwortformaten in einem begrenzten Zeitfenster wie im 360°-Videoentscheidungstests (vgl. Janssen et al., 2023).

Insbesondere für die Erhebung zeitbasierter Variablen wie Reaktionszeiten können die Ergebnisse von der Hard- und Softwarekonfiguration sowie der Art der Antwort (z. B. Mausclick, Touchscreen) beeinflusst werden (Holden et al., 2019; Passell et al., 2021; Pronk et al., 2020; Schatz et al., 2015). Entsprechend sollten wie bei standardisierten Sprinttests auf identischen Untergründen für kognitive computerbasierte Verfahren auch dieselben Geräte und Browser genutzt werden³², idealerweise unter Berücksichtigungen der Erfahrung mit diesen Geräten (bspw. in Form von Computerspielen). Diese Herausforderungen ergeben sich nicht für den Determinationstest (apparatives, standardisiertes Verfahren) und nur durch Vorerfahrungen mit HMD für den 360°-Videoentscheidungstest (Nutzung derselben HMD).

Für die Verfahren im Soccerbot360 stellt die fußball-spezifische Antwort einen besonderen Aspekt der Einschränkung der Objektivität dar. Durch technisch unterschiedliche Ausführungen

³² Dass dies nicht immer so ist, zeigt sich im Youtube-Video *Real Sociedad - cognitive testing with NeurOlympics*. Dort ist zu sehen, dass für die NeurOlympics innerhalb einer Gruppentestung Laptops von Apple, HP, Dell und Acer (bspw. 00:58) genutzt werden (BrainsFirst, 2021)

des Passes an die zirkuläre Innenwand kehrt der Ball auf variierende Art und Weise zurück, sodass eine kontrollierte Ballannahme notwendig ist. Aufgrund des kurzen Response-Stimulus Intervalls von 1.000 Millisekunden bleibt nur wenig Zeit, den Ball zurück in den Startbereich zu bringen und sich auf den neuen Durchgang vorzubereiten. Diese motorischen Anforderungen können die Leistung im nachfolgenden Durchgang unmittelbar beeinflussen. Dies stellt einen zentralen Unterschied zu klassischen computerbasierten Verfahren dar, bei denen Mikro-Bewegungen wie ein Tastendruck notwendig sind. Um derartige Effekte zu minimieren, sollte ein experimentales Set-Up gewählt werden, welche die Probanden zu Beginn standardisiert mit einem Ball versorgt (z. B. Murr et al., 2021). Alternativ sollten motorische ‚Fehler‘ dokumentiert und solche Durchgänge unter Umständen ausgeschlossen werden oder ihr Einfluss statistisch kontrolliert werden. Damit wird deutlich, dass solche Tests nicht ausschließlich kognitive Leistungsfaktoren erfassen, sondern auch motorische Fähigkeiten die Leistung mitbestimmen. Dies schränkt die Objektivität als ‚reines‘ kognitives Testverfahren zusätzlich ein (vgl. Erdogan et al., 2025; Furley et al., 2023).

Auch für relevante *weitere Gütekriterien* der Normierung, der Skalierung, der Störanfälligkeit, der Ökonomie und der Zumutbarkeit liegen substanzielle Einschränkungen für ausgewählte kognitive Diagnostiken vor. So bleiben genaue Angaben zu den Normstichproben der Verfahren NeurOlympics und der Aufgaben im SoccerBot360 unvollständig, während für den 360°-Videoentscheidungstest aufgrund der primären Nutzung im Rahmen wissenschaftlicher Studien keine Normstichproben vorliegen. Somit würden diese Verfahren durch fehlende (öffentliche) Informationen die Anforderungen an die *Normierung (Eichung)* nicht erfüllen, was die Aussagekraft von Testergebnissen einschränkt (Diagnostik- und Testkuratorium, 2024; Moosbrugger & Kelava, 2020). Damit geht einher, dass NeurOlympics Prozentränge bzw. Gesamtwerte der Einzeltest verwendet, die auf Richtigkeit, Timing und/oder Geschwindigkeit basieren. Deren genauen Berechnung bleibt unklar, was dem Gütekriterium der *Skalierung* entgegenläuft. Ebenfalls zeigt sich im Sportsetting, dass selten laborartige Bedingungen vorherrschen und Testleistungen deshalb *störanfällig* sein können. Im SoccerBot360 fanden Testungen beispielsweise in einer Trainingshalle statt, in der an einem Tag zeitgleich ein Medientag der Lizenzspieler abgehalten wurde. Auch bei der Datenerhebung auf Teamebene mit NeurOlympics kam es zu (non-verbaler) Kommunikation und Ergebnisvergleichen zwischen den Spielern sowie Störungen von außen (bspw. unabsichtliches Eintreten in den Raum, Toilettengänge der Spieler). Solche Effekte gefährden die Standardisierung, zumal da es im Sportkontext Hinweise darauf gibt, dass die Leistungen in kognitiven Testverfahren in gruppenbasierten Settings tendenziell schlechter ausfallen als bei individueller Testung (vgl. Moser et al., 2011).

Bezüglich der *Ökonomie* sollte das Verfahren – in Relation zum Erkenntnisgewinn – angemessene zeitliche, finanzielle und personelle Ressourcen beanspruchen (Moosbrugger & Kelava, 2020). Innovative Technologien erfordern teils erhebliche finanzielle Investitionen: So liegt der Anschaffungspreis für den SoccerBot360 bei 200.000 – 300.000 € (Höhne, 2021), während die Kosten für die notwendige Hardware und Software für apparative Verfahren wie das Wiener Testsystem (ab ca. 70 € pro Monat, zusätzlich zu Testlizenzen; Schuhfried, o. D.-c), 360°-Videotestungen in HMD (ab ca. 300 €, z. B. Meta Quest 3S; Meta, o. D.) und computerbasierte Testungen teils stark variiert. Somit ist seitens der Sportorganisationen auch ein finanzielles Investment notwendig, sollten kognitive Leistungsfaktoren erhoben werden. In *Beitrag 5* zeigte sich, dass NeurOlympics Globalmaß des *Football Intelligence Score* im Vergleich zum fußballspezifischen Entscheidungstest vier zusätzliche Prozentpunkte der Varianz im Leistungsniveau aufklärt. Dafür war ein zeitlicher Aufwand von 45 Minuten pro Spieler notwendig. Nachwuchsleistungsfußballer unterliegen durch schulische Verpflichtungen, regelmäßige Wettkampfreisen, intensive und viele Trainingseinheiten sowie teils längeren Pendelstrecken starken zeitlichen Belastungen. Vereine sollten daher sorgfältig prüfen, ob wiederholte kognitive Testungen für die Spieler *zumutbar* sind und unter Umständen statt Trainingseinheiten solche Tests durchführen. Ob dieser kleine zusätzliche Erkenntnisgewinn den Ressourceneinsatz rechtfertigt, sollten Sportorganisationen kritisch abwägen. Bestehende Unsicherheiten hinsichtlich der Objektivität, Reliabilität und Validität der Ergebnisse sollten gegenüber Trainern, Spielern und anderen Stakeholdern transparent kommuniziert werden, um Fehl- und Überinterpretationen zu vermeiden (vgl. Weakley et al., 2024).

Zusammenfassend lassen sich die im Rahmen der Dissertation verwendeten Tests sich mit dem Testbeurteilungssystem des Diagnostik- und Testkuratoriums der Föderation Deutscher Psychologenvereinigungen (TBS-DKT; Diagnostik- und Testkuratorium, 2024) sowie am von Weakley et al. (2024) postulierten Entscheidungsbaum (Tabelle 10) zum Einsatz von Testverfahren für die nicht-forschende Berufspraxis einordnen. Eine Einschätzung nach dem TBS-DKT zeigt, dass keines der verwendeten Verfahren sämtliche Kriterien vollumfänglich erfüllt (siehe Anhang G Tabelle 58), was teils damit begründet ist, dass Informationen nicht vorliegen (bspw. wurde für den 360°-Videoentscheidungstest im Rahmen der Dissertation nicht die prognostische Validität geprüft). Auch die systematische Anwendung des Entscheidungsbaums verdeutlicht, dass keines der Verfahren derzeit uneingeschränkt für die Praxis empfohlen werden kann (siehe Tabelle 10). Besonders kritisch zu bewerten ist die fehlende Verfügbarkeit klarer Manuale (mit Ausnahme des Determinationstest) sowie das fehlende empirische Fundament prognostischer Validität (mit Ausnahme des 360°-Videoentscheidungstest).

Tab. 10. Klassifikation der in der Dissertation eingesetzten Diagnostikverfahren auf Basis eines Entscheidungsbaums als Orientierungshilfe für die nicht-forschende Berufspraxis (übersetzt und modifiziert von Weakley et al., 2024, S. 176).

	Item ⁺	NeurOlympics	SB360 - Inhibition	SB360 – kognitive Flexibilität	Determinationstest	360°-Videoentscheidungstest [*]
1	Eigenschaft	Ja (weitestgehend)	Ja (weitestgehend)	Ja (weitestgehend)	Ja (weitestgehend)	Ja
2	Nutzen Verstehen	Ja eingeschränkt	Ja Ja	Ja Ja	Ja Ja	Ja Ja
3	Wichtig	Theoretisch ja, empirisch ungeklärt.	Theoretisch ja, empirisch ungeklärt	Theoretisch ja, empirisch ungeklärt	Theoretisch ja, empirisch Zweifel	Theoretisch ja, empirisch bestätigt
4	Konstruktvalidität Reliabilität	Ja (laut Hersteller) eingeschränkt/nein	Eingeschränkt Ja	Ja Ja	ungeklärt Ja	ungeklärt Ja
5	Messgenauigkeit	Wird angenommen (einige Bedenken bei unterschiedlicher Hard- und Software)	Eingeschränkt (motorische Handlung relevant aufgrund des Balls)	Eingeschränkt (motorische Handlung relevant aufgrund des Balls)	Ja	Eingeschränkt (Antwort wird verbal gegeben und nicht auf Video aufgezeichnet)
6	Durchführung Interpretation	Ja weitestgehend	Ja Ja	Ja Ja	Ja Ja	Ja Ja
7	Monitoring Verschreibung Ranking	Eher nein Eher nein Eher nein	Ja Eher ja Eher nein	Ja Eher ja Eher nein	Ja Eher ja Eher nein	Ja Ja Ja (eingeschränkt) [#]

Notiz. Basierend auf Erkenntnissen dieser Dissertation und öffentlich zugänglichen und bekannten Informationen. * der 360°-Videoentscheidungstest wurde sowohl als Kriterium verwendet als auch in der Dissertation hinsichtlich der diagnostischen (nicht jedoch bzgl. der prognostischen) Validität evaluiert (*Beitrag 5*). ⁺ Die jeweiligen Formulierungen der Items (eigene Übersetzung). 1: Verstehen Sie, welche kognitive Eigenschaft der Test misst? 2: Verstehen und wissen Sie, welche Ergebnisvariablen Sie nutzen werden? 3: Miss der Test eine kognitive Eigenschaft, die wichtig für Ihren Sport ist? 4: Hat der Test adäquate Konstruktvalidität und Reliabilität? 5: Hat der Test eine adäquate Messgenauigkeit? 6: Wissen Sie, wie Sie den Test durchführen und die Testdaten interpretieren? 7: Können Sie mindestens eine der folgenden Dinge tun auf Grundlage der Testdaten (beobachten/monitoren, verschreiben, ranken)? ungeklärt = inkonsistente empirische Evidenz zugunsten sowie zuungunsten der Diagnostik; eingeschränkt = einzelne Einschränkungen (in Klammern) bei grundsätzlich vorhandener Messgenauigkeit; eher nein = die Diagnostik erlaubt zwar ein Ranking, aufgrund Einschränkungen bei Fragen 2 bis 5 wird dies allerdings nicht empfohlen). [#] es liegt keine Normstichprobe vor.

Zur Schließung der identifizierten Mängel im Bereich kognitiver Diagnostiken können drei Maßnahmen beitragen. Erstens, Anbieter kommerzieller und wissenschaftlicher Diagnostikverfahren sollten ein offen zugängliches (oder erwerbliches) Testmanual mit vollständigen, grundlegenden Informationen zur Verfügung stellen. Zweitens, es sollten unabhängige Prüfungen der psychometrischen Eigenschaften (aller relevanter Maße, insbesondere der Arten der Validität) im Kontext des Nachwuchsleistungsfußball durchgeführt werden (auch, da die Aussagekraft einer einzelnen Studie begrenzt ist, vgl. Anshel & Brinlhaupt, 2014). Drittens sollten systematische Testrezensionen erstellt und veröffentlicht werden, bspw. angelehnt an die Rezensionen nach TBS-DTK oder dem genannten Entscheidungsbaum (für ähnliche Forderungen siehe Anshel & Lidor; 2012; Finkenzeller et al., 2021; Fogarty, 1995; Singer, 1988). Bis dahin sollten (kommerzielle) kognitive diagnostische Testverfahren, wenn überhaupt, nur mit kritischer Zurückhaltung eingesetzt werden. Denn, wie Anshel und Brinlhaupt (2014) zutreffend festhalten: „If no psychometric properties can be located, this is typically a good indication that the inventory’s internal and/or external validity is questionable“ (S. 412).

4.2 Die Wahl der Kriteriumsvariablen und potenzieller Drittvariablen

In den vergangenen Jahren wurden häufig *gewählte Kriteriumsvariablen* wie das Leistungsniveau aufgrund ihrer begrenzten Aussagekraft ebenso wie der Mangel an prognostischen Studien im Rahmen der Talentforschung im Fußball vermehrt kritisch betrachtet (Bergkamp et al., 2019; Ivarsson et al., 2020; Murr et al., 2018; Unnithan et al., 2012; Vaeyens et al., 2008; Williams et al., 2020). Die Beiträge dieser Dissertation greifen diese Kritik auf, indem unterschiedliche ‚objektive‘ (z. B. das Leistungsniveau) als auch ‚subjektive‘³³ (z. B. Trainerurteile) Kriterien eingesetzt wurden. Eine Übersicht der eingesetzten Kriterien, des Skalenniveaus sowie der jeweiligen Prognosezeiträume findet sich in Tabelle 11. Zwei dieser Kriterien (Leistung im 360°-Videoentscheidungstest, Leistungsvariablen des Game Performance Evaluation Tool) erlauben durch intervallskalierte Variablen im Vergleich zum Leistungsniveau und kategorialen Trainerurteilen auch die Abbildung interindividueller Unterschiede.

³³ ‚objektiv‘ bezieht sich dabei auf standardisierte Leistungstest (wie den 360°-Videoentscheidungstest) sowie das Leistungsniveau. ‚subjektiv‘ bezieht sich auch Trainerurteile und Beurteilung der Leistung in Kleinfeldspielen.

Tab. 11. Übersicht der gewählten Kriteriumsvariablen zur Prüfung der diagnostischen und prognostischen Validität.

Kriteriumsvariable	Beschreibung	Art*	Erlaubt interindividuelle Unterschiede?	
<i>Diagnostische Validität</i>				
Trainerurteil (Beitrag 4)	Prognose des Leistungsniveaus (mit 22 Jahren) durch Trainer (A = Topspieler auf Champions-League-Niveau; B = Professioneller Spieler: 1. – 3. Bundesliga, 1. Liga im Ausland; C = bis Regionalliga; D = bis Verbandsliga)	subjektiv	Nein (Ordinalskala mit vier Kategorien)	
Leistungsniveau (Beitrag 2, Beitrag 5)	Beide Beiträge: Elite-Jugendfußballer (= NLZ eines Erstligisten) vs. Sub-Elite-Jugendfußballer (=Nachwuchsabteilung eines Viertligisten)	„objektiv“	Nein (Ordinalskala mit zwei Kategorien)	
Entscheidungskompetenz (Beitrag 5)	360°-Videoentscheidungstest (Höner, Dugandzic et al., 2023)	„objektiv“	Ja (Intervallskala)	
Leistung in Kleinfeldspielen (Beitrag 2)	Game Performance Evaluation Tool (GPET, García-López et al., 2013)	subjektiv	Ja (Intervallskala) ⁺	
<i>Prognostische Validität</i>				
Trainerurteil (Beitrag 2)	Trainereinschätzung der Spieler anhand einer Leistungs-Potential-Matrix (Baker et al., 2018)	subjektiv	Nein (Ordinalskala mit drei Kategorien)	<i>Prognosezeitraum:</i> ein Jahr
Leistungsniveau (Beitrag 2, Beitrag 4)	Beitrag 2: im NLZ geblieben vs. (unfreiwillig) ausgeschieden Beitrag 4: Leistungsniveau im Erwachsenenbereich (Elite = 1. – 3. Bundesliga, 1. Liga im Ausland; Sub-Elite = bis Regionalliga; Nicht-Elite = bis Verbandsliga)	„objektiv“	Nein Beitrag 2: Ordinalskala mit zwei Kategorien Beitrag 4: Ordinalskala mit drei Kategorien	Beitrag 2: (a) fünf Jahre, (b) erstes Jahr Senioren (1 – 5 Jahre) Beitrag 4: zwei Jahre

* subjektiv: Trainereinschätzungen sowie Einschätzung der Kleinfeldspielleistung anhand eines Manuals. „objektiv“: Leistungsniveau und Leistung im standardisierten Leistungstest. ⁺ die Limitationen und Einschränkungen im Vergleich zu einer reinen Intervallskala werden im Laufe des Kapitels diskutiert.

In den vorliegenden Beiträgen wurde das Leistungsniveau als Kriterium zur Prüfung diagnostischer (*Beitrag 2, Beitrag 5*) und prognostischer Validität (*Beitrag 2, Beitrag 4*) genutzt. Das Leistungsniveau gilt als indirektes Maß des generellen fußballerischen Leistungsvermögens, da es auf der Einschätzung des Potentials und der Leistung durch Trainer und Scouts beruht, die verschiedene Merkmale einbeziehen, die über einen längeren Zeitraum beobachtet werden (Bergkamp et al., 2019; Christensen, 2009; Larkin & O'Connor, 2017; Lath et al., 2021; Roberts et al., 2019). Gleichzeitig bringt die Verwendung des Leistungsniveaus als einmalig erfasstes Gruppenkriterium zentrale Limitationen mit sich: sie verdeckt interindividuelle Unterschiede innerhalb der Gruppen und reduziert fußballspezifische Leistung auf Ordinalskalenniveau (Bergkamp et al., 2019; Furley et al., 2017). In diesem Sinne mahnen Bergkamp et al. (2019):

Thus, talent identification procedures should strive to predict how players will perform, relative to others, but research designs that adopt a performance-level criterion implicitly assume that all players within a performance level perform equally well. (S. 1319)

Trainerurteile erlauben die Erfassung diskreter Merkmale auf Ordinalskalenniveau, z. B. wie Vestberg et al. (2020) und Scharfen & Memmert (2021) dies auf einer neunstufigen Skala für Spielintelligenz gemacht haben. Die in der Dissertation gewählten Kategorisierungen anhand von Trainerurteilen wählten vier Kategorien (*Beitrag 4*) bzw. zwei Kategorien (*Beitrag 2*) und unterliegen somit aufgrund ihrer Skalierung in ähnlicher Weise der von Bergkamp et al. (2019) thematisierten, impliziten Annahme.

Um dieser entgegenzuwirken, wurde zur Abbildung interindividueller Unterschiede die Spielleistung in einem altersgruppenspezifischen, standardisierten Kleinfeldspiel mit dem Game Performance Evaluation Tool (GPET; García-López et al., 2013) und die Leistung in einem 360°-Videoentscheidungstest ausgewertet. Dies erweitert den indirekten Ansatz über das Leistungsniveau und kategoriale Trainerurteile. Es zeigt sich ein Zusammenhang zwischen generischen kognitiven Leistungsfaktoren in NeurOlympics und den Leistungen im 360°-Videoentscheidungstest, wenngleich ein Großteil der gemeinsamen Varianz durch das chronologische Alter aufgeklärt wird (siehe *Beitrag 5*). Dahingegen konnte zur Leistung im Kleinfeldspiel kein Zusammenhang gezeigt werden (siehe *Beitrag 2*). Die methodischen Herausforderungen der objektiven und reliablen Erfassung komplexer Spielleistungen im Kleinfeldformat (Ali, 2011; Bergkamp et al., 2019; González-Víllora et al., 2015; Klingner et al., 2022) könnten ein Grund für die uneinheitlichen empirischen Befunde hinsichtlich des Zusammenhangs kognitiver Leistungsfaktoren mit Spielleistungsvariablen sein. Wenngleich die meisten Verfahren zur spielbezogenen Verhaltensanalyse für die Rater sehr zeitaufwändig sind, basieren sie typischerweise

auf kurzen Spielsequenzen (im Fall des GPET: zwei mal vier Minuten), um auf feldbasiertes Entscheidungsverhalten und Spielleistung zu schließen. Trotz der hohen ökologischen Validität und Repräsentativität solcher Kleinfeldspiele – wie sie im *Ecological Dynamics Approach* gefordert werden – führen geringe Standardisierungen der Spielsituationen zu einer hohen interindividuellen Varianz in der Anzahl und Art der beobachtbaren Aktionen. In *Beitrag 2* variierte beispielsweise die Anzahl der bewertbaren Aktionen für einen ballführenden Spieler zwischen fünf und 24. Dies bedeutet, dass für einen Spieler eine dichotom bewertete Entscheidung bis zu 20% des Gesamtwerts ausmachen kann – oder lediglich knapp 4%. Auch für nicht-ballführende Angreifer reichte die Spannweite der Anzahl bewertbarer Aktionen von 12 bis 43 (siehe Appendix C Tabelle 15). Diese Unterschiede erschweren die vergleichende Bewertung der Spielleistung erheblich. Im Vergleich dazu war im 360°-Videoentscheidungstest jede der 54 Entscheidungen mit knapp 1.8% am Gesamtwert beteiligt. Verfahren wie standardisierte fußballbezogene Spieltestsituationen (siehe bspw. Memmert, 2004; u.a. genutzt von Schumacher et al., 2024) versuchen durch eine Balance zwischen Standardisierung (gleiche Verteilung an Aktionen pro teilnehmenden Spieler) und ökologischer Validität (spielnahe Testsituation) diese Limitationen zu lösen. Als Alternative könnten automatisierte videobasierte Notationssysteme – etwa zur Analyse von Scanning-Verhalten (vgl. Aksum et al., 2021; Caso et al., 2025) – eine valide und standardisierte Erfassung realer Spielsituationen ermöglichen, ohne die Repräsentativität des Settings einzuschränken. Auch die Nutzung vorhandener Leistungsindikatoren wie Spielzeit, Tore, Assists würde eine Abbildung interindividueller Unterschiede erlauben (vgl. Scharfen & Memmert, 2019b). Zukünftige Studien sollten unter Berücksichtigung der internen und externen Validität sowohl kategoriale als auch intervallskalierte Variablen als Kriterien nutzen, um interindividuelle Unterschiede abbilden zu können und gleichzeitig ganzheitliche Betrachtungen über einen längeren Zeitraum zu berücksichtigen (vgl. Bergkamp et al., 2019; Williams et al., 2020).

Das aktuelle Leistungsniveau sowie das erreichte Leistungsniveau im Erwachsenenalter werden oft als diagnostische (z. B. Huijgen et al., 2015) und prognostische (z. B. Höner, Dugandzic et al., 2023) Kriteriumsvariable im Nachwuchsleistungsfußball eingesetzt, so auch in *Beitrag 2*, *Beitrag 4* und *Beitrag 5*. Dies ist angesichts des anvisierten Ziels der Institutionen der (deutschen) NLZ, professionelle Fußballspieler auszubilden (vgl. DFL, 2024), nachvollziehbar. Zudem gelten Trainerurteile (coach's eye; Lath et al., 2021) typischerweise als diagnostische Kriteriumsvariable, so auch in *Beitrag 2* und *Beitrag 4* (vgl. Tabelle 11). Ihre Validität wird in der Forschung jedoch zunehmend kritisch diskutiert (Christensen, 2009; Jokuschies et al., 2017; Lath et al., 2021; Roberts et al., 2019; Sieghartsleitner et al., 2019). In den Beiträgen dieser

Dissertation wurden Trainereinschätzungen auf zwei unterschiedliche Arten operationalisiert. Für Spieler der Altersklassen U11 bis U15 wurde ein Jahr nach der Datenerhebung eine Einschätzung durch die jeweiligen Mannschaftstrainer vorgenommen. Dabei bewerteten die Trainer sowohl die tatsächliche Leistung im vergangenen Jahr als auch das zugeschriebene Potenzial anhand einer Potenzial-Performance-Matrix (Baker et al., 2018). Die Auswertung erfolgte dichotom (überdurchschnittlich vs. nicht überdurchschnittlich; vgl. *Beitrag 2*). Für Spieler der Altersgruppen U15 bis U19 gaben die Trainer im Rahmen der Datenerhebung eine Prognose hinsichtlich des erwarteten Leistungsniveaus im Erwachsenenbereich ab – angelehnt an das Vorgehen von Höner et al. (2021) (vgl. *Beitrag 4*). In beiden Beiträgen zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen den kognitiven Testvariablen und den jeweiligen Trainereinschätzungen. Letztere bezogen sich in beiden Fällen nicht auf ein konkretes (kognitiv-perzeptuelles) Konstrukt wie etwa Spielintelligenz (vgl. Scharfen & Memmert, 2021; Vestberg et al., 2020), sondern stellten umfassendere, ganzheitlich konstruierte Urteile dar. Vor diesem Hintergrund ist die Verbindung zwischen kognitiven Testergebnissen und globalen Trainerbewertungen als *far transfer* einzuordnen (vgl. Fransen, 2024; Sala et al., 2019). Es wird versucht, eine Beziehung zwischen grundlegenden kognitiven Funktionen und komplexen, multifaktoriellen Kriteriumsvariablen wie Fußballleistung herzustellen – eine Übertragungsform, die qua Herangehensweise nicht stark ausgeprägt sein kann (vgl. Murr et al., 2018; Williams et al., 2020). Auch wenn der Zusammenhang zwischen kognitiven Funktionen und enger gefassten Trainerurteilen zur Spielintelligenz empirisch gestützt werden kann (vgl. Scharfen & Memmert, 2021; Vestberg et al., 2020), stellt sich die berechtigte Frage, welchen Mehrwert unter Berücksichtigung des finanziellen und zeitlichen Aufwands standardisierte Diagnostikverfahren tatsächlich bieten. Zukünftige Studien sollten entsprechend eine Vielzahl an *nahen* und *fernen* Kriterien wählen, um die diagnostische Validität kognitiver Testverfahren zu prüfen.

Befunde zur diagnostischen Validität sollten im Sinne der wissenschaftlichen Nachvollziehbarkeit in zukünftigen Studien systematisch repliziert werden und Untersuchung der prognostischen Validität mit längeren Zeiträumen durchgeführt werden. Ein Beispiel für ersteres liefert die Studie von Romeas et al. (2025), in der versucht wurde, die ursprünglich vielbeachteten Ergebnisse eines kognitiven Trainingsprogramms auf Basis des 3D-MOT (Romeas et al., 2016) zu reproduzieren. Die Replikation blieb jedoch ohne signifikante Ergebnisse und konnte die Befunde der Originalstudie nicht bestätigen. Ein solches Vorgehen ist auch für Studien, die kognitive Testverfahren als Talentdiagnostik eingesetzt haben, wünschenswert (so gilt dies bspw. für die vier empirischen Beiträge dieser Dissertation sowie gleichermaßen für andere,

vielbeachtete Artikel wie bspw. Vestberg et al., 2012³⁴). Da häufig eingesetzte Prognosezeiträume von ein bis zwei Jahren als (zu) kurze Zeitspanne als unzureichend kritisiert werden (vgl. Murr et al., 2018), wurden unterschiedliche Prognosezeiträume (ein Jahr, zwei Jahre bis zu fünf Jahren) gewählt. Für keinen dieser Zeiträume konnte prognostische Validität für NeurOlympics sowie computerbasierte und SoccerBot360-Verfahren zur Erfassung von Inhibition und kognitiver Flexibilität nachgewiesen werden. Interessant wäre es in Zukunft, wenn Daten aus querschnittlichen Studien, die eine diagnostische Validität demonstrieren konnten, nach einigen Jahren für Untersuchungen der prognostischen Validität genutzt werden, bspw. für die Daten aus *Beitrag 5* zu dem Zeitpunkt, zu dem teilnehmenden Spieler im Seniorenfußball spielen (vgl. Höner, Dugandzic et al., 2023 und *Beitrag 4*).

Neben der Wahl der Kriteriumsvariablen gilt es in empirischen Untersuchungen zur Betrachtung generischer und sport-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren auch *mögliche Einflussvariablen* zu berücksichtigen. Diese beinhalten beispielsweise das chronologische Alter, motivationale Aspekte und Erfahrung mit Computerspielen sowie die biologische Reife und den Fitnesszustand (vgl. Furley et al., 2023; Kalén et al., 2021; Scharfen & Memmert, 2019a; Williams et al., 2020). In diesem Zusammenhang wird auch gefordert, für einen etwaigen Einfluss dieser Variablen in experimentellen Untersuchungen zu kontrollieren. Dies wurde in den Beiträgen sowohl für das chronologische Alter (*Beitrag 2*, *Beitrag 5*), für motivationale Aspekte (*Beitrag 3*), sowie für Erfahrung mit Computerspielen (*Beitrag 5*) realisiert.

Das *chronologische Alter* wurde auf Ebene des Geburtstags statt nur über altersgleiche Vergleichsgruppen (wie bspw. Vántinnen et al., 2010; Verburch et al., 2014), auf Ebene der Altersklasse (z. B. Scharfen & Memmert, 2021) oder des Geburtsjahres (z. B. Vestberg et al., 2017) berücksichtigt. Konkret wurden in dieser Dissertation hierarchische Regressionen mit chronologischem Alter als Einschlussvariable im ersten Schritt (*Beitrag 5*), und standardisierten Residuen nach Kontrolle für das chronologische Alter auf Ebene des Geburtstages (*Beitrag 2*, *Beitrag 5*) verwendet. Es konnte im Einklang mit anderen Studien gezeigt werden, dass das chronologische Alter sowohl mit generischen (z. B. Heilmann et al., 2021; Vántinnen et al., 2010; Verburch et al., 2016; Vestberg et al., 2017) als auch mit spezifischen kognitiven Leistungsfaktoren (z. B. Heilmann et al., 2022; Heisler et al., 2023; Höner, Dugandzic et al., 2023) zusammenhängt (siehe Appendix F Tabelle 54, Anhang H Abbildung 36 – Abbildung 40). Zudem zeigte sich in der längsschnittlichen Analyse zur SoccerBot360-Aufgabe der kognitive Flexibilität (*Beitrag 4*) ein Hinweis auf einer altersbedingtes Leistungsplateau. Reaktionszeiten

³⁴ Mit mehr als 80.000 Aufrufen (PlosOne, 2025) und mehr als 700 Zitationen (GoogleScholar, 2025).

verbesserten sich in der no-switch Bedingungen bis 15,7 Jahren und in der switch-Bedingung bis 16,2 Jahren und nicht darüber hinaus. Diese Ergebnisse stehen im Einklang allgemeinen Befunden (Huizinga et al., 2006; Laureys et al., 2022; Zelazo & Müller, 2002) und fußball-spezifischen Ergebnissen (Beavan, Chin et al., 2020; Beavan, Spielmann et al., 2020), die zeigen, dass sich exekutive Funktionen zwischen Kindheit und Adoleszenz stark verbessern, und sich bis ins junge Erwachsenenalter weiter, aber weniger stark, entwickeln. Die altersbedingten Entwicklungen sollten insbesondere bei einmaligen Messungen im Rahmen der Talentdiagnostik berücksichtigt werden, und bspw. der Fokus mehr auf die Entwicklung kognitiver Funktionen gelegt werden (vgl. Diamond, 2012; Furley et al., 2023). In *Beitrag 5* konnte gezeigt werden, dass das chronologische Alter in einer hierarchischen Regressionsanalyse allein 26% der Varianz der Leistung im fußballspezifischen 360°-Videoentscheidungstests erklärte. Die Hinzunahme des NeurOlympics Globalwerts *Football Intelligence Score* erhöhte die erklärte Varianz signifikant auf 30%. Dies verdeutlicht, dass das chronologische Alter, insbesondere in jüngeren Altersklassen, auf granularer Ebene des Geburtstages berücksichtigt werden sollte, wenn (a) Zusammenhänge zwischen generischen und spezifischen kognitiven Funktionen untersucht werden und (b) diagnostische und prognostische Validität in altersheterogenen Stichproben analysiert werden. Andernfalls besteht die Gefahr, altersbedingte Zusammenhänge fälschlicherweise als leistungsbezogen zu interpretieren (vgl. Radke et al., 2023).

Bezüglich des Einflusses *motivationaler Aspekte* wurde in *Beitrag 3* die Motivation der teilnehmenden Spieler anhand einer visuellen Analogskala erfasst. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied in den durchschnittlichen Angaben vor den computerbasierten und vor den Soccer-Bot360-Aufgaben. Ebenso lässt sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der angegebenen Motivation und der gezeigten Leistung feststellen. Die Berücksichtigung motivationaler Aspekte scheint insbesondere bei häufiger Testung ohne direkten Mehrwert für die teilnehmenden Athleten relevant zu sein, da in diesem Zusammenhang über fehlende Motivation berichtet wird (z. B. de Waele, 2021). Hinsichtlich des Einflusses der *Erfahrung mit Computerspielen* wurde in *Beitrag 5* kontrolliert. Auch hier zeigt sich kein Zusammenhang zu den kognitiven Leistungsvariablen in den generischen und sport-spezifischen Testverfahren. Auch wenn sich kein Zusammenhang gezeigt hat, sollten in zukünftiger Forschung relevante Einflussvariablen berücksichtigt werden. In Zukunft könnte insbesondere die biologische Reife berücksichtigt werden, aufgrund ihres Einflusses auf exekutive Funktionen (vgl. Laureys et al., 2021) sowie der breiten Spanne der biologischen Reife innerhalb jugendlicher Fußballspieler (vgl. Leyhr et al., 2023).

Zusammenfassend zeigt sich, dass in zukünftigen Studien ebenfalls mehrere Kriteriumsvariablen berücksichtigt werden sollten, welche sowohl gruppenbezogene (z. B. Leistungsniveau) sind als auch interindividuelle (z. B. Kleinfeldspielleistung) Unterschiede abbilden. Ebenso sollte neben der diagnostischen auch die prognostische Validität mit unterschiedlichen Prognosezeiträumen einbezogen werden. Der Einfluss relevanter Drittvariablen, insbesondere des chronologischen Alters, sollte weiterhin berücksichtigt werden, vor allem bei Untersuchungen im Nachwuchsfußball.

4.3 Die Sport-Spezifität in der Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren: Forschungsmethodische und theoretisch-konzeptionelle Zugänge

In den Beiträgen der Dissertation wurde die Sport-Spezifität in der Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren unterschiedlich akzentuiert. Es kamen Verfahren zu Einsatz, welche generische Stimuli und Antworten (Determinationstest, NeurOlympics, computerbasierte Verfahren zur Inhibition und kognitiven Flexibilität), fußball-spezifische Stimuli mit generischen Antworten (360°-Videoentscheidungstest), generische Stimuli mit fußball-spezifischer Antwort (SoccerBot360-Aufgabe zur kognitiven Flexibilität) und spezifische Stimuli und fußball-spezifische Antwort (SoccerBot360-Aufgabe zur Inhibition) nutzen. Zudem war das zugrundeliegende Konstrukt mit Ausnahme des 360°-Videoentscheidungstests (Entscheidungskompetenz) stets generisch (Exekutive Funktionen, Aufmerksamkeit, Antizipation, reaktive Stresstoleranz). Diese unterschiedlich akzentuierte Sport-Spezifität liegt in den Anforderungen forschungsmethodischer und theoretischer Zugänge begründet. Darüber hinaus zeigen sich konzeptionelle Herausforderungen in der Benennung erfasster Konstrukte.

Im Rahmen der Diskussion um die Relevanz kognitiver Leistungsfaktoren wird zwischen generischen (*domain-general*) und spezifischen (*domain-specific*) kognitiven Funktionen unterschieden (Beavan, Chin et al., 2020; Dong et al., 2024; Furley und Memmert, 2015; Kalén et al., 2021). Diese Unterscheidung ist eng verknüpft mit den beiden dominierenden forschungsmethodischen Zugängen des *Cognitive Component Skills Approach* und des *Expert Performance Approach*. Beide postulieren eine standardisierte Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren, meist im Laborsetting (Nougier et al., 1991; Williams & Ericsson, 2005). Ein Ziel des Beitrags 3 war die Verbindung der Stärken beider Ansätze, indem generische exekutive Funktionen (*Cognitive Component Skills Approach*) in einer ökologisch valideren Umgebung (*Expert Performance Approach*) mit einer fußball-spezifischen Antwort erfasst werden. Dieser Ansatz erscheint aus methodischer Sicht plausibel, um den gesamten kognitiv-motorischen Prozess zu berücksichtigen (vgl. Wilke et al., 2020). Allerdings hat sich im Rahmen der

Dissertation herausgestellt, dass die gewählte Umsetzung nicht den Anforderungen des *Expert Performance Approach* entspricht, die beispielsweise Williams und Ericsson (2005) beschreiben (Hervorhebung hinzugefügt):

The challenge facing scientists in the first stage of the expert performance approach is to *identify the essence of perceptual-cognitive expertise within the domain in question* and to effectively capture the component skills in the laboratory (or field setting) using a *representative task(s)*.... *Novel tasks require unique solutions, often those for which the expert is no better prepared than the novice*. As indicated by Abernethy, Thomas, and Thomas (1993), *simplistic or contrived laboratory tasks are likely to remove the experiential effects for the expert's advantage*, introducing potential floor or ceiling effects on performance, and causing experts to use different information to that which they would normally use to solve a particular problem. It is likely that *more realistic simulations* enhance measurement sensitivity, increasing the possibility of identifying meaningful and important differences between skilled and less skilled performers. (S. 286-287)

In *Beitrag 3* wurden jedoch nicht solche domänen-spezifischen Wesensmerkmale perzeptuell-kognitiver Expertise identifiziert. Stattdessen wurden zwei generische neuropsychologische Testverfahren (*Flankertask*, *Number-Letter-Task*) adaptiert und mit fußball-spezifischer motorischer Antwort kombiniert. Dieser Ansatz lässt sich in der Form nicht mit Anforderungen des *Expert Performance Approach* in Einklang bringen. Erstens, da das zugrundeliegende Konstrukt (Inhibition, kognitive Flexibilität) generisch ist und auch im SoccerBot360 bleibt und somit kein domänen-spezifisches Wesensmerkmal darstellt. Zweitens fehlt bei der Aufgabe zur Erfassung der Inhibitionsleistung im SoccerBot360 eine verhaltensbezogene Stimulus-Korrespondenz (vgl. Connolly et al., 2025). Die Aufgabe bleibt für Fußballspieler aufgrund der fehlenden Repräsentativität ungewohnt und neu (dies gilt auch für die zweite Aufgabe, bei der die Stimuli generisch bleiben). Drittens stellt die Integration einer fußballspezifischen Antwort, wie ein Pass gegen eine Wand, keinen konstituierenden Bestandteil des *Expert Performance Approach* dar. Vielmehr schränkt dies die Standardisierung des Tests ein, da nicht-kognitive Faktoren (Ballkontrolle, Rückprallwinkel) die Leistung beeinflussen. Zuletzt war auch das Schwierigkeitsniveau der Aufgabe zur Erfassung von Inhibition im SoccerBot360 unzureichend, wie die nahezu perfekte Antwortrichtigkeit sowohl in der zunächst entwickelten ($M = 99.88\%$, $SD = 0.01\%$, $Min: 98.61\%$, $Max: 100.00\%$) als auch in der revidierten ($M = 99.94\%$, $SD = 0.32\%$, $Min: 98.15\%$, $Max: 100.00\%$) Version zeigt (ein Hinweis auf einen Deckeneffekt). Dies widerspricht auch einer Forderung des *Cognitive Component Skills Approach*, wonach Unterschiede in generischen kognitiven Leistungsfaktoren zwischen Experten und Novizen

bzw. weniger erfahrenen Athleten bei hoher, aber nicht bei mittlerer Aufgabenkomplexität erkennbar werden (Nougier et al., 1999). Statt einer Verbindung der beiden Forschungsansätze scheint, wie in *Beitrag 5* geschehen, die Nutzung von Testverfahren aus beiden Ansätzen innerhalb einer Stichprobe vielversprechend, um vergleichende Aussagen hinsichtlich der diagnostischen Relevanz treffen zu können.

Wissenschaftliche Untersuchungen zu kognitiven Funktionen aus experimentalpsychologischer Perspektive bewegen sich stets im Spannungsfeld zwischen interner Kontrolle und externer bzw. ökologischer Validität. Diese methodische Herausforderung ist sowohl im *Expert Performance Approach* als auch im *Cognitive Component Skills Approach* grundlegend verankert. Während die Erhebung kognitiver Leistungsfaktoren in realitätsnahen Spielsituationen aus Perspektive der Repräsentativität besonders attraktiv erscheint, zeigen sich in der praktischen Umsetzung deutliche Einschränkungen (vgl. Kapitel 4.2). In diesem Zusammenhang erscheint es deshalb von zentraler Bedeutung, die Limitationen des jeweils gewählten Ansatzes transparent offenzulegen.

Die in dieser Dissertation eingesetzten Testverfahren lassen sich hinsichtlich ihrer Sport-Spezifität mithilfe des *Modified Perceptual Training Framework* (Hadlow et al., 2018) differenzierter einordnen. Dabei erfolgt in Anlehnung an Connolly et al. (2025) eine Klassifikation anhand der Stimulus-Korrespondenz (visuell, verhaltensbezogen) und der Antwortkorrespondenz. Generische Stimuli bzw. Antworten sind am unteren Ende des Kontinuums verortet, während sport-spezifische Stimuli bzw. Antworten am oberen Ende eingestuft sind (Abbildung 14).

Die Verfahren Determinationstest, NeurOlympics sowie die computerbasierten Verfahren zur Erfassung der Inhibition und kognitiven Flexibilität sind auf allen Skalen generisch eingestuft, da sowohl Stimuli (Formen, Farben) als auch Antwort (Mikrobewegungen des Fingers) sport-unspezifisch sind. Die fußball-spezifische Antwort ist für beide Aufgaben im SoccerBot360 nicht als vollständig sport-spezifisch klassifiziert, da lediglich eine isolierte Aktion (Pass über wenige Meter) erfasst wird. Die Stimuli in der SoccerBot360-Aufgabe zur Inhibition zeigen zwar hohe visuelle (durch computergenerierte Avatare von Spielern), allerdings durch ihren statischen Charakter keine verhaltensbezogene Stimulus-Korrespondenz. Auf Ebene des Konstrukts lässt sich lediglich der 360°-Videoentscheidungstest (Entscheidungskompetenz) als sport-spezifisch klassifizieren. Somit kamen in der Dissertation keine vollständig sport-spezifischen kognitiven Aufgaben, bei denen Stimuli und Antwort spezifisch sind, zum Einsatz. Auch die bei Kalén et al. (2021) inkludierten Verfahren waren größtenteils generisch (36%), gemischt (47%), und nur selten in Bezug auf Stimulus *und* Antwort spezifisch (17%).

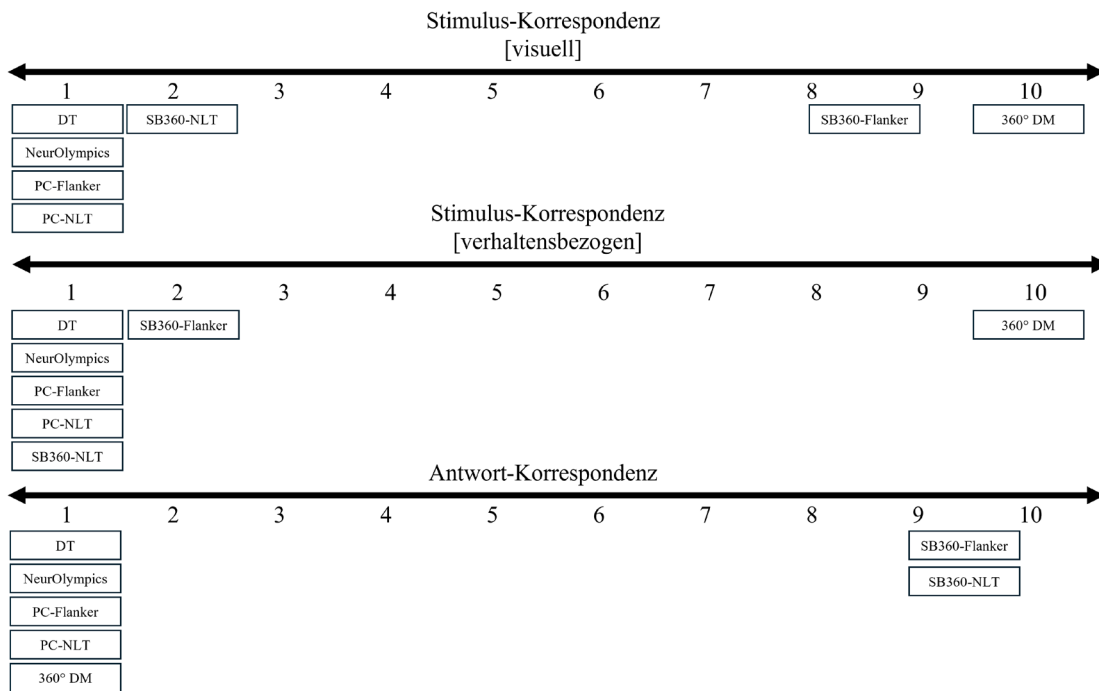


Abb. 14. Klassifizierung der verwendeten kognitiven Diagnostiken anhand der Stimulus- und Antwortkorrespondenz des Modified Perceptual Training Framework (Hadlow et al., 2018; übersetzt und modifiziert von Connolly et al., 2025, S. 8-10).

Notiz. DT = Determinationstest, PC = computerbasierte Aufgabe; SB360 = Aufgabe im SoccerBot360 Flanker = Flanker-Aufgabe zur Erfassung Inhibition, NLT = Number-Letter-Aufgabe zur Erfassung kognitiver Flexibilität, 360°DM = 360°-Videoentscheidungstest.

Zukünftige Studien sollten innerhalb einzelner Testverfahren die Stimulus- und Antwort-Korrespondenz systematisch verändern, um die relative Bedeutung der jeweiligen Sport-Spezifität für die diagnostische Aussagekraft zu prüfen. So könnte beispielsweise die Inhibitionsaufgabe in vier Varianten im SoccerBot360 implementiert werden: vollständig generisch (Pfeile und Joystick), weitestgehend spezifisch (Spieler und Pass), sowie in zwei Mischformen (Pfeile und Pass; Spieler und Joystick) (vgl. Tabelle 12). Einige Testformate, wie videobasierte Entscheidungstests, lassen sich auf Stimulus-Ebene nicht generisch gestalten. Dennoch kann auch hier die Antwortmodalität (feinmotorische Mikro-Bewegung, verbale Antwort, sport-spezifische Antwort) systematisch manipuliert werden. Ziel stellt es dar, herauszufinden, ob und in welcher Bedingung sich die größten Leistungsunterschiede zwischen Experten und Novizen zeigen sowie ob und wie die jeweiligen Leistungen mit sport-spezifischen Leistungsparametern zusammenhängen. Bisherige test- und sportübergreifende Befunde deuten darauf hin, dass die Sport-Spezifität der Stimuli hierfür bedeutender ist als die der Antwort. Zudem zeigen sich vollständig spezifische kognitive Testverfahren gemischten und vollständig generischen Verfahren überlegen (Kalén et al., 2021; Travassos et al., 2013).

Tab. 12. Mögliche experimentelle Manipulation der Stimuli und Antwort innerhalb einer kognitiven Aufgabe

		Antwort	
		generisch	spezifisch
Stimuli	generisch	Pfeile, Joystick	Pfeile, Pass
	spezifisch	Fußballspieler, Joystick	Fußballspieler, Pass

Die Sport-Spezifität kognitiver Verfahren kann durch zusätzliche Kontextfaktoren gesteigert werden (vgl. Pinder et al., 2015). So kann beispielsweise durch die gezielte Induktion körperlicher (Teoldo et al., 2024) oder mentaler (González-Villora et al., 2022; Smith et al., 2018) Ermüdung die Testumgebung an Wettkampfbedingungen angenähert werden. Dies ermöglicht, die kognitive Leistungsfähigkeit unter psychophysiologischen Belastungen (vgl. Knöbel et al., 2024) – auch als *resilient cognition* (Martin et al., 2022) bezeichnet – zu erfassen (Walton et al., 2018). Erweiterungen dieser Art sind allerdings erst nach einer grundlegenden Bereinigung der Limitationen (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken hinsichtlich ihrer psychometrischen Eigenschaften, insbesondere der Reliabilität, als sinnvoll anzusehen.

In kognitiven Testverfahren werden unterschiedliche Antwortmodalitäten eingesetzt – von verbalen Reaktionen über motorische Mikro-Bewegungen bis zu sport-spezifischen komplexeren Handlungen. Der bewusste Verzicht auf sport-spezifische Antwortformate der in *Beitrag 5* eingesetzten Verfahren diente der Untersuchung kognitiver Funktionen, die unabhängig von motorischer Expertise erfasst werden sollten (vgl. Bruce et al., 2012). Insbesondere bei Aufgaben zur Verhaltensinhibition, wie der in allen empirischen Arbeiten in unterschiedlichen Versionen genutzten Flanker-Aufgabe, existieren in der Literatur Bedenken hinsichtlich der Nutzung motorischer Antworten, da die motorische Komponente die kognitive Leistung überlagern könnte³⁵ (Cremen & Carson, 2017; Furley et al., 2023). So kann der Eindruck entstehen, exekutive Funktionen seien unterschiedlich ausgeprägt, obwohl Unterschiede in der motorischen Ausführung vorliegen. Dies gilt als ein Trugschluss, da Unterschiede und Verbesserungen in den exekutiven Funktionen als unabhängig von der motorischen Komponente gelten (Furley et al., 2023). Bei der Nutzung motorisch geprägter Aufgaben sollte deshalb für Reaktions- und Bewegungszeiten kontrolliert werden, um eine zuverlässige und valide Erfassung *kognitiver* Leistungsfaktoren sicherzustellen (vgl. Erdogan et al., 2025; Furley et al., 2023). Diese Anforderung gilt (mit Ausnahme des 360°-Videoentscheidungstest aufgrund der verbalen Antwort) für alle eingesetzten Verfahren, sowohl die computerbasierten als auch die Aufgaben im

³⁵ Das Argument bezieht sich ursprünglich auf motorische Mikro-Bewegungen wie Tastendrucke, kann und sollte aber auf grobmotorische Antworten wie einen Pass übertragen werden.

SoccerBot360. Für letztere sollte zudem die einfache Reaktionszeit (d.h. Zeitpunkt der motorischen Initiierung) ebenso erfasst werden wie die Antwortzeit (d.h. Zeitpunkt, an dem der Ball die Wand berührt), um die kognitive Leistung von der kognitiv-motorischen Leistung zu trennen (vgl. Erdogan et al., 2025).

Demgegenüber existieren Ansätze aus den Bereichen der kognitiven Psychologie und Neurowissenschaft, die davon ausgehen, dass Kognitionen auf sensomotorischen Kopplungen und damit auf der gegenseitigen Beeinflussung von sensorischer Informationsverarbeitung und motorischen Handlungen beruhen. Dies unterstützt eine verkörperte Sichtweise von Wahrnehmung und Kognition und befürwortet handlungsbasierte (kognitive) Paradigmen (Cañal-Bruland & Mann, 2025; Engel et al., 2013; Schütz-Bosbach & Prinz, 2007). In theoretischen Perspektiven des *Ecological Dynamics Approach* (Araújo et al., 2006) und der *Embodied Cognition* (Beilock, 2008) gelten Kognition und Motorik als nicht unabhängig. Vielmehr wird ihre enge funktionale Verknüpfung betont (z. B. Roca et al., 2013). In diesem Kontext wurde die laborbasierte Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren im Sport wiederholt als isoliert, reduktionistisch und nicht repräsentativ kritisiert – unabhängig davon, ob generische oder sport-spezifische kognitive Leistungsfaktoren untersucht wurden (z. B. Araújo & Davids, 2009; Eccles, 2020; Kilger & Blomberg, 2020; Petiot et al., 2021; Philipps et al., 2010; Renshaw et al., 2019). Im Sinne des *Ecological Dynamics Approach* können Wahrnehmung, Kognition und Verhalten nur dann adäquat verstanden werden, wenn sowohl die individuellen Eigenschaften der Fußballspieler als auch die Merkmale der Leistungsumgebung detailliert analysiert werden, da Entscheidungs- und Verhaltensmöglichkeiten stets durch eine Interaktion dieser beiden entstehen (Araújo et al., 2006; Araújo et al., 2020; Araújo et al., 2019; Vilar, Araújo, Davids & Renshaw, 2012). Daraus folgt, dass eine Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren ohne Berücksichtigung der Leistungsumgebung und motorischer Komponenten nicht möglich sei. Aus dieser Perspektive erfüllt keines der eingesetzten generischen und sport-spezifischen Diagnostiksysteme die Anforderungen nach ökologischer Validität, Repräsentativität oder Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung. Auch Verfahren mit sport-spezifischen Stimuli (wie der 360°-Videoentscheidungstest) oder mit sport-spezifischen Antworten (wie im SoccerBot360) weisen keine Interaktion mit der Leistungsumgebung im Sinne des *Ecological Dynamics Approach* auf. Die dargestellten Spieler reagieren nicht auf die Handlungen der Testperson, was als ein zentrales Element realer Spielsituationen gilt (vgl. Araújo et al., 2006; Renshaw et al., 2019; Travassos et al., 2013). Es gibt daher erste Bestrebungen experimentelle Settings zu entwerfen, welche durch systematische experimentelle Manipulation unter Nutzung neuer Technologien (VR, AR, Künstliche Intelligenz) eine dynamische soziale Interaktion zwischen Probanden und den gezeigten Szenarien

erlauben (vgl. Cañal-Bruland & Mann, 2025 für dynamisch-interaktive Antizipationsforschung).

Eine Betrachtung in der realen Leistungsumgebung – allerdings mehr im Sinne des *Expert Performance Approach*, denn des *Ecological Dynamics Approach* – fand mit dem GPET (García-López et al., 2013) statt. Dieses Notationssystem für Kleinfeldspielleistung wurde in *Beitrag 2* gewählt, da es eine getrennte Erfassung von Entscheidungskomponente von der Komponente der technischen Ausführung ermöglicht. Allerdings bleibt diese videobasierte, strukturierte Erfassung mit binärem Bewertungssystem aus der Beobachterperspektive limitiert (vgl. Kapitel 4.2).

Eine zentrale Herausforderung im Rahmen der Talentforschung im Fußball und auch in der Anwendung und Nutzung kognitiver Diagnostiken stellt die begriffliche Klarheit in der Bezeichnung der erfassten Konstrukte dar (vgl. Baker et al., 2023). Ein Beispiel für fehlende konzeptionelle Einheitlichkeit – sowohl zwischen Forschung und Praxis, aber auch innerhalb der jeweiligen Gruppen – findet sich in der Verwendung des Begriffs Fußballintelligenz bzw. Spielintelligenz. Als Globalmaß wird in NeurOlympics ein sogenannter *Football Intelligence Score* ausgegeben, der sich aus Leistungen in generischen kognitiven Tests ergibt. Dies impliziert, dass eine sport-spezifische Intelligenz basierend auf generischen kognitiven Testergebnissen erfasst werden kann. Dabei existiert keine allgemeingültige Definition des Begriffs Fußball- oder Spielintelligenz im Fußball (Lennartson, 2015; Stratton et al., 2004). Unter sportartspezifischer Intelligenz lässt sich laut Gabler (2000) das „intuitive, operative und strategische Denken“ (S. 194) subsummieren. Auf der Webseite der DFB-Akademie wird Spielintelligenz mit dem „Erkennen und Lösen immer neuer Situationsanforderungen“ (DFB-Akademie, o. D.-a) beschrieben. In einem Review definieren Haugan et al. (2025) den Begriff *game intelligence* in Rückgriff auf Roca et al. (2013) und Teoldo et al. (2021) als „the ability to perceive, interpret, and predict relevant patterns of play in highly dynamic environment, and to make rapid, adaptive decisions that optimize team performance“ (S. 2). Leso et al. (2017) betrachten mit Bezug zu Lennartson et al. (2015) und Wein (2004) „creativity, developing strategies, problem solving, and making quick decisions“ (S. 183) als Bestandteile der *game intelligence*. Auch wenn es Überschneidungen der Definitionen gibt, zeigt sich eine Breite an Aspekten, die unter Spielintelligenz subsumiert werden. Auch deshalb weisen Lennartson et al. (2015) darauf hin, dass der Begriff im Teamsport schwer operationalisierbar ist:

Game intelligence in team sports is usually regarded as something very incomprehensible, and excellent players are often praised for how they ‘read the game’. Even though most

would agree on what constitutes good skills – technique, strength, agility, endurance, etc. – it is less obvious what characterizes a good player in terms of game intelligence. (S. 1)

Vor diesem Hintergrund überrascht es, dass Spielintelligenz in empirischen Arbeiten – etwa bei Vestberg et al. (2020) sowie Scharfen und Memmert (2021) – über einen Single-Item-Fragebogen auf einer Stanine-Skala erfasst wurde, ohne dass Trainern eine konkrete Definition des Konstrukts vorlag. Dabei wurde vorausgesetzt, dass professionelle Trainer über ein homogenes und robustes Verständnis dessen verfügen, was Spielintelligenz ausmacht. Diese konzeptuelle Unschärfe beschränkt sich nicht nur auf den Begriff Fußballintelligenz in NeurOlympics³⁶, sondern betrifft auch andere Verfahren wie den AIQ, der ebenfalls auf generischen kognitiv-perzeptuellen Tests basiert (Bowman et al., 2021).

Bereits Gabler (2000) warnte in diesem Zusammenhang:

Die sportartspezifische Intelligenz sollte aber nicht mit der *allgemeinen Intelligenz* gleichgesetzt werden; denn ein Sportler kann aufgrund langjähriger Erfahrungen vielfältige Fähigkeiten erworben haben, um sich in seinen gegebenenfalls eng begrenzten sportartspezifischen Aktivitäten intelligent verhalten zu können. (S. 195)

Darüber hinaus wird insbesondere für Verfahren zur Erfassung exekutiver Funktionen diskutiert, wie trennscharf die Konstrukte und Messverfahren tatsächlich sind (unit-diversity; vgl. Friedman & Miyake, 2017; Karr et al., 2018; Miyake et al., 2000). Ein zentrales Problem ist die sogenannte Aufgabenunreinheit (*task impurity*): Viele Aufgaben, die eine spezifische exekutive Funktion erfassen sollen – etwa Inhibition oder Arbeitsgedächtnis –, erfordern gleichzeitig weitere kognitive Prozesse, was die Interpretation der Ergebnisse erschwert (Diamond, 2020; Furley et al., 2023; Miyake & Friedman, 2012). Neben der Aufgabenunreinheit wiesen Nougier et al. (1991) bereits vor mehr als 30 Jahren exemplarisch am Konzept der Aufmerksamkeit auf die Problematik der Bezeichnung der Konstrukte hin.

However, the concept of attention itself is subject to numerous understandings and interpretations. Everybody speaks about attention, but in the various meanings of concentration, preparation, vigilance, arousal, alertness, facilitation or selection (Parasuraman & Davies, 1984). Hence, these words are confusedly used and frequently considered as equivalent. (S. 307)

³⁶ Aus diesem Grund wird in *Beitrag 2* der Begriff *cognition score* anstelle des *Football Intelligence Score* verwendet als Bezeichnung für die Gesamtleistung in NeurOlympics.

In der Literatur werden teils unterschiedliche Begriffe für dasselbe Konstrukt (*jangle-fallacy*), und dieselben Begriffe für unterschiedliche Konstrukte (*jingle-fallacy*) genutzt (Hanfstingl et al., 2024; Marsh, 1994). Ein konkretes Beispiel für eine *jangle-fallacy* ist die Unterschiedlichkeit der Bezeichnungen des erfassten Konstrukts des Determinationstests. Während dieser zur Erfassung reaktiver Stresstoleranz entwickelt wurde (Neuwirth & Benesh, 2012), wurde er in sportpsychologischen Forschungsarbeiten auch zur Erfassung von psychomotorischer Geschwindigkeit (Nederhof et al., 2007), Reaktionszeit (Nederhof et al., 2008), multipler Reaktion (Jiménez-Pavón et al., 2011), Wahlreaktion (Dogan, 2009), komplexer Reaktion (Gierczuk & Ljach, 2012), reaktiver Kapazität (Baur et al., 2006) und kognitiver Flexibilität (Radke et al., 2023) genutzt (siehe Ong, 2015). Ein weiteres Beispiel für eine potenzielle *jangle-fallacy* zeigt sich in den Variationen der Flanker-Aufgabe. In *Beitrag 3* und *Beitrag 4* wurde sie – mit Pfeilen bzw. Spielern als Stimuli – zur Erfassung von Inhibition genutzt. Im NeurOlympics-Testverfahren hingegen wird in Test 4 eine *cued* Flanker-Aufgabe eingesetzt, die auf dem *Attentional Network Paradigm* (Fan et al., 2005) basiert und primär der Messung von Aufmerksamkeitsnetzwerken (*alerting, orienting, executive control*) dient. In anderen Publikationen wiederum, wie bei Clements et al. (2021), wird die *cued* Flanker-Aufgabe zur Differenzierung von reaktiver und proaktiver Kontrolle herangezogen. Dies unterstreicht die zentrale Bedeutung einer präzisen Definition des zu messenden Konstrukts, der Auswahl eines adäquaten Testverfahrens sowie der transparenten Kommunikation dieser Entscheidungen. Die Verwendung unterschiedlicher Bezeichnungen, etwa reaktive Stresstoleranz, kognitive Flexibilität oder psychomotorische Geschwindigkeit, bei identischen Testverfahren suggeriert fälschlicherweise die Messung unterschiedlicher Konstrukte. Eine solche Inkonsistenz der genutzten Begriffe gefährdet die Vergleichbarkeit empirischer Befunde.

Auch *jingle-fallacies* sind relevant in der Bezeichnung der Konstrukte in kognitiven Diagnostiken. In der Testbatterie NeurOlympics wird Test 2 als Antizipationstest bezeichnet. Typische Antizipationstest im Sportsetting nutzen das zeitliche und/oder räumliche Okklusionsparadigma mit sport-spezifischen, oft video-basierten, Stimuli (Gonçalves et al., 2015; Höner et al., 2020; Mann & Savelsbergh, 2015). Der Begriff Antizipation wird hier zur Beschreibung unterschiedlicher Aufgaben genutzt, die teils verschiedene kognitive Mechanismen involvieren können – im Fall von NeurOlympics Test 2 beispielsweise auch strategisches Abwägen, da auf vier unterschiedlichen (und mit unterschiedlicher Anzahl an Punkten belohnten) Wegen die herunterfallenden Objekte getroffen werden können. Diese terminologische Überschneidung birgt die Gefahr, theoretisch und empirisch nicht vergleichbare Konstrukte unter derselben Bezeichnung zu subsumieren.

Zusammenfassend zeigt dies, dass eine konzeptionelle Klarheit und entsprechende Operationalisierung generischer und sport-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren notwendig sind, die Berücksichtigung der motorischen Komponente für die Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren stattfinden und sport- und fußball-spezifische Intelligenz nicht mit allgemeiner Intelligenz gleichgesetzt werden sollte. Dies ist notwendig, um im wechselseitigen Austausch der forschenden und nicht-forschenden Berufspraxis Missverständnisse und Überinterpretationen zu vermeiden.

4.4 Die Zusammenarbeit zwischen Akteuren der Universitäten, Sportorganisationen und Unternehmen

Die vier empirischen Beiträge sind – unterschiedlich akzentuiert und formalisiert – in Zusammenarbeit mit Akteuren von Sportorganisationen und kommerziellen Unternehmen, die Technologien bzw. kognitive Diagnostiken anbieten, entstanden. Die Erfahrungen einer Kooperation wurden exemplarisch in einem gemeinsamen Positionspapier (*Beitrag 1*) anhand der Zusammenarbeit mit Akteuren des NLZ von RB Leipzig und der Firma Umbrella Software GmbH dargestellt (aus diesem Projekt entstanden *Beitrag 3* und *Beitrag 4*). Das zweite Projekt wurde zusammen mit Akteuren des NLZ des VfB Stuttgart 1893, der DFB-Akademie sowie der Firma BrainsFirst B.V. realisiert (*Beitrag 2* und *Beitrag 5*).

In technologischen Forschungsprogrammen (Herrmann, 1994; Höner, 2008; Willimczik, 2003) sowie in der erkenntnisorientierten Anwendungsforschung (vgl. Stokes, 1997) steht die Generierung von operativem Hintergrundwissen, ein erweitertes Verständnis des Gegenstandsbereichs sowie eine Verbesserung von in der Praxis genutzten Instrumenten im Vordergrund. Durch die Zusammenarbeit mit Sportorganisationen und Unternehmen kann dies im Rahmen der Talentdiagnostik aufgrund sich ergänzender Perspektiven gut gelingen. Sportorganisationen fehlt es im operativen Alltag oft an zeitlichen und personellen Ressourcen, für sie interessante (wissenschaftliche) Fragestellungen beantworten zu können. Gleichzeitig sind wissenschaftliche Institutionen für eine Anwendung ihrer Expertise auf Probanden aus dem Sportumfeld angewiesen, um nicht fälschlicherweise auf Basis nicht repräsentativer Stichproben zu generalisieren (vgl. Dorsch et al., 2023; Henrich et al., 2010). Durch eine gelingende Zusammenarbeit werden Fragen aus der Praxis mit wissenschaftlichen Methoden beantwortet (vgl. Keegan et al., 2017), relevantes Wissen generiert und durch Publikationen auch der breiten (wissenschaftlichen) Öffentlichkeit zugänglich gemacht (vgl. Wolf et al., 2020). Dies generiert im Sinne erkenntnisorientierter Anwendungsforschung tatsächlich relevantes Hintergrundwissen für die

Akteure in den Sportorganisationen sowie ein erweitertes, wissenschaftliches Verständnis des Gegenstandsbereichs (vgl. Stokes, 1997; Willimczik, 2003).

Damit dies gelingen kann, ist eine frühzeitige Klärung des gemeinsamen Anliegens sowie der Aufgaben und Rollen innerhalb einer Zusammenarbeit notwendig. Durch die Kooperation mit den Sportpsychologen von RB Leipzig und dem Vorhandensein des SoccerBot360 lagen fruchtbare Rahmenbedingungen für das Projekt vor, aus dem *Beitrag 3* und *Beitrag 4* entstanden sind. Über ein Non-Disclosure-Agreement, ein Wunsch des Unternehmens, wurde sich darauf verständigt, dass die personalisierten Rohdaten nicht veröffentlicht werden, aber wissenschaftliche Publikationen entstehen dürfen. Auf diesem Weg konnten die Ergebnisse von Nachwuchsleistungsfußballspieler eines NLZ eines Fußballbundesligisten erhoben und für wissenschaftliche Zwecke genutzt werden. *Beitrag 2* und *Beitrag 5* sind mit Unterstützung der DFB-Akademie entstanden, der die Kosten für die (vergünstigt zur Verfügung gestellten) Lizenzen der kognitiven Diagnostik NeurOlympics übernahm. Durch meine Tätigkeit als Sportpsychologe im Rahmen eines Projektvertrages zwischen dem Arbeitsbereich Sportpsychologie und Methodenlehre der Eberhard Karls Universität Tübingen und dem VfB Stuttgart 1893 habe ich innerhalb des Vereins ein Interesse an kognitiven Diagnostiken mitbekommen. Nach Vorstellung der geplanten Datenerhebungen vor Trainern und sportlichen Leitern, konnten Spieler des NLZ sowie eines kooperierenden Partnervereins getestet werden.

Da insbesondere bei neueren (kommerziellen) kognitiven Testverfahren wenig (öffentlich zugängliches) Wissen vorhanden ist, kann die Zusammenarbeit mit Universitäten sicherstellen, dass solche kognitiven Diagnostiken unabhängig und ohne Voreingenommenheit empirisch geprüft werden, bevor sie im Rahmen der Talentdiagnostik eingesetzt werden. Wie in Kapitel 4.1 dargestellt, sollte dies insbesondere für die Hauptgütekriterien der Reliabilität, Validität und Objektivität erfolgen, aber auch Nebengütekriterien der Ökonomie und Zumutbarkeit berücksichtigen. Dies ist umso relevanter, da die Nutzung kognitiver Testverfahren in Sportorganisationen direkten Einfluss auf biografische Entwicklungen von Spielern nehmen kann und deshalb den höchsten Standards genügen sollte (vgl. Höner et al., 2020; Weakley et al., 2024).

Auch laut Lizenzordnung der DFL ist für NLZ jeder Kategorie innerhalb des Vereins ein „Ansprechpartner für die sportwissenschaftliche Begleitung (z. B. für Analyse und Forschung innerhalb des Leistungszentrums, Zusammenarbeit mit Hochschulen, als Ansprechpartner für Abschlussarbeiten...)“ (DFL, 2024, S. 14) zu benennen. Entsprechend kann durch Austausch- und Fortbildungsmaßnahmen mit Trainern und Scouts innerhalb eines Vereins im Sinne der vereinsinternen Ausbildungsphilosophie angestrebt werden, basierend auf dem vorhandenem

Erfahrungswissen, empirischen Erkenntnissen und theoretischen Überlegungen strukturiert kognitive Leistungsfaktoren zu beobachten, zu erfassen und zu trainieren. Im Sinne eines gruppenbasierten *scientist-practitioner*-Models (Schinke et al., 2024) würde eine Gruppe an Akteuren unterschiedlicher Kompetenzen und Erfahrungen versuchen, gemeinsam aus der Perspektive der forschenden und nicht-forschenden Berufspraxis, Antworten und Lösungen zu generieren.

Aufgrund unterschiedlicher Ziele, Anreize und Kommunikationsstile (vgl. Wolf et al., 2020, Willimczik, 2003) birgt die Zusammenarbeit der Forschung und Praxis auch Risiken und Herausforderungen. In beiden Projekten innerhalb dieser Dissertation lag ein limitierter Zugang zu den Rohdaten für die wissenschaftlichen Auswertungen vor. So bleiben beispielsweise für das Verfahren NeurOlympics die exakte Berechnungsgrundlage des *Football Intelligence Score* ebenso wie die Reaktionszeiten auf Trial-Ebene unbekannt. Dies limitiert zum einen mögliche Analysen, insbesondere in Hinblick auf die interne Konsistenz. Zum anderen ergibt sich dadurch ein geringeres Verständnis für die Datengrundlage, sowohl für die forschende als auch für die nicht-forschende Berufspraxis.

Im Rahmen eines intensivierten Austauschs zwischen der forschenden und der nicht-forschenden Berufspraxis gilt es aufmerksam gegenüber Zieldivergenzen und einer möglichen gegenseitigen Instrumentalisierung zu sein (vgl. Wolf et al., 2020, Willimczik, 2003). Beispielsweise werben kommerzielle Anbieter auf ihren Webseiten mit Beschreibungen ihrer Testverfahren als „wissenschaftlich fundiert“ (Schuhfried, o. D.-a) oder mit „Nachweis ... im Rahmen wissenschaftlicher Studien“ (Umbrella Software Development, o. D.). Wissenschaftler sollten – auch vor dem Hintergrund der Verantwortungsethik (Willimczik, 2025) – prüfen, ob ihre Studien für solche Werbezwecke genutzt werden (sollten) und im gegenseitigen Austausch auch auf den begrenzten Erkenntnisgewinn einzelner Studien hinweisen³⁷. Gleichzeitig sollten auch Sportorganisationen prüfen, inwiefern wissenschaftliche Projekte einen Mehrwert liefern, für den sie die Zeit ihrer Athleten zur Verfügung stellen wollen. Gleichzeitig sollten Akteure der forschenden und nicht-forschenden Berufspraxis reflektieren, inwiefern sie empirischer Evidenz und erfahrungsbasiertem Wissen mehr vertrauen, wenn diese im Einklang mit den eigenen Überzeugungen stehen und kritischer darauf blicken, wenn diese sich nicht mit der eigenen Ansicht decken (*motivated reasoning*; Furley et al., 2023; Lord et al., 1979; *confirmation bias*; Beato et al., 2025; Klayman, 1995). Dies gilt zum einen für die nicht-forschende Berufspraxis, die eventuell auf Basis von Einzelstudien vorschnell von *evidenz-basierter* Praxis (Ivarsson &

³⁷ Auch um einer Warnung von Willimczik (2003) Rechnung zu tragen: „Ich denke dann manchmal kopfschüttelnd: Halbwissen ist doch nutzloser als gar kein Wissen!“ (S. 124).

Andersen, 2016; Schweizer & Furley, 2016a) spricht oder auf Basis von nomothetischer Forschung (über Gruppenvergleiche) individuelle Selektionsentscheidungen trifft (Charbonnet & Conzelmann, 2023; Lundh, 2023). Ebenso gilt für die forschende Berufspraxis, eine (zu) kritische Voreingenommenheit³⁸ gegenüber kommerziellen Diagnostiken zu vermeiden.

Insbesondere für prognostische Studien stellt sich die Frage, wie und mit wem die Daten geteilt werden. Im ersten Projekt haben beispielsweise die Sportpsychologen des kooperierenden Vereins die Ergebnisse der besten fünf Spieler pro Test in der jeweiligen Mannschaftskabine aufgehängt. Diese Ergebnismeldung könnte zum einen Spieler hinsichtlich motivationaler Aspekte (vgl. Eyring et al., 2021) sowie des Selbstkonzept (vgl. Tietjens et al., 2005) und auch die Trainer und ihre Erwartung an sowie Förderung der Spieler (vgl. Hancock et al., 2013) beeinflusst haben. Im Rahmen des zweiten Projektes wurde darauf geachtet, dass die individuellen Ergebnisse den Trainern und Scouts nicht zurückgemeldet werden, um die Ergebnisse der Analysen zur prognostischen Validität (*Beitrag 2*) nicht zu beeinflussen. Dies erscheint relevant um die in der Talentidentifikation diskutierten Pygmalion- und Matthäuseffekte im Sinne eines Zirkelschlusses auszuschließen. So ist anzunehmen, dass Vereine, die nach Ergebnissen in kognitiven Testverfahren scouten, die ‚kognitiv talentierten‘ Spieler besonders fördern und sich die Spieler (auch deshalb) sportlich besser entwickeln (vgl. Hancock et al., 2013; Hancock & Côté, 2014; Furley & Memmert, 2016).

Es ist grundsätzlich zu begrüßen, wenn wissenschaftliche Testverfahren, welche den klassischen Anforderungen an psychometrische Eigenschaften (vgl. Diagnostik- und Testkuratorium, 2024; Weakley et al., 2024) genügen, auch der Praxis angeboten werden. Dennoch gibt es einige Testverfahren, welche zwar im wissenschaftlichen Kontext, aber nur punktuell in der Praxis eingesetzt werden (z. B. Heisler et al., 2023; Höner, Dugandzic et al., 2023). Gründe hierfür liegen unter anderem darin, dass personelle und zeitliche Ressourcen im universitären Kontext für diesen Zweck meist fehlen und dies zudem nicht zu den Kernaufgaben wissenschaftlichen Arbeitens gehört, wenngleich in den vergangenen Jahren über sogenannte Spin-Off-Gründungen vermehrt Forschungsergebnisse kommerzialisiert genutzt werden (vgl. Schilling, 2022). Ein Beispiel ist CogniSens Athletics Inc., welches als Spin-off der Universität Montreal das kognitive Diagnostik- und Trainingsinstrument Neurotracker als „das wissenschaftlich am besten validierte kognitive Trainingssystem Nr. 1 auf der Welt“ (NeuroTracker, o. D.) vertreibt. Der kanadische Wissenschaftler Jocelyn Faubert hat das Unternehmen mitgegründet und war an zahlreichen Studien zum Neurotracker beteiligt (wie bspw. der vielbeachteten Studie von

³⁸ Hier sollte der Leitspruch „absence of evidence is not evidence of absence“ (vgl. Altman & Bland, 1995) als Beurteilungsmaxime gelten.

Romeas et al., 2016). Dies eröffnet zum einen Synergien, da die wissenschaftliche Kompetenz vorhanden ist, qualitativ hochwertige Instrumente zu entwickeln und zu evaluieren. Andererseits besteht durch mögliche Interessenskonflikte³⁹ die Gefahr der Einschränkungen der unabhängigen Prüfung dieser (kommerziellen) kognitiven Diagnostiken (vgl. Beavan, 2019; Diagnostik- und Testkuratorium, 2025; Fogarty, 1995; Ostrow, 1996).

Eine zentrale Herausforderung der Expertise- und Talentforschung im Sport besteht in der eingeschränkten Anzahl an Experten, im erschwerten Zugang zu dieser Zielgruppe und daraus resultierenden kleinen Stichproben (Furley et al., 2017; Hecksteden et al., 2022; Mann et al., 2007; Schweizer & Furley, 2015; Voss et al., 2010). Dies gilt auch für den Nachwuchsleistungssport, in dem Talentförderinstitutionen häufig in direkter Konkurrenz zueinanderstehen, sei es auf nationaler (zwischen Vereinen eines Verbands) oder internationaler (zwischen Verbänden verschiedener Länder) Ebene. Entsprechend werden Spieler aus diesen Systemen nur selten für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung gestellt und interne Leistungsdaten typischerweise nicht geteilt. Folglich prüft jeder Verein und jeder Verband eigenständig die Nutzung (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken, ohne dass diese zwangsläufig (im formellen Setting wie Publikationen oder Konferenzbeiträgen) mit der Öffentlichkeit geteilt werden (vgl. Fransen, 2024). Im Bereich kognitiver Diagnostik wäre jedoch eine übergreifende Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Vereinen im Sinne einer erkenntnisorientierten Anwendungsforschung von erheblichem Wert. So könnten jene Institutionen, die aktuell die gleichen kognitiven Diagnostiken (z. B. NeurOlympics) verwenden, ihre Daten anonymisiert zusammenführen und durch eine unabhängige Institution auswerten und veröffentlichen lassen. Analog zu multizentrischen Studien im medizinischen Bereich ließe sich auf diese Weise nicht nur die Stichprobengröße erhöhen, sondern auch anwendungsnahe Erkenntnisse auf Basis von praxisrelevanten Daten generieren (vgl. Furley et al., 2017).

Auch ethische Aspekte gilt es in der Zusammenarbeit zu berücksichtigen. Insbesondere in der Zusammenarbeit mit Vereinen, Verbänden und Unternehmen gilt der Grundsatz der Verantwortungsethik (vgl. Willimczik, 2025), d.h. dass universitäre Einrichtungen für die Konsequenzen eigener Erkenntnisse (mit-)verantwortlich sind und diese berücksichtigen sollen. Die Empfehlung von Morris (2000), mit Fokus auf persönlichkeitsbezogene Variablen, kann auch für die Verwendung kognitiver Diagnostiken gelten:

³⁹ Diese Interessenskonflikte sind bei den publizierten Studien zum NeuroTracker meist transparent angegeben (z. B. „Jocelyn Faubert is a co-founder of CogniSens Athletics Inc. who produces the commercial version of the 3D-MOT (NeuroTracker™) used in this study. In this capacity, he holds shares in the company“ (Romeas et al., 2025, S. 14).

On ethical grounds ... practitioners should not use psychological tests in any process where selection for a club or training programme is intended to be a result. To distinguish between those who enter teams, squads or special training programmes on the basis of variables that have not been validated for that purpose is little short of guesswork, often by psychologists who are not steeped in the particular sport. At this stage, the views of experienced coaches could be claimed to have more validity. (S. 723)

Deshalb gilt es zu prüfen, wer (a) die Tests durchführt, (b) die Testergebnisse bekommt, und (c) wofür diese Testergebnisse verwendet werden. Auf Basis der Erkenntnisse dieser Dissertation erscheint es (a) unverantwortlich solche Testverfahren durch ungeschultes Personal durchführen zu lassen, da dies zulasten der Objektivität und Reliabilität gehen könnte, und (b) geboten, die Testergebnisse lediglich mit sportpsychologisch und/oder sportwissenschaftlich geschultem Personal zu teilen. Werden die Ergebnisse an Spieler, Trainer oder Scouts weitergeleitet, sollten potenzielle psychologische Konsequenzen wie der Pygmalion-Effekt (vgl. Hancock & Côté, 2014) berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollten (c) die kognitiven Testleistungen nicht als (alleinige) Basis für Selektionsentscheidungen genutzt werden⁴⁰.

Bei der Verwendung produktorientierter neuropsychologischer Verfahren, wie jene zur Erfassung exekutiver Funktionen, existiert die Gefahr einer Überinterpretation und eines Absolutheitsanspruchs (Kilger & Blomberg, 2020; Willimczik, 2003). Es entstehen scheinbar objektive und vermeintlich eindeutige Ergebnisse, deren Unsicherheit und Veränderbarkeit selten kommuniziert werden. Die Suggestion diagnostischer Objektivität durch numerische Werte steht im Widerspruch zur Realität empirischer Unsicherheiten bei der Erfassung menschlicher Kognitionen (vgl. Kilger & Blomberg, 2020; Nideffer & Sagal, 2001; Weakley et al., 2024). Eine rein instrumentelle Verwendung kognitiver Diagnostiken, etwa zur anstrebten Legitimierung sportpsychologischer Arbeit durch Kennzahlen, ist dabei aufgrund oben skizzierter Nebeneffekte (bspw. Pygmalion-Effekt) kritisch zu betrachten. Nur weil etwas quantifiziert (dargestellt) wird, sind die erfassten Daten nicht automatisch objektiv, reliabel und valide⁴¹.

Der wechselseitige Austausch zwischen Forschung und Praxis sollte im Idealfall beide Bereiche befruchten. Eine Analogie aus der Produktentwicklung (Takeuchi & Nonaka, 1986), die von Stokes (1997) auf die Zusammenarbeit zwischen grundlagenwissenschaftlicher und angewandter Forschung übertragen wurde, lässt sich ebenso auf die Zusammenarbeit zwischen

⁴⁰ Die in der Dissertation angesprochenen Limitationen hinsichtlich kognitiver Diagnostiken gelten teils auch für andere sportpsychologische und sportwissenschaftliche Diagnostiken, sodass die Forderung ‚Ergebnisse einzelner Diagnostiken nicht als alleinige Grundlage für Selektionsentscheidungen zu nutzen‘ nicht exklusiv, durch teils fehlende Reliabilitäten aber verstärkt für kognitive Diagnostiken gilt (vgl. Höner et al., 2020).

⁴¹ In Anlehnung an die umgangssprachliche Bezeichnung „garbage in – garbage out“, die die Relevanz der Qualität der Datenerfassung für die Qualität der Ergebnisse betont (vgl. Kilkenny & Robinson, 2018).

forschender und nicht-forschender Berufspraxis übertragen. Das Zusammenwirken der forschenden mit der nicht-forschenden Praxis sollte weniger wie ein Staffelrennen ablaufen, in dem der Staffelstab von Läufer zu Läufer sequenziell weitergegeben wird. Stattdessen sollte der Austausch eher der Dynamik eines Rugbyspiels gleichen, bei dem das Produkt aus der kontinuierlichen Interaktion aller Teammitglieder hervorgeht. Diese agieren als Gemeinschaft, überwinden gemeinsam Distanzen und spielen den Ball permanent hin und her. Übertragen bedeutet dies, dass ein *kontinuierlicher* Austausch zwischen forschender und nicht-forschender Berufspraxis notwendig ist, um *gegenseitig voneinander zu profitieren*, alle Akteure ihre *jeweiligen Stärken* einbringen und eine *Interdependenz* für die Erreichung eines *gemeinsamen Ziels* herrscht.

Die vorherigen Ausführungen sowie weitere Erfahrungen innerhalb der Projekte zur Zusammenarbeit zwischen Akteuren der forschenden und nicht-forschenden Berufspraxis im Hinblick auf die Erfassung kognitiver Leistungsfaktoren im Rahmen der Talentdiagnostik bilden die Grundlage, für eine Art ‚To-Do-Liste‘ für Akteure der universitären Einrichtungen, Sportorganisationen und kommerzielle Anbieter kognitiver Diagnostiken. Diese soll dazu dienen, bei zukünftigen Projekten die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren fruchtbarer zu gestalten, damit dem Rugby-Team der *scientist-practitioner* möglichst viele erfolgreiche Versuche (*Try*) gelingen. Neben den eigenen Erfahrungen basieren die Empfehlungen teils ebenso auf Forderungen anderer (Anshel, 1987; Anshel & Brinthaupt, 2014; Diagnostik- und Testkuratorium, 2024; Fogarty, 1995; Morris, 2000; Ostrow, 1996; Singer, 1988; Weakley et al., 2024). Als übergreifender Leitspruch kann dabei gelten: „In many cases it might be better to err in the direction of conservative action, as human behavior is so complex that there is yet so much to learn about it“ (Singer, 1988, S. 103).

To-Do-Liste für eine gelingende Zusammenarbeit

Alle Akteure:

- I. **Kooperation in formalen Projekten** zwischen Akteuren der forschenden (Universitäten) und nicht-forschenden (Sportorganisation; Anbieter kognitiver Diagnostiken) Berufspraxis im Sinne einer erkenntnisorientierten Anwendungsforschung (d.h. Techniken-Programmen) (Herrmann, 1994; Höner, 2008; Stokes, 1997; Willimczik, 2003), bspw. auch im Sinne **multi-zentrischer Studien**, bei denen praxisrelevante Daten mehrerer Sportorganisationen zusammengetragen und unabhängig ausgewertet werden.
- II. **Austausch** der Akteure im formalen (z. B. Tagungen, Symposien, Trainerfortbildungen) Umfeld (vgl. *Beitrag 1*).

- III. **Interesse und Neugier** an den Perspektiven, Kompetenzen und Zielen der Akteure der jeweils anderen ‚Berufsgruppe‘.
- IV. Erkennen der **Grenzen eigener Kompetenzen** und gezielte Zusammenarbeit zur Kompensation etwaiger Einschränkungen durch die Grenzen eigener Kompetenzen.

Universitäre Einrichtungen (Nutzer, Anbieter und Prüfer kognitiver Diagnostiken):

- I. **Präregistrierung** von Studienvorhaben und **Teilen der anonymisierten Rohdaten**, insbesondere wenn kommerzielle kognitive Diagnostiken genutzt werden.
- II. Durchführung **unabhängiger Prüfung** (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken und Veröffentlichung der Ergebnisse, insbesondere in Hinblick auf die Hauptgütekriterien (bspw. in Form eines Test-Reviews angelehnt an DBS-DTK; Diagnostik- und Testkuratorium, 2024).
- III. Durchführung von **Replikationsstudien** und transparente Veröffentlichung der Ergebnisse mit Fokus auf Studien, die in der Praxis zu Veränderungen geführt haben und/oder medial Beachtung gefunden haben (z. B. für den Bereich des kognitiven Trainings; Romeas et al., 2016 und Romeas et al., 2025).
- IV. Durchführung von **(quasi-)längsschnittlichen sowie Prognosestudien** (statt querschnittlichen Designs), insbesondere auch, indem Daten aus Querschnitts-Studien für prognostische Studien verwendet werden (vgl. *Beitrag 4*).
- V. **Veröffentlichung von nicht-signifikanten Studienergebnissen**, um einem möglichen Publikationsbias (vgl. Furley et al., 2023) entgegenzuwirken.
- VI. Verantwortungsvolle **Bereitstellung und Verbreitung reliabler und valider wissenschaftlicher Diagnostiken** für die Praxis.

Sportorganisationen (Nutzer kognitiver Diagnostiken):

- I. Zweck des Einsatzes klar formulieren, kognitive Diagnostiken **auf vollständige psychometrische Eigenschaften prüfen** (inkl. des empfohlenen und validierten Altersbereichs) und bei fehlenden Informationen diese einholen (bspw. über Kontaktaufnahme des Anbieters, Zugang zu wissenschaftlicher Literatur über universitäre Institutionen).
- II. Eine **Kosten-Nutzen-Abwägung** durchführen mit Berücksichtigung finanzieller, zeitlicher und personeller Kosten sowie des anvisierten Zwecks.
- III. **Pilotierung** des Tests, d.h. Testvorbereitung, -durchführung und -auswertung. Tests nur verwenden, wenn volles Verständnis der relevanten Variablen vorhanden ist (vgl. Entscheidungsbaum bei Weakley et al., 2024).

- IV. **Standardisierte Durchführung** in Bezug auf verwendete Geräte (Hardware, Software), Umgebungsfaktoren (Lautstärke, Versuchsleiter) und individuelle Merkmale (körperliche und mentale Erschöpfung) sicherstellen.
- V. **(Anonymisiertes) Teilen** von relevanten Daten mit universitären Einrichtungen und/oder eigene Publikationen.
- VI. **Keine Nutzung als (alleinige) Grundlage für Selektionsentscheidungen**, Fokus auf Entwicklungsperspektive und zum Monitoring.
- VII. **Schulungen der Trainer und Scouts** zur Beobachtung und Bewertung sowie zur Entwicklung kognitiver Leistungsfaktoren durchführen.

Unternehmen (Anbieter kognitiver Diagnostiken):

- I. Entwicklung und **Veröffentlichung eines klaren Manuals** mit (a) Angaben zu psychometrischen Eigenschaften, (b) ausreichend detaillierten Hintergrundinformationen der Stichprobe zur Prüfung psychometrischer Eigenschaften, (c) Normwerten und ihrer Berechnung (bspw. orientiert an TBS-DKT; Diagnostik- und Testkuratorium, 2024).
- II. **Zugang zu Rohdaten** und Daten auf Trial-Ebene für Akteure der Universitäten und Sportorganisationen.
- III. **Transparente Ergebnisdarstellung** inklusive etwaiger Unsicherheiten (z. B. durch Konfidenzintervalle) in den Ergebnisberichten, die den Sportorganisationen zur Verfügung gestellt werden.
- IV. Transparente **Dokumentation von Veränderungen** am Testverfahren.
- V. **Verantwortungsvolles Marketing** für das Verfahren.

5 Fazit

Die vorliegende Dissertation verfolgte im Sinne erkenntnisorientierter Anwendungsforschung in Kooperation mit Akteuren der nicht-forschenden Berufspraxis das Ziel, die psychometrischen Eigenschaften neuartiger in der Praxis eingesetzter (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken zu untersuchen. Darüber hinaus wurde die diagnostische Relevanz sowie der Zusammenhang generischer und fußball-spezifischer kognitiver Leistungsfaktoren analysiert.

Auf Grundlage der vorliegenden Studienergebnisse – und den damit einhergehenden methodischen Limitierungen (z. B. begrenzte Stichprobengröße, teils fehlender Zugang zu Rohdaten, Wahl der Kriterien; vgl. *Beitrag 2 – Beitrag 5*) – kann keines der in der Dissertation eingesetzten kognitiven Testverfahren vollumfänglich und vorbehaltlos für die Nutzung im Rahmen der Talentdiagnostik im Nachwuchsleistungsfußball empfohlen werden. Die zum Teil erheblich eingeschränkten Retest-Reliabilitäten für Variablen des generischen Verfahrens *NeurOlympics* weisen auf relevante Schwächen hin, deren erfolgreiche Behebung (z. B. durch ein Sicherstellen des Verständnisses durch eine Erhöhung der Probedurchgänge bei der Testdurchführung) vor einer praktischen Anwendung notwendig ist (vgl. Weakley et al., 2024). Der Determinationstest zeigt keine diagnostische Validität, während *NeurOlympics* und die *Soccerbot360*-Verfahren begrenzte diagnostische Validität in leistungshomogenen Stichproben sowie fehlenden prognostischen Validität aufweisen. Die diagnostische Validität des *360°-Videoentscheidungstest*, für den keine Normstichprobe vorliegt, konnte für einen weiteren Altersbereich bestätigt werden. Sportorganisationen sollten den Nutzen und die Nutzung solcher (kommerziellen) kognitiven Diagnostiken im Rahmen der Talentdiagnostik sorgsam und mit gesunder Skepsis prüfen (vgl. Anshel & Brinthaup, 2014).

Die Ergebnisse bestätigen des Weiteren die Überlegenheit sport-spezifischer gegenüber generischen Leistungsfaktoren hinsichtlich ihrer diagnostischen Validität in heterogenen Leistungsgruppen (vgl. Kalén et al., 2021). Für den Übertrag generischer kognitiver Diagnostiken in motorisch-kognitive Verfahren innerhalb neuartiger Systeme (wie dem *SoccerBot360*) sind Anpassungen der Stimuli und der Antworten sorgsam durchzuführen, da motorisch-kognitive Verfahren (auch) andere Facetten als rein kognitive Diagnostiken zu erheben scheinen. Es besteht ein (partieller) Zusammenhang zwischen generischen und fußball-spezifischen kognitiven Leistungsfaktoren. Allerdings erklärt das chronologische Alter im Vergleich zu generischen kognitiven Funktionen einen Großteil der Varianz der fußball-spezifischen Entscheidungskompetenz. Aufgrund der Bedeutung des chronologischen Alters, insbesondere im Kindesalter und der Adoleszenz, sollte in zukünftigen Studien weiterhin der Einfluss des Alters statistisch kontrolliert werden.

Zur Schließung der identifizierten Mängel im Bereich kognitiver Diagnostiken sind Akteure der forschenden und nicht-forschenden Berufspraxis gleichermaßen gefordert, im kontinuierlichen Austausch gemeinsam Lösungen zu finden. Der forschenden Praxis wird nahegelegt, unabhängige Prüfungen der psychometrischen Eigenschaften sowie Replikationsstudien im Anwendungskontext durchzuführen und zu veröffentlichen. Anwendern aus Sportorganisationen wird empfohlen, sich vor Nutzung solcher Testverfahren mit gesunder Skepsis intensiv mit diesen auseinanderzusetzen und Maßnahmen zur Sicherstellung der Reliabilität durchzuführen. Anbieter (kommerzieller) kognitiver Diagnostiken sollten ein transparentes, vollständiges Testmanual potenziellen Anwendern zur Verfügung stellen.

Zusammenfassend verdeutlicht die vorliegende Dissertation die Relevanz der Prüfung psychometrischer Eigenschaften von neuartigen (kommerziellen) kognitiven Diagnostiken. Sie hebt zudem hervor, dass sowohl generische als auch sport-spezifische Verfahren einen Beitrag, insbesondere in heterogenen Gruppen, leisten können. Angesichts des nomothetischen Forschungsansatzes, der erheblichen interindividuellen Streuung auch innerhalb homogener Leistungsgruppen sowie messmethodischer Herausforderungen erscheint – unter Berücksichtigung der Limitationen vorliegender Beiträge – die Verwendung auch valider kognitiver Testverfahren als (alleinige) Basis für individuelle Selektionsentscheidungen im Rahmen der Talentdiagnostik nicht gerechtfertigt.

Literaturverzeichnis

- Abernethy, B., Burgess-Limerick, R., & Parks, S. (1994). Contrasting Approaches to the Study of Motor Expertise. *Quest*, 46(2), 186-198. <https://doi.org/10.1080/00336297.1994.10484120>
- Abernethy, B., & Russell, D. G. (1987). Expert-Novice Differences in an Applied Selective Attention Task. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 9(4), 326-345. <https://doi.org/10.1123/jsp.9.4.326>
- Ackermann, P. L. (2014). Nonsense, common sense, and science of expert performance: Talent and individual differences. *Intelligence*, 45, 6-17. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.04.009>
- Adrover-Roig, D., Sesé, A., Barceló, F., & Palmer, A. (2012). A latent variable approach to executive control in healthy ageing. *Brain and Cognition*, 78(3), 284-299. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.01.005>
- Aksum, K. M., Pokolm, M., Bjørndal, C. T., Rein, R., Memmert, D., & Jordet, G. (2021). Scanning activity in elite youth football players. *Journal of Sports Sciences*, 39(21), 2401-2410. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1935115>
- Ali, A. (2011). Measuring soccer skill performance: A review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21(2), 170-183. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01256.x>
- Altman, D. G., & Bland, M. (1995). Statistics notes: Absence of evidence is not evidence of absence. *BMJ*, 311, 485. <https://doi.org/10.1136/bmj.311.7003.485>
- Anshel, M. H. (1987). Psychological Inventories Used in Sport Psychology Research. *The Sport Psychologist*, 1(4), 331-349. <https://doi.org/10.1123/tsp.1.4.331>
- Anshel, M. H., & Brinthaup, T. M. (2014). Best Practices for the Use of Inventories in Sport Psychology Consulting. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 8(4), 400-420. <https://doi.org/10.1123/jcsp.2014-0045>
- Anshel, M. H., & Lidor, R. (2012). Talent detection programs in sport: The questionable use of psychological measures. *Journal of Sport Behavior*, 35(3).
- Anson, G., Elliot, D., & Davids, K. (2005). Information Processing and Constraints-based Views of Skill Acquisition: Divergent or Complementary? *Motor Control*, 9(3), 217-241. <https://doi.org/10.1123/mcj.9.3.217>
- Araújo, D., & Davids, K. (2009). Ecological approaches to cognition and action in sport and exercise: Ask not only what you do, but where you do it. *International Journal of Sport Psychology*, 40(1), 5-37.
- Araújo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7(6), 653-676. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.07.002>
- Araújo, D., Davids, K., & Renshaw, I. (2020). Cognition, Emotion and Action in Sport. In G. Tenenbaum & R. C. Eklund (Hrsg.), *Handbook of Sport Psychology* (4. Aufl., S. 535-555). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119568124.ch25>
- Araújo, D., Hristovski, R., Seifert, L., Carvalho, J., & Davids, K. (2019). Ecological cognition: Expert decision-making behaviour in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 12(1), 1-25. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2017.1349826>

- Arimond, F. (2018). Intervision Fußball NLZ. In U. Borges, L. Bröker, S. Hoffmann, T. Hosang, S. Laborde, R. Liepelt, B. Lobinger, J. Löffler, L. Musculus, & M. Raab (Hrsg.), *Die Psychophysiologie der Handlung. 50. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie* (S. 52–53). Deutsche Sporthochschule Köln. https://www.dshs-koeln.de/fileadmin/redaktion/Institute/Psychologisches_Institut/ASP_2018/Abstractband-asp2018.pdf
- Astle, D. E., Barnes, J. J., Baker, K., & Colclough, G. L. (2015). Cognitive training enhances intrinsic brain connectivity in childhood. *Journal of Neuroscience*. *Journal of Neuroscience*, *35*(16), 6277–6283. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4517-14.2015>
- Athletic Intelligence Measures. (2020). *AIQ: Reliability and Validity Evidence*. [Whitepaper]. <https://static1.squarespace.com/static/637e439b27c8cd282176bc93/t/64469c66d8599e6b5c37ed0b/1682349159169/AIQ+Science+Doc.pdf>
- Baddeley, A. (2007). *Working Memory, Thought, and Action*. Oxford University Press.
- Baird, L. L. (1985). Do grades and tests predict adult accomplishments?. *Research in higher education*, *23*(1), 3-85. <https://doi.org/10.1007/BF00974070>
- Baker, J., Kelly, A. L., McAuley, A. B. T., & Wattie, N. (2023). Language Games: Improving the Words We Use in Soccer Research and Practice. In A. Kelly (Hrsg.), *Talent Identification and Development in Youth Soccer* (1. Aufl., S. 316–326). Routledge.
- Baker, J., Schorer, J., & Wattie, N. (2018). Compromising Talent: Issues in Identifying and Selecting Talent in Sport. *Quest*, *70*(1), 48–63. <https://doi.org/10.1080/00336297.2017.1333438>
- Baláková, V., Boschek, P., & Skalíková, L. (2015). Selected Cognitive Abilities in Elite Youth Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, *49*, 267–276. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0129>
- Baumeister, R. F., Vohs, K. D., & Funder, D. C. (2007). Psychology as the science of self-reports and finger movements: Whatever happened to actual behavior? *Perspectives on psychological science*, *2*(4), 396–403. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2007.00051.x>
- Baur, H., Müller, S., Hirschmüller, A., Huber, G., & Mayer, F. (2006). Reactivity, stability, and strength performance capacity in motor sports. *British Journal of Sports Medicine*, *40*(11), 906–911. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.025783>
- Be Your Best. (2023, Juli 16). *A New Test for Football IQ? Be Your Best x FC Copenhagen*. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=lyyvvtZP3eI>
- Be Your Best Global AS. (o. D.). *BYBCAT. The world's first cognitive assessment tool tailored for soccer*. Abgerufen 18. Juni 2025, von <https://www.beyourbest.com/en-us/bybcac>
- Beato, M., Latinjak, A., Bertollo, M., & Boullosa, D. (2025). Confirmation Bias in Sport Science: Understanding and Mitigating Its Impact. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, published ahead of print 2025. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2024-0381>
- Beavan, A. (2019). Extraordinary tools require extraordinary evidence. *Science and Medicine in Football*, *3*(4), 263–264. <https://doi.org/10.1080/24733938.2019.1678948>
- Beavan, A., Chin, V., Ryan, L. M., Spielmann, J., Mayer, J., Skorski, S., Meyer, T., & Fransen, J. (2020). A Longitudinal Analysis of the Executive Functions in High-Level Soccer Players. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *42*(5), 349–357. <https://doi.org/10.1123/jsep.2019-0312>

- Beavan, A. F., Spielmann, J., Mayer, J., Skorski, S., Meyer, T., & Fransen, J. (2019). Age-Related Differences in Executive Functions Within High-Level Youth Soccer Players. *Brazilian Journal of Motor Behavior*, 13(2), 64–75. <https://doi.org/10.20338/bjmb.v13i2.131>
- Beavan, A., Fransen, J., Spielmann, J., Mayer, J., Skorski, S., & Meyer, T. (2019). The Footbonaut as a new football-specific skills test: Reproducibility and age-related differences in highly trained youth players. *Science and Medicine in Football*, 3(3), 177–182. <https://doi.org/10.1080/24733938.2018.1548772>
- Beavan, A., Spielmann, J., & Mayer, J. (2019). Taking the First Steps Toward Integrating Testing and Training Cognitive Abilities Within High-Performance Athletes; Insights From a Professional German Football Club. *Frontiers in Psychology*, 2773. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02773>
- Beavan, A., Spielmann, J., Mayer, J., Skorski, S., Meyer, T., & Fransen, J. (2020). The rise and fall of executive functions in high-level football players. *Psychology of Sport and Exercise*, 49, 101677. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101677>
- Beilock, S. L. (2008). Beyond the playing field: Sport psychology meets embodied cognition. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1(1), 19–30. <https://doi.org/10.1080/17509840701836875>
- Belling, P. K., Suss, J., & Ward, P. (2015). Advancing theory and application of cognitive research in sport: Using representative tasks to explain and predict skilled anticipation, decision-making, and option-generation behavior. *Psychology of Sport and Exercise*, 16, 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.08.001>
- Bender, R., & Lange, S. (2001). Adjusting for multiple testing – When and how? *Journal of Clinical Epidemiology*, 54(4), 343–349. [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(00\)00314-0](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(00)00314-0)
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 57(1), 289–300. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>
- Bennett, K. J. M., Novak, A. R., Pluss, M. A., & Coutts, A. J. (2019). Assessing the validity of a video-based decision-making assessment for talent identification in youth soccer. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(6), 729–734. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.12.011>
- Bergkamp, T. L., Niessen, A. S. M., Den Hartigh, R. J., Frencken, W. G. P., & Meijer, R. R. (2019). Methodological issues in soccer talent identification research. *Sports Medicine*, 49, 1317–1335. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01113-w>
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development*, 81(6), 1641–1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (2010). Methoden der Biologischen Psychologie. *Biologische Psychologie* (7. Aufl., S. 459–493). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-95938-0_20
- Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), 552–557. <https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383>

- Bobrownicki, R., Carson, H. J., MacPherson, A. C., & Collins, D. (2023). Constraints of the constraints-led approach in American football and comments on Yearby et al. (2022). *Sports Coaching Review*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/21640629.2022.2158579>
- Bonetti, L., Vestberg, T., Jafari, R., Seghezzi, D., Ingvar, M., Kringelbach, M. L., Filgueiras, A., & Petrovic, P. (2025a). Decoding the elite soccer player’s psychological profile. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(3), e2415126122. <https://doi.org/10.1073/pnas.2415126122>
- Bonetti, L., Vestberg, T., Jafari, R., Seghezzi, D., Ingvar, M., Kringelbach, M. L., Filgueiras, A., & Petrovic, P. (2025b). Reply to Musculus et al.: A case of offside in scientific discourse? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(25), e2507207122. <https://doi.org/10.1073/pnas.2507207122>
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 2(2), 92–98.
- Bowman, J. K., Boone, R. T., Goldman, S., & Auerbach, A. (2021). The Athletic Intelligence Quotient and Performance Outcomes in Professional Baseball. *Frontiers in Psychology*, 12, 629827. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.629827>
- BrainsFirst. (o. D.). *BrainsFirst*. Abgerufen 18. Juni 2025, von <https://www.brainsfirst.com/en/home>
- BrainsFirst. (2020). *Scientific background on the elite football brain*. [Whitepaper].
- BrainsFirst. (2021). *Real Sociedad – Cognitive testing with NeurOlympics* | www.brainsfirst.com. [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=faUs_eoPXrk
- Brand, R., & Schweizer, G. (2019). *Sportpsychologie – Verständnisgrundlagen für mehr Durchblick im Fach* (2. Aufl.). Springer.
- Brickenkamp, R., Schmidt-Atzert, L., & Liepmann, D. (2010). *Test d2-Revision: Aufmerksamkeits-und Konzentrationstest* (1. Aufl.). Hogrefe.
- Bruce, L., Farrow, D., Raynor, A., & Mann, D. (2012). But I can’t pass that far! The influence of motor skill on decision making. *Psychology of Sport and Exercise*, 13(2), 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2011.10.005>
- Burke, M. J., & Normand, J. (1987). Computerized Psychological Testing: Overview and Critique. *Professional Psychology: Research and Practice*, 18(1), 42–51. <https://doi.org/10.1037/0735-7028.18.1.42>
- Bush, V. (1945). *Science – The endless frontier*. National Science Foundation.
- Calamia, M., Markon, K., & Tranel, D. (2013). The Robust Reliability of Neuropsychological Measures: Meta-Analyses of Test–Retest Correlations. *The Clinical Neuropsychologist*, 27(7), 1077–1105. <https://doi.org/10.1080/13854046.2013.809795>
- Cañal-Bruland, R., & Mann, D. L. (2025). DyNamic Interactive Anticipation–Time for a Paradigmatic Shift. *Sports Medicine*, 55, 545–550. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02135-9>
- Carling, C., & Collins, D. (2014). Comment on “Football-specific fitness testing: Adding value or confirming the evidence?”. *Journal of Sports Sciences*, 32(13), 1206–1208. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.898858>
- Carnevale, D., Elferink-Gemser, M., Filgueiras, A., Huijgen, B., Andrade, C., Castellano, J., Silva, D., & Vasconcellos, F. (2022). Executive Functions, Physical Abilities, and Their

- Relationship with Tactical Performance in Young Soccer Players. *Perceptual and Motor Skills*, 129(5), 1477–1491. <https://doi.org/10.1177/00315125221112236>
- Casanova, F., Oliveira, J., Williams, M., & Garganta, J. (2009). Expertise and perceptual-cognitive performance in soccer: A review. *revista portuguesa de ciências do desporto*, 9(1), 115–122.
- Casey, B., Duhoux, S., & Cohen, M. M. (2010). Adolescence: What do transmission, transition, and translation have to do with it? *Neuron*, 67(5), 749–760. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.08.033>
- Caso, S., Furley, P., & Jordet, G. (2025). Using video-notational analysis to examine soccer players' behaviours. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2025.2477165>
- Champely, S. (2020). *Pwr: Basic functions for power analyses. R package*. (Version 1.3-0) [Software]. <https://CRAN.R-project.org/package=pwr>
- Chan, R., Shum, D., Touloupoulou, T., & Chen, E. Y. (2008). Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 23(2), 201–216. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.010>
- Charbonnet, B., & Conzelmann, A. (2023). Mechanistic or Relational Worldview for Talent Identification Research in Sport Science? Both – But With a Preference! *Journal for person-oriented research*, 9(2), 51–74. <https://doi.org/10.17505/jpor.2023.25813>
- Christensen, M. K. (2009). “An Eye for Talent”: Talent Identification and the “Practical Sense” of Top-Level Soccer Coaches. *Sociology of Sport Journal*, 26(3), 365–382. <https://doi.org/10.1123/ssj.26.3.365>
- Cialdini, R. B. (2017). Soziale Bewährtheit. In *Die Psychologie des Überzeugens*, (8. Aufl., S. 163-225). Hogrefe. <http://doi.org/10.1024/85720-000>
- Clements, G. M., Bowie, D. C., Gyurkovics, M., Low, K. A., Fabiani, M., & Gratton, G. (2021). Spontaneous Alpha and Theta Oscillations Are Related to Complementary Aspects of Cognitive Control in Younger and Older Adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 621620. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.621620>
- Cobley, S., Baker, J., Wattie, N., & McKenna, J. (2009). Annual Age-Grouping and Athlete Development: A Meta-Analytical Review of Relative Age Effects in Sport. *Sports Medicine*, 39, 235–256. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939030-00005>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2. Aufl.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Coles, M. G. H., Gratton, G., Bashore, T. R., Eriksen, C. W., & Donchin, E. (1985). A psychophysiological investigation of the continuous flow model of human information processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11(5), 529–553. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.11.5.529>
- Collins, D., Carson, H. J., Rylander, P., & Bobrownicki, R. (2024). Ecological Dynamics as an Accurate and Parsimonious Contributor to Applied Practice: A Critical Appraisal. *Sports Medicine*, 55(4), 799–810. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02161-7>
- Connolly, J., Alder, D., Frame, M., & Wilson, A. D. (2025). Training decision making in sports using virtual reality: A scoping review. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2025.2484727>

- Constantinidis, C., & Klingberg, T. (2016). The neuroscience of working memory capacity and training. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(7), 438–449. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.4>
- Conzelmann, A. (2009). Differentielle Sportpsychologie – Sport und Persönlichkeit. In W. Schlicht & B. Strauß (Hrsg.), *Grundlagen der Sportpsychologie* (1. Aufl., Bd. 1, S. 375–439). Hogrefe.
- Conzelmann, A., Hänsel, F., & Höner, O. (2022). Individuum und Handeln – Sportpsychologie. In A. Güllich & M. Krüger (Hrsg.), *Sport* (2. Aufl., S. 321–397). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64695-3_9
- Costa, I. T., Garganta, J., Greco, P., Mesquita, I., & Maia, J. (2011). System of tactical assessment in Soccer (FUT-SAT): Development and preliminary validation. *Motricidade*, 7(1), 69–83.
- Côté, J., & Vierimaa, M. (2014). The developmental model of sport participation: 15 years after its first conceptualization. *Science and Sports*, 29, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2014.08.133>
- Cremen, I. A., & Carson, R. G. (2017). Have Standard Tests of Cognitive Function Been Misappropriated in the Study of Cognitive Enhancement? *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 276. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00276>
- Crichton, N. (2001). Visual Analogue Scale (VAS). *Journal of Clinical Nursing*, 10, 706.
- Davids, K., Handford, C., & Williams, M. (2015). The natural physical alternative to cognitive theories of motor behaviour: An invitation for interdisciplinary research in sports science? *Journal of Sports Sciences*, 12(6), 495–528. <https://doi.org/10.1080/02640419408732202>
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037–2078. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>
- de Andrade, M. O. C., González-Víllora, S., Casanova, F., & Teoldo, I. (2020). The attention as a key element to improve tactical behavior efficiency of young soccer players. *Revista de Psicología del Deporte*, 29(2), 47–55.
- de Luca, C. R., Wood, S. J., Anderson, V., Buchanan, J.-A., Proffitt, T. M., Mahony, K., & Pantelis, C. (2003). Normative data from the CANTAB. I: Development of executive function over the lifespan. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(2), 242–254. <https://doi.org/10.1076/jcen.25.2.242.13639>
- de Waelle, S. (2021). *Inside the mind of the young volleyball player. The development of cognitive and perceptual-cognitive function*. [[Dissertation] Ghent University]. <http://hdl.handle.net/1854/LU-8726565>
- Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. (2001). *Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS)*. Psychological Corporation.
- Dember, W. N. (1974). Motivation and the Cognitive Revolution. *American Psychologist*, 29(3), 161–168. <https://doi.org/10.1037/h0035907>
- Deutsche Fußball Liga. (2021). *Anhang V zur Lizenzordnung: Richtlinien für die Errichtung und Unterhaltung von Leistungszentren der Teilnehmer der Lizenzligen*. <https://media.dfl.de/sites/2/2020/12/Anhang-V-zur-LO-2021-01-01-Stand-Geltung-ab-1.-Januar-2021.pdf>

- Deutsche Fußball Liga. (2024). *Anhang V: Richtlinien für die Errichtung und Unterhaltung von Leistungszentren der Teilnehmer der Lizenzligen*. <https://media.dfl.de/sites/2/2024/07/Anhang-V-zur-LO-2024-06-07-Stand.pdf>
- Deutsche Sporthochschule Köln. (o. D.). *Tagungshomepage asp*. <https://www.dshs-koeln.de/aktuelles/hochschulveranstaltungen/kongresse-tagungen-archiv/asp-tagung-2018/call-for-papers/>
- DFB. (10. Juli 2021). Mitgliederzahl des Deutschen Fußball Bundes (DFB) von 1950 bis 2021 (Stand jeweils 1. Januar, in Millionen). In *Statista*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/215107/umfrage/mitgliederzahl-deutscher-fussball-bund/>
- DFB-Akademie. (o. D.-a). *Philosophie*. Abgerufen 18. Juni 2025, von <https://www.dfb-akademie.de/philosophie/-/id-11009474/>
- DFB-Akademie. (o. D.-b). *Sportpsychologie in den U-Teams*. Abgerufen 19. Juni 2025, von <https://www.dfb-akademie.de/sportpsychologische-begleitung-der-u-nationalmannschaften/-/id-11009580/>
- Diagnostik- und Testkuratorium. (2024). TBS-DTK. Testbeurteilungssystem des Diagnostik- und Testkuratoriums. Vierte, revidierte Fassung vom 31. Juli 2023. *Psychologische Rundschau*, 75(1), 39–79. <https://doi.org/10.1026/0033-3042/a000653>
- Diamond, A. (2002). Normal Development of Prefrontal Cortex from Birth to Young Adulthood: Cognitive Functions, Anatomy, and Biochemistry. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Hrsg.), *Principles of Frontal Lobe Function* (1. Aufl., S. 466–503). Oxford University Press. <https://devcogneuro.com/Publications/ChapterinStuss&Knight.pdf>
- Diamond, A. (2012). Activities and Programs That Improve Children’s Executive Functions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(5), 335–341. <https://doi.org/10.1177/0963721412453722>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual review of psychology*, 64(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2020). Executive functions. In A. Gallagher, C. Bulteau, D. Cohen, & J. L. Michaud (Hrsg.), *Handbook of Clinical Neurology* (S. 225–240). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64150-2.00020-4>
- Dogan, B. (2009). Multiple-choice reaction and visual perception in female and male elite athletes. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 49(1), 91–96.
- Dolata, M., Zwierko, T., Bojkowski, L., Moran, B., & Śliwowski, R. (2025). Reliability and Utility of the Skills.Lab Arena as A Real-Time Measurement Technology for Soccer Technique and Cognitive Performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 24(2), 277–291. <https://doi.org/10.52082/jssm.2025.277>
- Dong, L., Romeas, T., Vincent, T., Bherer, L., & Berryman, N. (2024). Performance on a domain-general and a domain-specific cognitive task during exercise: What are the effects of exercise intensity, exercise modality, and time of cognitive assessment among highly-trained athletes? *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1–22. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2024.2435020>
- Dorsch, T. E., Blazo, J. A., Paoli, A. G. D., & Hardiman, A. L. (2023). We know what we know, but from whom did we learn it? A sociodemographic history of participant characteristics and reporting practices in sport and exercise psychology. *Psychology of Sport and Exercise*, 69, 102504. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2023.102504>

- Eccles, D. W. (2020). Expertise in Sport: The State of the Art. In G. Tenenbaum & R. C. Eklund (Hrsg.), *Handbook of Sport Psychology* (4. Aufl., S. 565–486). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119568124.ch22>
- Eckardt, G. (2010). Die kognitive Orientierung der Psychologie seit der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts. In G. Eckardt (Hrsg.), *Kernprobleme in der Geschichte der Psychologie* (1. Aufl., S. 145–161). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92423-6_8
- Ehmann, P., Beavan, A., Spielmann, J., Ruf, L., Altmann, S., Forcher, L., Klever, N., Rohrmann, S., Nuß, C., & Englert, C. (2022). Perceptual-cognitive performance of youth soccer players in a 360°-environment – An investigation of the relationship with soccer-specific performance and the effects of systematic training. *Psychology of Sport and Exercise*, *61*, 102220. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102220>
- Ehmann, P., Beavan, A., Spielmann, J., Ruf, L., Mayer, J., Rohrmann, S., Nuß, C., & Englert, C. (2021). 360°-multiple object tracking in team sport athletes: Reliability and relationship to visuospatial cognitive functions. *Psychology of Sport and Exercise*, *55*, 101952. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.101952>
- Elferink-Gemser, M. T., Visscher, C., Richart, H., & Lemmink, K. A. P. M. (2004). Development of the Tactical Skills Inventory for Sports. *Perceptual and Motor Skills*, *99*(3), 883–895. <https://doi.org/10.2466/pms.99.3.883-895>
- Ellis-Stockley, M., Adler, J. S., Baldini, D., & Hirst, R. B. (2025). Averaged 22-month test-retest reliability of non-computerized baseline cognitive assessments in healthy youth athletes. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/13803395.2025.2503252>
- Engel, A. K., Maye, A., Kurthen, M., & König, P. (2013). Where's the action? The pragmatic turn in cognitive science. *Trends in cognitive sciences*, *17*(5), 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.03.006>
- Eppers, M., & Holst, T. (2019, 30.05. - 01.06). Kognitives Training in der Fußballpraxis. In O. Stoll (Hrsg.). *Angewandte Sportpsychologie. 51. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie. Halle (Saale)*. Unveröffentlichter Tagungsband. Universität Halle.
- Erdfelder, E., Faul, F., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, *41*(4), 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- Erdogan, G., Vogt, L., Giesche, F., Friebe, D., Banzer, W., Mierau, A., & Hülsdünker, T. (2025). Cognitive costs in motor-cognitive performance assessments depend on movement complexity and cognitive task design. *Frontiers in Sports and Active Living*, *7*, 1482976. <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1482976>
- Ericsson, K. A. (2003). How the Expert Performance Approach Differs from Traditional Approaches to Expertise in Sport. In Search of a Shared Theoretical Framework for Studying Expert Performance. In J. L. Starkes & K. A. Ericsson (Hrsg.), *Expert Performance In Sports: Advances in Research on Sport Expertise* (S. 371–402). Human Kinetics.
- Ericsson, K. A., & Hagemann, N. (2007). Der „Expert-Performance-Approach“ zur Erklärung von sportlichen Höchstleistungen: Auf der Suche nach deliberate practice zur Steigerung der sportlichen Leistung. In N. Hagemann, M. Tietjens, & B. Strauß (Hrsg.), *Psychologie der sportlichen Höchstleistung* (Bd. 3, S. 17–39). Hogrefe.

- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, *102*(2), 211–245. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.102.2.211>
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, *100*(3), 363–406.
- Ericsson, K. A., & Smith, J. (1991). *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits*. Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A., & Ward, P. (2007). Capturing the Naturally Occurring Superior Performance of Experts in the Laboratory: Toward a Science of Expert and Exceptional Performance. *Current Directions in Psychological Science*, *16*(6), 346–350. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00533.x>
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, *16*(1), 143–149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>
- Eyring, H., Ferguson, P. J., & Koppers, S. (2021). Less Information, More Comparison, and Better Performance: Evidence from a Field Experiment. *Journal of Accounting Research*, *59*(2), 657–711. <https://doi.org/10.1111/1475-679X.12362>
- Fabbri, A., Lai, A., Grundy, Q., & Bero, L. A. (2018). The Influence of Industry Sponsorship on the Research Agenda: A Scoping Review. *American Journal of Public Health*, *108*(11), e9–e16. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2018.304677>
- Fadde, P. J., & Zaichkowsky, L. (2018). Training perceptual-cognitive skills in sports using technology. *Journal of Sport Psychology in Action*, *9*(4), 239–248. <https://doi.org/10.1080/21520704.2018.1509162>
- Fan, J., Gu, X., Guise, K. G., Liu, X., Fossella, J., Wang, H., & Posner, M. I. (2009). Testing the behavioral interaction and integration of attentional networks. *Brain and Cognition*, *70*(2), 209–220. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2009.02.002>
- Fan, J., Mccandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005). The activation of attentional networks. *NeuroImage*, *26*(2), 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.004>
- Fields, R. D. (2015). A new mechanism of nervous system plasticity: Activity-dependent myelination. *Nature Reviews Neuroscience*, *16*(12), 756–767. <https://doi.org/10.1038/nrn4023>
- Finkenzeller, T., Krenn, B., Würth, S., & Amesberger, G. (2021). The design fluency test: A reliable and valid instrument for the assessment of game intelligence? *German Journal of Exercise and Sport Research*, *51*, 146–155. <https://doi.org/10.1007/s12662-020-00697-0>
- Fleddermann, M.-T., Reichert, L., Wieland, B., & Zentgraf, K. (2023). Stop it! Relationship between sport expertise and response inhibition in elite athletes. *Frontiers in Psychology*, *14*, 1192483. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1192483>
- Fogarty, G. J. (1995). Some comments on the use of psychological tests in sport settings. *International Journal of Sport Psychology*, *26*(1), 161–170.
- Forsman, H., Blomqvist, M., Davids, K., Liukkonen, J., & Kontinen, N. (2016). Identifying technical, physiological, tactical and psychological characteristics that contribute to career progression in soccer. *International Journal of Sports Science and Coaching*, *11*(4), 505–513. <https://doi.org/10.1177/174795411665505>

- Fransen, J. (2024). There is No Supporting Evidence for a Far Transfer of General Perceptual or Cognitive Training to Sports Performance. *Sports Medicine*, 54(11), 2717–2724. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02060-x>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186–204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Robinson, J. L., & Hewitt, J. K. (2011). Developmental trajectories in toddlers' self-restraint predict individual differences in executive functions 14 years later: A behavioral genetic analysis. *Developmental Psychology*, 47(5), 1410–1430. <https://doi.org/10.1037/a0023750>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(2), 201–225. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.137.2.201>
- Fuchs, D., & Fuchs, L. S. (1986). Test Procedure Bias: A Meta-Analysis of Examiner Familiarity Effects. *Review of Educational Research*, 56(2), 243–262. <https://doi.org/10.3102/003465430560022>
- Furley, P. A., & Memmert, D. (2010). The role of working memory in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 3(2), 171–194. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2010.526238>
- Furley, P., & Memmert, D. (2011). Studying cognitive adaptations in the field of sport: Broad or narrow transfer? A comment on Allen, Fioratou, and McGeorge (2011). *Perceptual and Motor Skills*, 113(2), 481–488. <https://doi.org/10.2466/05.23.PMS.113.5.481-488>
- Furley, P., & Memmert, D. (2015). Creativity and working memory capacity in sports: Working memory capacity is not a limiting factor in creative decision making amongst skilled performers. *Frontiers in Psychology*, 6, 115. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00115>
- Furley, P., & Memmert, D. (2016). Coaches' implicit associations between size and giftedness: Implications for the relative age effect. *Journal of Sports Sciences*, 34(5), 459–466. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1061198>
- Furley, P., Schul, K., & Memmert, D. (2017). Das Experten-Novizen-Paradigma und die Vertrauenskrise in der Psychologie. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 23(4), 131–140. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000174>
- Furley, P., Schütz, L.-M., & Wood, G. (2023). A critical review of research on executive functions in sport and exercise. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 18(1), 316–344. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2023.2217437>
- Gabler, H. (2000). Kognitive Aspekte sportlicher Handlungen. In H. Gabler, J. R. Nitsch, & R. Singer (Hrsg.), *Einführung in die Sportpsychologie. Teil 1: Grundthemen* (3. Aufl., Bd. 2, S. 165–195). Hofmann.
- Gabler, H. (2003). Die Sportpsychologie im magischen Dreieck von Sport, Psychologie und Sportwissenschaft. *Psychologie und Sport*, 10, 54–58.
- Gabler, H., & Ruoff, B. A. (1979). Zum Problem der Talentbestimmung im Sport. *Sportwissenschaft*, 9(2), 164–180.
- García-López, L. M., González-Villora, S., Gutiérrez, D., & y Serra, J. (2013). Development and Validation of the Game Performance Evaluation Tool (GPET) in Soccer. *Revista euroamericana de ciencias del deporte*, 2(1), 89–99.

- Georgiou, G., & Essau, C. A. (2011). Go/No-Go Task. In S. Goldstein & A. Naglieri (Hrsg.), *Encyclopaedia of Child Behavior and Development* (S. 705–706). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-79061-9_1267
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception* (1. Aufl.). Psychology Press.
- Gierczuk, D., & Ljach, W. (2012). Evaluating the coordination of motor abilities in Greco-Roman wrestlers by computer testing. *Human Movement, 13*(4), 323–329. <https://doi.org/10.2478/v10038-012-0037-y>
- Gobet, F. (2020). The classic expertise approach and its evolution. In P. Ward, J. M. Schraagen, & J. Gore (Hrsg.), *The Oxford Handbook of Expertise* (1. Aufl., S. 35–55). Oxford University Press.
- Gonçalves, E., Gonzaga, A. D. S., Cardoso, F. da Silva L., & Teoldo, I. (2015). Anticipation in soccer: A systematic review. *Human Movement, 16*(2), 95–101. <https://doi.org/10.1515/humo-2015-0032>
- González-Villora, S., Prieto-Ayuso, A., Cardoso, F., & Teoldo, I. (2022). The role of mental fatigue in soccer: A systematic review. *International Journal of Sports Science and Coaching, 17*(4), 903–916. <https://doi.org/10.1177/17479541211069536>
- González-Villora, S., Serra-Olivares, J., Pastor-Vicedo, J. C., & Teoldo da Costa, I. (2015). Review of the tactical evaluation tools for youth players, assessing the tactics in team sports: Football. *SpringerPlus, 4*, 663. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1462-0>
- Google Scholar. (2025, Juni 18). *Google Scholar*. https://scholar.google.com/scholar?hl=de&as_sdt=0%2C5&q=Executive+functions+predict+the+success+of+top-soccer+players&btnG=
- Gottwald, V., Davies, M., & Owen, R. (2023). Every story has two sides: evaluating information processing and ecological dynamics perspectives of focus of attention in skill acquisition. *Frontiers in Sports and Active Living, 5*, 1176635. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1176635>
- Gould, D., & Voelker, D. K. (2014). History of Sport Psychology. In R. C. Eklund & G. Tenenbaum (Hrsg.), *Encyclopedia of Sport and Exercise Psychology* (S. 346–351). Sage. <https://doi.org/10.4135/9781483332222>
- Güllich, A., & Barth, M. (2024). Effects of early talent promotion on junior and senior performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine, 34*(3), 697–710. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01957-3>
- Habekost, T., Ovesen, J., & Madsen, J. B. (2024). Cognition in elite soccer players: A general model. *Frontiers in Psychology, 15*, 1477262. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1477262>
- Haddow, G., & Klobas, J. E. (2004). Communication of research to practice in library and information science: Closing the gap. *Library and Information Science Research, 26*(1), 29–43. <https://doi.org/10.1016/j.lisr.2003.11.010>
- Hadlow, S. M., Panchuk, D., Mann, D. L., & Portus, M. R. (2018). Modified perceptual training in sport: A new classification framework. *Journal of Science and Medicine in Sport, 21*(9), 950–958. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.01.011>
- Han, D. H., Park, H. W., Kee, B. S., Na, C., Na, D.-H. E., & Zaichkowsky, L. (2011). Performance Enhancement with Low Stress and Anxiety Modulated by Cognitive

- Flexibility. *Psychiatry Investigation*, 8(3), 221–226.
<https://doi.org/10.4306/pi.2011.8.3.221>
- Hancock, D. J., Adler, A. L., & Côté, J. (2013). A proposed theoretical model to explain relative age effects in sport. *European Journal of Sport Science*, 13(6), 630–637.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2013.775352>
- Hancock, D. J., & Côté, J. (2014). Birth advantages, social agents, and talent development in youth sport. In A. R. Gomes, R. Resende, & A. Albuquerque (Hrsg.), *Positive human functioning from a multidimensional perspective* (Bd. 3, S. 15–32). Nova Science Publishers.
- Handford, C., Davids, K., Bennett, S., & Button, C. (1997). Skill acquisition in sport: Some applications of an evolving practice ecology. *Journal of Sports Sciences*, 15(6), 621–640. <https://doi.org/10.1080/026404197367056>
- Hanfstingl, B., Oberleiter, S., Pietschnig, J., Tran, U. S., & Voracek, M. (2024). Detecting jingle and jangle fallacies by identifying consistencies and variabilities in study specifications – a call for research. *Frontiers in Psychology*, 15, 1404060.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1404060>
- Hänsel, F., Baumgärtner, S. D., Kornmann, J. M., & Ennigkeit, F. (2016). *Sportpsychologie* (1. Aufl.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-50389-8>
- Hänsel, F., Baumgärtner, S. D., Kornmann, J. M., & Ennigkeit, F. (2022). Kognition. *Sportpsychologie* (2. Aufl., S. 25–59). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63616-9_2
- Harris, D. J., Wilson, M. R., & Vine, S. J. (2018). A Systematic Review of Commercial Cognitive Training Devices: Implications for Use in Sport. *Frontiers in Psychology*, 9, 709. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00709>
- Harwood, C. (2013). Practitioner-Scientist or Scientist-Practitioner? In P. McCarthy & M. Jones (Hrsg.), *Becoming a Sport Psychologist* (1. Aufl., S. 139–148). Routledge.
- Hashida, K., Lee, J., Furutani, T., Tsushima, W. T., & Tamura, K. (2024). Test-Retest Reliability and Reliable Change Index of Mobile Application Neurocognitive Testing Among Middle and High School Athletes. *Journal of Athletic Training*, 59(2), 153–158.
<https://doi.org/10.4085/1062-6050-0018.23>
- Haugan, J. A., Lervold, K., Kaalvik, H., & Moen, F. (2025). A scoping review of empirical research on executive functions and game intelligence in soccer. *Frontiers in Psychology*, 16, 1536174. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1536174>
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., & Curtiss, G. (1993). *Wisconsin Card Sorting Test manual*. Psychological Assessment Resources.
- Heckhausen, H. (1979). Sportpsychologie: Auf der Suche nach Identität in einem magischen Dreieck verschiedener Fachöffentlichkeiten. In J. R. Nitsch (Hrsg.), *Bericht über die 10. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie in Köln, 1979* (S. 43–61). bps.
- Hecksteden, A., Kellner, R., & Donath, L. (2022). Dealing with small samples in football research. *Science and Medicine in Football*, 6(3), 389–397.
<https://doi.org/10.1080/24733938.2021.1978106>
- Hedge, C., Powell, G., & Sumner, P. (2018). The reliability paradox: Why robust cognitive tasks do not produce reliable individual differences. *Behavior Research Methods*, 50, 1166–1186. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0935-1>

- Heilmann, F. (2022). Self-Report versus Neuropsychological Tests for Examining Executive Functions in Youth Soccer Athletes – A Cross-Sectional Study. *Behavioral Sciences*, *12*(9), 346. <https://doi.org/10.3390/bs12090346>
- Heilmann, F., Memmert, D., Weinberg, H., & Lautenbach, F. (2023). The relationship between executive functions and sports experience, relative age effect, as well as physical maturity in youth soccer players of different ages. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, *21*(2), 271–289. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2021.2025141>
- Heilmann, F., Weigel, P., & Wollny, R. (2021). Analysis of cognitive abilities measured in a laboratory-controlled 360° simulation in soccer. *German Journal of Exercise and Sport Research*, *51*(3), 302–311. <https://doi.org/10.1007/s12662-021-00713-x>
- Heilmann, F., Wollny, R., & Lautenbach, F. (2022). Inhibition and Calendar Age Explain Variance in Game Performance of Youth Soccer Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(3), 1138. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031138>
- Heisler, S. M., Lobinger, B. H., & Musculus, L. (2023). A developmental perspective on decision making in young soccer players: The role of executive functions. *Psychology of Sport and Exercise*, *65*, 102362. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102362>
- Henrich, J., Heine, S. J., & Norenzayan, A. (2010). The weirdest people in the world? *Behavioral and Brain Sciences*, *33*(2–3), 61–83. <https://doi.org/10.1017/S0140525X0999152X>
- Henry, F. M., & Rogers, D. E. (1960). Increased Response Latency for Complicated Movements and A “Memory Drum” Theory of Neuromotor Reaction. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, *31*(3), 448–458. <https://doi.org/10.1080/10671188.1960.10762052>
- Herrmann, T. (1994). Forschungsprogramme. In T. Herrmann & W. H. Tack (Hrsg.), *Methodische Grundlagen der Psychologie* (Bd. 1, S. 251–294). Hogrefe.
- Hicheur, H., Chauvin, A., Chassot, S., Chenevière, X., & Taube, W. (2017). Effects of age on the soccer-specific cognitive-motor performance of elite young soccer players: Comparison between objective measurements and coaches’ evaluation. *PLoS ONE*, *12*(9), e0185460. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185460>
- Hohmann, A., & Seidel, I. (2017). Talententwicklung: Talentdiagnose und Talentförderung. In K. Hottenrott & I. Seidel (Hrsg.), *Handbuch Trainingswissenschaft – Trainingslehre* (S. 305–317). Hofmann.
- Höhne, S. (13. Oktober 2021). Mit dem Simulator dieses Startups trainiert Bundesligist RB Leipzig. *BusinessInsider*. <https://www.businessinsider.de/gruenderszene/technologie/soccerbot360-fussball-simulator-umbrella-leipzig/>
- Holden, J., Francisco, E., Lensch, R., Tommerdahl, A., Kirsch, B., Zai, L., Dennis, R., & Tommerdahl, M. (2019). Accuracy of different modalities of reaction time testing: Implications for online cognitive assessment tools. *BioRxiv*, 726364. <https://doi.org/10.1101/726364>
- Höner, O. (2005). *Entscheidungshandeln im Sportspiel Fußball. Eine Analyse im Lichte der Rubikontheorie*. Hofmann.
- Höner, O. (2008). Basiert die Sportwissenschaft auf unterschiedlichen „Sorten“ von Theorien? *Sportwissenschaft*, *38*(1), 3–23. <https://doi.org/10.1007/BF03356066>

- Höner, O., Dugandzic, D., Hauser, T., Stügelmaier, M., Willig, N., & Schultz, F. (2023). Do you have a good all-around view? Evaluation of a decision-making skills diagnostic tool using 360° videos and head-mounted displays in elite youth soccer. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5(1171262). <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1171262>
- Höner, O., Larkin, P., Leber, T., & Feichtinger, P. (2020). Talentausswahl und -entwicklung im Sport. In J. Schüller, M. Wegner, & H. Plessner (Hrsg.), *Sportpsychologie: Grundlagen und Anwendung* (S. 499–530). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56802-6_22
- Höner, O., Larkin, P., Leber, T., & Feichtinger, P. (2023). Talent Identification and Development in Sport. In J. Schüller, M. Wegner, H. Plessner, & R. C. Eklund (Hrsg.), *Sport and Exercise Psychology* (S. 549–581). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-03921-8_23
- Höner, O., Murr, D., Larkin, P., Schreiner, R., & Leyhr, D. (2021). Nationwide Subjective and Objective Assessments of Potential Talent Predictors in Elite Youth Soccer: An Investigation of Prognostic Validity in a Prospective Study. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 638227. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.638227>
- Höner, O., & Roth, K. (2002). Klassische Testtheorie: Die Gütekriterien sportwissenschaftlicher Erhebungsmethoden. In R. Singer & K. Willimczik (Hrsg.), *Sozialwissenschaftliche Forschungsmethoden in der Sportwissenschaft* (S. 67-97). Czwalina.
- Höner, O., & Votteler, A. (2016). Prognostic relevance of motor talent predictors in early adolescence: A group- and individual-based evaluation considering different levels of achievement in youth football. *Journal of Sports Sciences*, 34(24), 2269–2278. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1177658>
- Höner, O., Votteler, A., Schmid, M., Schultz, F., & Roth, K. (2015). Psychometric properties of the motor diagnostics in the German football talent identification and development programme. *Journal of Sports Sciences*, 33(2), 145–159. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.928416>
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S. & Sturdivant, R. X. Logistic regression models for multinomial and ordinal outcomes. In *Applied Logistic Regression* (3. Aufl.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118548387.ch8>
- Hosp, B. W., Schultz, F., Höner, O., & Kasneci, E. (2021). Soccer goalkeeper expertise identification based on eye movements. *PLoS ONE*, 16(5), e0251070. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251070>
- Hughes, M. M., Linck, J. A., Bowles, A. R., Koeth, J. T., & Bunting, M. F. (2014). Alternatives to switch-cost scoring in the task-switching paradigm: Their reliability and increased validity. *Behavior Research Methods*, 46, 702–721. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0411-5>
- Huijgen, B. C. H., Elferink-Gemser, M. T., Lemmink, K. A. P. M., & Visscher, C. (2014). Multidimensional performance characteristics in selected and de-selected talented soccer players. *European Journal of Sport Science*, 14(1), 2–10. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.725102>
- Huijgen, B. C. H., Leemhuis, S., Kok, N. M., Verburgh, L., Oosterlaan, J., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2015). Cognitive Functions in Elite and Sub-Elite Youth Soccer Players Aged 13 to 17 Years. *PLoS ONE*, 10(12), e0144580. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144580>

- Huizinga, M., Dolan, C. V., & Van Der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, *44*(11), 2017–2036. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.010>
- IfD Allensbach (19. Juni 2019). Beliebteste Sportarten in Deutschland nach Interesse der Bevölkerung an dem Sport in den Jahren 2022 bis 2024. In *Statista*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/171072/umfrage/sportarten-fuer-die-besonderes-interesse-besteht/>
- Impellizzeri, F. M., & Marcora, S. M. (2009). Test Validation in Sport Physiology: Lessons Learned From Clinimetrics. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *4*(2), 269–277. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.2.269>
- Inns, J., Petancevski, E. L., Novak, A. R., & Fransen, J. (2023). Decision-making assessments in youth team invasion game athletes: A systematic scoping review. *International Journal of Sports Science and Coaching*, *18*(6), 2360–2381. <https://doi.org/10.1177/1747954123118577>
- Isoda, M., & Hikosaka, O. (2007). Switching from automatic to controlled action by monkey medial frontal cortex. *Nature Neuroscience*, *10*(2), 240–248. <https://doi.org/10.1038/nn1830>
- Ivarsson, A., & Andersen, M. B. (2016). What counts as “evidence” in evidence-based practice? Searching for some fire behind all the smoke. *Journal of Sport Psychology in Action*, *7*, 11–22. <https://doi.org/10.1080/21520704.2015.1123206>
- Ivarsson, A., Kilhage-Persson, A., Martindale, R., Priestley, D., Huijgen, B., Ardern, C., & McCall, A. (2020). Psychological factors and future performance of football players: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *23*(4), 415–420. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.10.021>
- Iwai, T. (2016). The interaction of formal and informal contracts in the decision of cooperation of the agents. *Brazilian Business Review*, *13*(1), 47–68. <https://doi.org/10.15728/bbr.2016.13.1.3>
- Jacobson, J., & Matthaues, L. (2014). Athletics and executive functioning: How athletic participation and sport type correlate with cognitive performance. *Psychology of Sport and Exercise*, *15*(5), 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.05.005>
- Janssen, T., Müller, D., & Mann, D. L. (2023). From Natural Towards Representative Decision Making in Sports: A Framework for Decision Making in Virtual and Augmented Environments. *Sports Medicine*, *53*(10), 1851–1865. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01884-3>
- Jia, Y., Zhou, X., Yang, J., & Fu, Q. (2024). The Effects of Task Constraints on Visual Search Behavior and Decision-Making Skill in Youth Soccer Players. *Frontiers in Psychology*, *15*, 1410132. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1410132>
- Jiménez-Pavón, D., Romeo, J., Cervantes-Borunda, M., Ortega, F. B., Ruiz, J. R., España-Romero, V., Marcos, A., & Castillo, M. J. (2011). Effects of a Running Bout in the Heat on Cognitive Performance. *Journal of Exercise Science and Fitness*, *9*(1), 58–64. [https://doi.org/10.1016/S1728-869X\(11\)60008-7](https://doi.org/10.1016/S1728-869X(11)60008-7)
- Jokuschies, N., Gut, V., & Conzelmann, A. (2017). Systematizing coaches’ ‘eye for talent’: Player assessments based on expert coaches’ subjective talent criteria in top-level youth soccer. *International Journal of Sports Science and Coaching*, *12*(5), 565–576. <https://doi.org/10.1177/174795411772764>

- Joyce, E. (4. August 2024). AIQ partners with S.L. Benfica to bring its cognitive assessment technology to the club. *Sports Business Journal*. <https://www.sportsbusinessjournal.com/Articles/2024/04/08/aiq-benfica/>
- Kalén, A., Bisagno, E., Musculus, L., Raab, M., Pérez-Ferreirós, A., Williams, A. M., Araújo, D., Lindwall, M., & Ivarsson, A. (2021). The Role of Domain-Specific and Domain-General Cognitive Functions and Skills in Sports Performance: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*, *147*(12), 1290–1308. <https://doi.org/10.1037/bul0000355>
- Kannekens, R., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2011). Positioning and deciding: Key factors for talent development in soccer. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *21*(6), 846–852. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01104.x>
- Karr, J. E., Areshenkoff, C. N., Rast, P., Hofer, S. M., Iverson, G. L., & Garcia-Barrera, M. A. (2018). The Unity and Diversity of Executive Functions: A Systematic Review and Re-Analysis of Latent Variable Studies. *Psychological Bulletin*, *144*(11), 1147–1185. <https://doi.org/10.1037/bul0000160>
- Karr, J. E., Rodriguez, J. E., Goh, P. K., Martel, M. M., & Rast, P. (2022). The Unity and Diversity of Executive Functions: A Network Approach to Life Span Development. *Developmental Psychology*, *58*(4), 751–767. <https://doi.org/10.1037/dev0001313>
- Kaufmann, F.-X. (1980). Nationalökonomie und Soziologie. Zum Problem der Interdisziplinarität in den Sozialwissenschaften. In E. Küng (Hrsg.), *Wandlung in Wirtschaft und Gesellschaft. Die Wirtschafts- und Sozialwissenschaft vor neuen Aufgaben* (S. 31–49). Mohr.
- Keegan, R. (2020). *Being a Sport Psychologist*. Bloomsbury Publishing.
- Keegan, R. J., Cotteril, S., Woolway, T., Appaneal, R., & Hutter, V. (2017). Strategies for bridging the research-practice ‘gap’ in sport and exercise psychology. *Revista de Psicología del Deporte*, *26*(4), 75–80.
- Kellmann, M., Beckmann, J., & Kopczyński, S. (2006). Sportpsychologische Diagnostik im Leistungssport. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, *13*(2), 46–52. <https://doi.org/10.1026/1612-5010.13.2.46>
- Kersting, M. (2018). Zur Information über und Dokumentation von Instrumenten zur Erfassung menschlichen Erlebens und Verhaltens – Die DIN SCREEN Checkliste 1, Version 3. In Diagnostik- und Testkuratorium (Hrsg.), *Personalauswahl kompetent gestalten: Grundlagen und Praxis der Eignungsdiagnostik nach DIN 33430* (S. 223–244). Springer. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-53772-5.pdf#page=233>
- Kessel, R. P. C. (2019). Improving precision in neuropsychological assessment: Bridging the gap between classic paper-and-pencil tests and paradigms from cognitive neuroscience. *The Clinical Neuropsychologist*, *33*(2), 357–368. <https://doi.org/10.1080/13854046.2018.1518489>
- Kilger, M., & Blomberg, H. (2020). Governing Talent Selection through the Brain: Constructing Cognitive Executive Function as a Way of Predicting Sporting Success. *Sport, Ethics and Philosophy*, *14*(2), 206–225. <https://doi.org/10.1080/17511321.2019.1631880>
- Kilkenny, M. F., & Robinson, K. M. (2018). Data quality: “Garbage in – garbage out”. *Health Information Management Journal*, *47*(3), 103–105. <https://doi.org/10.1177/1833358318774357>
- Kim, J., Ka, J., Lee, Y., Lee, Y., Park, S., & Kim, W. (2022, 27. – 28.10.). Mixed reality-based outdoor training system to improve football player performance. *International*

- conference on engineering and emerging technologies (ICEET) (S. 1–3). Kuala Lumpur, Malaysia. <https://doi.org/10.1109/ICEET56468.2022.10007354>
- Kittel, A., Lindsay, R., Le Noury, P., & Wilkins, L. (2024). The Use of Extended Reality Technologies in Sport Perceptual-Cognitive Skill Research: A Systematic Scoping Review. *Sports Medicine-Open*, 10, 128. <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00794-6>
- Kittelberger, T. (2018). Die Entwicklung kognitiver Fähigkeiten von Spielern am Beispiel der „Helix“. In R. Lanwehr & J. Mayer (Hrsg.), *People Analytics im Profifußball. Implikationen für die Wirtschaft* (S. 171–203). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21256-8_8
- Klatt, S., & Smeeton, N. J. (2022). Processing visual information in elite junior soccer players: Effects of chronological age and training experience on visual perception, attention, and decision making. *European Journal of Sport Science*, 22(4), 600–609. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1887366>
- Klayman, J. (1995). Varieties of confirmation bias. *Psychology of learning and motivation*, 32, 385–418. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60315-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60315-1)
- Klingner, F. C., Huijgen, B. C. H., Den Hartigh, R. J. R., & Kempe, M. (2022). Technical–tactical skill assessments in small-sided soccer games: A scoping review. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 17(4), 885–902. <https://doi.org/10.1177/1747954121104953>
- Knöbel, S., Borchert, A., Gatzmaga, N., Heilmann, F., Musculus, L., Laborde, S., & Lautenbach, F. (2024). The impact of soccer-specific psychophysiological stress on inhibition and cognitive flexibility in elite youth players. *Psychology of Sport and Exercise*, 74, 102682. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2024.102682>
- Knöbel, S., & Lautenbach, F. (2023). An assist for cognitive diagnostics in soccer (Part II): Development and validation of a task to measure working memory in a soccer-specific setting. *Frontiers in Psychology*, 13, 1026017. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1026017>
- Knöbel, S., Musculus, L., Schrader, R., Borchert, A., Gatzmaga, N., & Elbe, A.-M. (2022, 07. - 16.07). Cognitive diagnostics under football-specific psychophysiological stress conditions. *Sport, Exercise and Performance Psychology: Challenges and Opportunities in a Changing World*. 16th FEPSAC Congress, Padova, Italien.
- Knöbel, S., Reinhard, M. L., Musculus, L., Pelka, M., Gatzmaga, N., Borchert, A., Weigel, P., & Lautenbach, F. (2020). Soccerbot360: Entwicklung und Validierung einer fußballspezifischen Aufgabe zur Messung von Inhibition bei Elite Nachwuchsfußballspielern. In G. Amesberger, S. Würth, & T. Finkenzeller (Hrsg.), *Zukunft der Sportpsychologie—Zwischen Verstehen und Evidenz. Virtuelle Online-Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie*. (S. 56). Universität Salzburg. https://fis-db.dshs-koeln.de/ws/portalfiles/portal/5558741/Abstractband_asp2020_Salzburg.pdf
- Knöbel, S., Wendler, F., & Lautenbach, F. (2021). Further development and reevaluation of a soccerspecific task measuring inhibition with the Soccerbot100. In O. Höner, S. Wachsmuth, M. L. Reinhard, & F. Schultz (Hrsg.), *Talententwicklung und Coaching im Sport. 53. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie (online)* (S. 230). Universität Tübingen. <http://dx.doi.org/10.15496/publikation-57943>

- Krenn, B., Finkenzeller, T., Würth, S., & Amesberger, G. (2018). Sport type determines differences in executive functions in elite athletes. *Psychology of Sport and Exercise, 38*, 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.06.002>
- Krimsky, S. (2013). Do Financial Conflicts of Interest Bias Research?: An Inquiry into the “Funding Effect” Hypothesis. *Science, Technology, and Human Values, 38*(4), 566–587. <https://doi.org/10.1177/016224391245627>
- Kruk, M., Blecharz, J., Boberska, M., Zarychta, K., & Luszczynska, A. (2017). Mental strategies predict performance and satisfaction with performance among soccer players. *Journal of Human Kinetics, 59*, 79–90. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0149>
- Kyllingsbæk, S., & Bundesen, C. (2009). Changing change detection: Improving the reliability of measures of visual short-term memory capacity. *Psychonomic Bulletin and Review, 16*(6), 1000–1010. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.6.1000>
- Lachmann, R., Lachmann, J. L., & Butterfield, E. C. (1979). *Cognitive psychology and information processing: An introduction*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315798844>
- Lakens, D. (2022). Sample size justification. *Collabra: Psychology, 8*(1), 33267. <https://doi.org/10.1525/collabra.33267>
- Larkin, P., Mesagno, C., Spittle, M., & Berry, J. (2015). An evaluation of video-based training programs for perceptual-cognitive skill development. A systematic review of current sport-based knowledge. *International Journal of Sport Psychology, 46*(6), 555–586.
- Larkin, P., & O’Connor, D. (2017). Talent identification and recruitment in youth soccer: Recruiter’s perceptions of the key attributes for player recruitment. *PLoS ONE, 12*(4), e0175716. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175716>
- Lath, F., Koopmann, T., Faber, I., Baker, J., & Schorer, J. (2021). Focusing on the coach’s eye; towards a working model of coach decision-making in talent selection. *Psychology of Sport and Exercise, 56*, 102011. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102011>
- Laureys, F., de Waelle, S., Barendse, M. T., Lenoir, M., & Deconinck, F. J. A. (2022). The factor structure of executive function in childhood and adolescence. *Intelligence, 90*, 101600. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2021.101600>
- Laureys, F., Middelbos, L., Rommers, N., de Waelle, S., Coppens, E., Mostaert, M., Deconinck, F. J. A., & Lenoir, M. (2021). The Effects of Age, Biological Maturation and Sex on the Development of Executive Functions in Adolescents. *Frontiers in Physiology, 12*, 703312. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.703312>
- Lautenbach, F., Laborde, S., Achtzehn, S., & Raab, M. (2014). Preliminary evidence of salivary cortisol predicting performance in a controlled setting. *Psychoneuroendocrinology, 42*, 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.psychneuen.2014.01.011>
- Lautenbach, F., Laborde, S. J. P., Putman, P., Angelidis, A., & Raab, M. (2016). Attentional distraction by negative sports words in athletes under low- and high-pressure conditions: Evidence from the sport emotional Stroop task. *Sport, Exercise, and Performance Psychology, 5*(4), 296–307. <https://doi.org/10.1037/spy0000073>
- Le Noury, P., Polman, R., Maloney, M., & Gorman, A. (2022). A Narrative Review of the Current State of Extended Reality Technology and How it can be Utilised in Sport. *Sports Medicine, 25*, 1473–1489. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01669-0>

- Leibniz-Institut für Psychologie (ZPID). (2025). *Verzeichnis Testverfahren. Kurznamen. Langnamen. Autoren/Autorinnen. Testrezensionen* (31., aktualisierte). ZPID. doi.org/10.23668/psycharchives.15924
- Lennartsson, J., Lidström, N., & Lindberg, C. (2015). Game Intelligence in Team Sports. *PLoS ONE*, *10*(5), e0125453. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125453
- Leso, G., Dias, G., Ferreira, J. P., Gama, J., & Couceiro, M. (2017). Perception of Creativity and Game Intelligence in Soccer. *Creativity Research Journal*, *29*(2), 182–187. https://doi.org/10.1080/10400419.2017.1302779
- Lewin, K. (1951). *Field Theory in Social Science: Selected Theoretical Papers*. Harper & Row.
- Leyhr, D., Kelava, A., Raabe, J., & Höner, O. (2018). Longitudinal motor performance development in early adolescence and its relationship to adult success: An 8-year prospective study of highly talented soccer players. *PLoS ONE*, *13*(5), e0196324. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196324
- Leyhr, D., Murr, D., Romann, M., Eichler, K., Basten, L., Hauser, T., Lüdin, D., & Höner, O. (2023). Assessing biological maturity timing by MRI and coaches' eye in elite youth soccer players: A comparison between objective and subjective diagnostics utilizing correlation and single case analyses. *International Journal of Sports Science and Coaching*, *18*(4), 994–1002. https://doi.org/10.1177/17479541231152820
- Leyhr, D., Rösch, D., Cumming, S. P., & Höner, O. (2024). Selection-Dependent Differences in Youth Elite Basketball Players' Relative Age, Maturation-Related Characteristics, and Motor Performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *95*(3), 775–788. https://doi.org/10.1080/02701367.2024.2311644
- Li, L., & Smith, D. M. (2021). Neural Efficiency in Athletes: A Systematic Review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *15*, 698555. https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.698555
- Lobinger, B. H., Reinhard, M. L., & Querfurth, S. (2020). Berufsethische Leitlinien, Überzeugungen und Verhaltensweisen in der Angewandten Sportpsychologie. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, *27*(2), 45–65. https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000294
- Lobinger, B., Musculus, L., & Bröker, L. (2021). Allgemeine Psychologie und Sportpsychologie. In T. Strobach (Hrsg.), *Sportpsychologie: Ein Überblick für Psychologiestudierende und -interessierte* (S. 9–36). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63043-3_2
- Locke, E. A., & Latham, G. P. (2019). The development of goal setting theory: A half century retrospective. *Motivation Science*, *5*(2), 93–105. https://doi.org/10.1037/mot0000127
- Loffing, F., & Cañal-Bruland, R. (2017). Anticipation in sport. *Current Opinion in Psychology*, *16*, 6–11. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.03.008
- Loffing, F., Wilkes, T., & Hagemann, N. (2011). Skill Level and Graphical Detail Shape Perceptual Judgments in Tennis. *Perception*, *40*(12), 1447–1456. https://doi.org/10.1068/p7035
- Logan, G. D. (1985). Skill and Automaticity: Relations, Implications, and Future Direction. *Canadian Journal of Sport Psychology*, *39*(2), 367–386.
- Logan, N. E., Donovan, H. E., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2023). Trained athletes and cognitive function: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, *21*(4), 725–749. https://doi.org/10.1080/1612197X.2022.2084764

- Lord, C. G., Ross, L., & Lepper, M. R. (1979). Biased Assimilation and Attitude Polarization: The Effects of Prior Theories on Subsequently Considered Evidence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37(11), 2098–2109. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.37.11.2098>
- Lück, H. E. (2020). *Robert Werner Schulte: Schriftenverzeichnis des Psychologen und Psychotechnikers*. https://www.researchgate.net/publication/341642900_Robert_Werner_Schulte_Schriftenverzeichnis_des_Psychologen_und_Psychotechnikers#fullTextFileContent
- Luna, B., Garver, K. E., Urban, T. A., Lazar, N. A., & Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development*, 75(5), 1357–1372. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00745.x>
- Lundh, L.-G. (2023). Person, Population, Mechanism. Three Main Branches of Psychological Science. *Journal for person-oriented research*, 9(2), 75–92. <https://doi.org/10.17505/jpor.2023.25814>
- Mann, D. L., & Savelsbergh, G. J. P. (2015). Issues in the Measurement of Anticipation. In J. Baker & D. Farrow (Hrsg.), *Routledge Handbook of Sport Expertise* (1. Aufl., S. 166–175). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315776675>
- Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-Cognitive Expertise in Sport: A Meta-Analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(4), 457–478. <https://doi.org/10.1123/jsep.29.4.457>
- Marsh, H. W. (1994). Sport Motivation Orientations: Beware of Jingle-Jangle Fallacies. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 16(4), 365–380. <https://doi.org/10.1123/jsep.16.4.365>
- Martens, R. (1979). About Smocks and Jocks. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1(2), 94–99. <https://doi.org/10.1123/jsep.1.2.94>
- Martin, J. J., Beasley, V. L., & Guerrero, M. D. (2019). Sport psychology research: Proper standards and limitations. In M. H. Anshel, T. A. Petrie, & J. A. Steinfeldt (Hrsg.), *APA handbook of sport and exercise psychology: Sport psychology* (S. 17–40). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/0000123-002>
- Martin, K., Flood, A., Pyne, D. B., Périard, J. D., Keegan, R., & Rattray, B. (2022). The Impact of Cognitive, Physical, and Psychological Stressors on Subsequent Cognitive Performance. *Human Factors*, 66(1), 71–87. <https://doi.org/10.1177/00187208211065548>
- Mata, R., von Helversen, B., & Rieskamp, J. (2011). When easy comes hard: The development of adaptive strategy selection. *Child Development*, 82(2), 687–700. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01535.x>
- Mayer, J., & Hermann, H.-D. (2014). *Sportpsychologie im Nachwuchsfußball. Mentale Fertigkeiten entwickeln und trainieren*. Philippka.
- McCalman, W., Crowley-McHattan, Z. J., Fransen, J., & Bennett, K. J. M. (2021). Skill assessments in youth soccer: A scoping review. *Journal of Sports Sciences*, 40(6), 667–695. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.2013617>
- McGuckian, T. B., Cole, M. H., & Pepping, G.-J. (2018). A systematic review of the technology-based assessment of visual perception and exploration behaviour in association football. *Journal of Sports Sciences*, 36(8), 861–880. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1344780>

- McMorris, T., Sproule, J., MacGillivray, W., & Lomax, J. (2006). Cognitive development and performance of 11-, 13- and 15-year olds on a soccer-specific test of decision making. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 4(2), 170–181. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2006.9671791>
- McNab, F., & Dolan, R. J. (2014). Dissociating Distractor-Filtering at Encoding and During Maintenance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(3), 960–967. <https://doi.org/10.1037/a0036013>
- McNab, F., Zeidman, P., Rutledge, R. B., Smittenaar, P., Brown, H. R., Adams, R. A., & Dolan, R. J. (2015). Age-related changes in working memory and the ability to ignore distraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(20), 6515–6518. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504162112>
- Mead, A. D., & Drasgow, F. (1993). Equivalence of computerized and paper-and-pencil cognitive ability tests: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 114(3), 449–458. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.3.449>
- Memmert, D. (2004). *Kognitionen im Sportspiel* (1. Aufl.). Sport und Buch Strauß.
- Memmert, D. (2006). The effects of eye movements, age, and expertise on inattentive blindness. *Consciousness and Cognition*, 15(3), 620–627. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2006.01.001>
- Memmert, D. (2019). *Fußballspiele werden im Kopf entschieden: Kognitives Training, Kreativität und Spielintelligenz im Amateur und Leistungsbereich* (1. Aufl.). Meyer & Meyer.
- Memmert, D., Klatt, S., & Kreitz, C. (2020). Wahrnehmung und Aufmerksamkeit im Sport. In J. Schüler, M. Wegner, & H. Plessner (Hrsg.), *Sportpsychologie: Grundlagen und Anwendung* (S. 15–42). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56802-6_2
- Memmert, D., Klemp, M., Schwab, S., & Low, B. (2024). Individual attention capacity enhances in-field group performances in soccer. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 22(7), 1607–1624. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2023.2204364>
- Memmert, D., Raabe, D., Schwab, S., & Rein, R. (2019). A tactical comparison of the 4-2-3-1 and 3-5-2 formation in soccer: A theory-oriented, experimental approach based on positional data in an 11 vs. 11 game set-up. *PLoS ONE*, e0210191. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210191>
- Memmert, D., & Roca, A. (2019). Tactical creativity and decision making in sport. In A. M. Williams & R. C. Jackson (Hrsg.), *Anticipation and Decision-Making in Sport* (1. Aufl., S. 213–214). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315146270>
- Meta. (o. D.). *Meta Quest 3S*. Abgerufen 18. Juni 2025, von <https://www.meta.com/de/en/quest/quest-3s/>
- Meylan, C., Cronin, J., Oliver, J., & Hughes, M. (2010). Talent identification in soccer: The role of maturity status on physical, physiological and technical characteristics. *Journal of Sports Science and Coaching*, 5(4), 571–592. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.5.4.571>
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8–14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>

- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Moe, V. F. (2005). A Philosophical Critique of Classical Cognitivism in Sport: From Information Processing to Bodily Background Knowledge. *Journal of the Philosophy of Sport*, *32*(2), 155–183. <https://doi.org/10.1080/00948705.2005.9714680>
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(3), 134–140. [http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00028-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00028-7)
- Moore, Z. E. (2007). Critical thinking and the evidence-based practice of sport psychology. *Journal of Clinical Sport Psychology*, *1*(1), 9–22. <https://doi.org/10.1123/jcsp.1.1.9>
- Moosbrugger, H., & Kelava, A. (2020). Qualitätsanforderungen an Tests und Fragebogen („Gütekriterien“). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl., S. 13-38). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61532-4_2
- Moreau, D. (2019). Preregistration in the context of expertise research: Benefits, challenges, and recommendations. *Journal of Expertise*, *2*(4), 210–216. <https://doi.org/10.31234/osf.io/v7xrb>
- Morgan, W. P. (1980). The Trait Psychology Controversy. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *51*(1), 50–76. <https://doi.org/10.1080/02701367.1980.10609275>
- Morgans, R., Orme, P., Anderson, L., & Drust, B. (2014). Principles and practices of training for soccer. *Journal of Sport and Health*, *3*(4), 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.07.002>
- Morris, T. (2000). Psychological characteristics and talent identification in soccer. *Journal of Sports Sciences*, *18*(9), 715–726. <https://doi.org/10.1080/02640410050120096>
- Morrissey, E., Wandersman, A., Seybolt, D., Nation, M., Crusto, C., & Davino, K. (1997). Toward a framework for bridging the gap between science and practice in prevention: A focus on evaluator and practitioner perspectives. *Evaluation and Program Planning*, *20*(3), 367–377. [https://doi.org/10.1016/S0149-7189\(97\)00016-5](https://doi.org/10.1016/S0149-7189(97)00016-5)
- Morya, E., Ranvaud, R., & Pinheiro, W. M. (2003). Dynamics of visual feedback in a laboratory simulation of a penalty kick. *Journal of Sports Sciences*, *21*(2), 87–95. <https://doi.org/10.1080/0264041031000070840>
- Moser, R. S., Schatz, P., Neidzowski, K., & Ott, S. D. (2011). Group Versus Individual Administration Affects Baseline Neurocognitive Test Performance. *The American Journal of Sports Medicine*, *39*(11), 2325–2330. <https://doi.org/10.1177/0363546511417114>
- Muckenhaupt, M., Grehl, L., Lange, J., & Knee, R. (2012). *Wissenskommunikation und Wissensmanagement im Leistungssport: Empirische Befunde und Entwicklungsperspektiven* (Bd. 22). Hofmann.
- Munzert, J., & Raab, M. (2009). Informationsverarbeitung. In W. Schlicht & B. Strauß (Hrsg.), *Grundlagen der Sportpsychologie* (Bd. 1, S. 105–157). Hogrefe.
- Murphy, C. P., Jackson, R. C., Cooke, K., Roca, A., Benguigui, N., & Williams, A. M. (2016). Contextual information and perceptual-cognitive expertise in a dynamic, temporally-constrained task. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *22*(4), 455–470. <https://doi.org/10.1037/xap0000094>

- Murr, D., Feichtinger, P., Larkin, P., O'Connor, D., & Höner, O. (2018). Psychological talent predictors in youth soccer: A systematic review of the prognostic relevance of psychomotor, perceptual-cognitive and personality-related factors. *PLoS ONE*, *13*(10), e0205337. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205337>
- Murr, D., Larkin, P., & Höner, O. (2021). Decision-making skills of high-performance youth soccer players. Validating a video-based diagnostic instrument with a soccer-specific motor response. *German Journal of Exercise and Sport Research*, *51*(1), 102–111. <https://doi.org/10.1007/s12662-020-00687-2>
- Musculus, L. (2018). Do the Best Players “Take-the-First”? Examining Expertise Differences in the Option-Generation and Selection Processes of Young Soccer Players. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, *7*(3), 271–283. <https://doi.org/10.1037/spy0000123>
- Musculus, L., Araújo, D., Bisagno, E., Gustafsson, H., Kalén, A., Lindwall, M., Pérez-Ferreirós, A., Raab, M., Williams, A. M., & Stenling, A. (2025). Why “decoding the elite soccer player’s psychological profile” fails to score. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *122*(25), e2502322122. <https://doi.org/10.1073/pnas.2502322122>
- Musculus, L., Azzurra, R., Raab, M., & Lobinger, B. (2019). A developmental perspective on option generation and selection. *Developmental Psychology*, *55*(4), 745–753. <https://doi.org/10.1037/dev0000665>
- Musculus, L., Lautenbach, F., Knöbel, S., Reinhard, M. L., Weigel, P., Gatzmaga, N., Borchert, A., & Pelka, M. (2022). An Assist for Cognitive Diagnostics in Soccer: Two Valid Tasks Measuring Inhibition and Cognitive Flexibility in a Soccer-Specific Setting With a Soccer-Specific Motor Response. *Frontiers in Psychology*, *13*, 867849. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.867849>
- Musculus, L., & Lobinger, B. H. (2018). Psychological Characteristics in Talented Soccer Players – Recommendations on How to Improve Coaches’ Assessment. *Frontiers in Psychology*, *9*, 41. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00041>
- Musculus, L., Raab, M., Belling, P., & Lobinger, B. (2018). Linking self-efficacy and decision-making processes in developing soccer players. *Psychology of Sport and Exercise*, *39*, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.07.008>
- Musculus, L., Ruggeri, A., & Raab, M. (2021). Movement Matters! Understanding the Developmental Trajectory of Embodied Planning. *Frontiers in Psychology*, *12*, 633100. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.633100>
- Müsseler, J., & Prinz, W. (Hrsg.). (2002). *Lehrbuch Allgemeine Psychologie*. Spektrum Akademischer Verlag.
- Nederhof, E., Lemmink, K., Zwerver, J., & Mulder, T. (2007). The Effect of High Load Training on Psychomotor Speed. *International Journal of Sports Medicine*, *28*(7), 595–601. <https://doi.org/10.1055/s-2007-964852>
- Nederhof, E., Zwerver, J., Brink, M., Meeusen, R., & Kemmink, K. (2008). Different Diagnostic Tools in Nonfunctional Overreaching. *International Journal of Sports Medicine*, *29*(7), 590–697. <https://doi.org/10.1055/s-2007-989264>
- Neubert, F.-X., Mars, R. B., Buch, E. R., Olivier, E., & Rushworth, M. F. S. (2010). Cortical and subcortical interactions during action reprogramming and their related white matter pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(30), 13240–13245. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000674107>

- NeuroTracker. (o. D.). *NeuroTracker*. Abgerufen 18. Juni 2025, von <https://de.neurotrackerx.com/>
- Neuwirth, W., & Benesch, M. (2007). *Manual DT: Determination test, version 33.00*. Schuhfried GmbH.
- Neuwirth, W., & Benesch, M. (2012). *Wiener Testsystem Manual: Determinationstest (Version 35)*. Schuhfried GmbH.
- Nideffer, R. M. (1976). Test of attentional and interpersonal style. *Journal of Personality and Social Psychology*, 34(3), 394–404. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.34.3.394>
- Nideffer, R. M., & Sagal, M. S. (2001). *Assessment in sport psychology*. Fitness Information Technology.
- Nitsch, J. R. (1978). Zur Lage der Sportpsychologie. In J. R. Nitsch & H. Allmer (Hrsg.), *Sportpsychologie – Eine Standortbestimmung*. bps.
- Nitsch, J. R., Gabler, H., & Singer, R. (2000). Sportpsychologie – Ein Überblick. In H. Gabler, J. R. Nitsch, & R. Singer (Hrsg.), *Einführung in die Sportpsychologie Teil 1: Grundthemen* (3. Aufl., S. 11–42). Hofmann.
- Nortje, L., Dicks, M., Coopoo, Y., & Savelsbergh, G. J. P. (2014). Put Your Money Where Your Mouth Is: Verbal Self-Reported Tactical Skills Versus On-Line Tactical Performance in Soccer. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 9(2), 321–333. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.9.2.32>
- Nosek, B. A., Alter, G., Banks, G. C., Borsboom, D., Bowman, S. D., Breckler, S. J., Buck, S., Chambers, C. D., Chin, G., Christensen, G., Contestabile, M., Dafoe, A., Eich, E., Freese, J., Glennerster, R., Goroff, D., Green, D. P., Hesse, B., Humphreys, M., ... Yarkoni, T. (2015). Promoting an open research culture. *Science*, 348(6242), 1422–1425. <https://doi.org/10.1126/science.aab2374>
- Nottingham Forest FC. (7. November 2024). *Forest enhancing talent identification with BrainsFirst*. <https://www.nottinghamforest.co.uk/news/2024/november/07/forest-enhancing-talent-identification-with-brainsfirst/>
- Nougier, V., & Rossi, B. (1999). The Development of Expertise in the Orienting of Attention. *International Journal of Sport Psychology*, 30, 246–260.
- Nougier, V., Stein, J.-F., & Bonnel, A.-M. (1991). Information Processing in Sport and „Orienting of Attention“. *International Journal of Sport Psychology*, 22(3–4), 307–327.
- O’Connor, D., Larkin, P., & Williams, A. M. (2016). Talent identification and selection in elite youth football: An Australian context. *European Journal of Sport Science*, 16(7), 837–844. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1151945>
- Ong, N. C. H. (2015). The use of the Vienna Test System in sport psychology research: A review. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 8(1), 204–223. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2015.1061581>
- Open Science Collaboration. (2015). Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 349(6251), aac4716. <https://doi.org/10.1126/science.aac4716>
- Oslin, J. L., Mitchell, S. A., & Griffin, L. L. (1998). The Game Performance Assessment Instrument (GPAI): Development and Preliminary Validation. *Journal of Teaching in Physical Education*, 17(2), 231–243. <https://doi.org/10.1123/jtpe.17.2.231>
- Ostrow, A. C. (1990). *Directory of Psychological Tests in the Sport and Exercise Sciences* (1. Aufl.). Fitness Information Technology.

- Ostrow, A. C. (1996). *Directory of Psychological Tests in the Sport and Exercise Sciences* (2. Aufl.). Fitness Information Technology.
- Palmer, S. E., & Kimchi, R. (1986). The Information Processing Approach to Cognition. In T. J. Knapp & L. C. Robertson (Hrsg.), *Approaches to Cognition* (1. Aufl., S. 37–77). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315630816>
- Panchuk, D., Klusemann, M. J., & Hadlow, S. M. (2018). Exploring the Effectiveness of Immersive Video for Training Decision-Making Capability in Elite, Youth Basketball Players. *Frontiers in Psychology, 9*, 2315. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02315>
- Passel, E., Strong, R. W., Rutter, L. A., Kim, H., Scheuer, L., Martini, P., Grinspoon, L., & Germine, L. (2021). Cognitive test scores vary with choice of personal digital device. *Behavior Research Methods, 53*(6), 2544–2557. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01597-3>
- Pastore, R. E., & Scheirer, C. J. (1974). Signal Detection Theory: Considerations for General Application. *Psychological Bulletin, 81*(12), 945–958. <https://doi.org/10.1037/h0037357>
- Perarnau, M. (2016). *Pep Guardiola: The Evolution*. Arena Sport.
- Pesce Anzeneder, C., Bösel, R., Kortmann, O., & Mücke, M. (1998). Fokussierung der visuellen Aufmerksamkeit. *Leistungssport, 2*, 35–41.
- Petiot, G. H., Bagatin, R., Aquino, R., & Raab, M. (2021). Key characteristics of decision making in soccer and their implications. *New Ideas in Psychology, 61*, 100846. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2020.100846>
- Pfeifer, W., Braun, W., Ginschel, G., Hagen, G., Huber, A., Müller, K., Petermann, H., Pfeifer, G., Schröter, D., & Schröter, U. (1993). Kognition. In *Etymologisches Wörterbuch des Deutschen, digitalisierte und von Wolfgang Pfeifer überarbeitete Version im Digitalen Wörterbuch der deutschen Sprache*. <https://www.dwds.de/wb/Kognition>
- Phillips, E., Davids, K., Renshaw, I., & Portus, M. (2010). Expert Performance in Sport and the Dynamics of Talent Development. *Sports Medicine, 40*, 271–283. <https://doi.org/10.2165/11319430-000000000-00000>
- Pinder, R. A., Headrick, J., & Oudejans, R. R. D. (2015). Issues and Challenges in Developing Representative Tasks in Sport. In J. Baker & D. Farrow (Hrsg.), *Routledge Handbook of Sport Expertise* (1. Aufl., S. 269–281). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315776675>
- PLoS One. (28. Juni 2025). *Metrics: Executive functions predict the success of top-soccer players*. <https://journals.plos.org/plosone/article/metrics?id=10.1371/journal.pone.0034731#viewHeader>
- Poimann, D., Ziemainz, H., & Drescher, A. (2015). Aufmerksamkeitstraining im Kinder- und Jugendfußball. In dvs-Kommission Fußball (Hrsg.). *Fußball 4.0 - Hightech in Training, Wettkampf und Ausbildung. Jahrestagung der dvs-Kommission Fußball* (S. 42). Universität Erlangen-Nürnberg. https://www.sportwissenschaft.de/fileadmin/pdf/Kommissionen/Fussball/2015_dvs-Abstractband_Fussball_4_0.pdf
- Posner, M. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the Detection of Signals. *Journal of Experimental Psychology: General, 109*(2), 160–174. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.109.2.160>

- Praça, G. M., Costa, C. L. A., Costa, F. F., de Andrade, A. G. P., Chagas, M. H., & Greco, J. P. (2017). Tactical behavior in soccer small-sided games: Influence of tactical knowledge and numerical superiority. *Journal of Physical Education*, 27(1), e2736. <https://doi.org/10.4025/jphyseduc.v27i1.2736>
- Pronk, T., Wiers, R. W., Molenkamp, B., & Murre, J. (2020). Mental chronometry in the pocket? Timing accuracy of web applications on touchscreen and keyboard devices. *Behavior Research Methods*, 52(3), 1371–1382. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01321-2>
- PSV Eindhoven. (17. März 2022). *PSV bets on football brain development with Football Cognition Project Group*. <https://www.psv.nl/en/media/artikel/psv-zet-met-projectgroep-voetbalscognitie-in-op-ontwikkeling-voetbalbrein>
- Raab, M. (2021). *Judgment, Decision-Making, And Embodied Choices*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-00479-2>
- Radke, L., Mertens, A., Spielmann, J., & Mayer, J. (2023). Being ahead of the game – The association between executive functions and football performance in high-level football players. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 53(3), 288–300. <https://doi.org/10.1007/s12662-023-00885-8>
- Rausch, T. (2023). Niederländischer Klub im Aufwind: AZ Alkmaar – Spiel mit Köpfchen. *Sportschau*.
- Razon, S., & Tenenbaum, G. (2014). Measurement in sport and exercise psychology. In J. L. van Raalte & B. W. Brewer (Hrsg.), *Exploring sport and exercise psychology*. (3. Aufl., S. 279-309). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/14251-013>
- Reeve, C. L., Heggstad, E. D., & Lievens, F. (2009). Modeling the impact of test anxiety and test familiarity on the criterion-related validity of cognitive ability tests. *Intelligence*, 37(1), 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2008.05.003>
- Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2000). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 695–702. <https://doi.org/10.1080/02640410050120078>
- Reinhard, M. L. (2020). Soccerbot360: Entwicklung und Validierung eines fußballspezifischen Instruments zur Erfassung kognitiver Flexibilität im Nachwuchsleistungsfußball. In G. Amesberger, S. Würth, & T. Finkenzeller (Hrsg.), *Zukunft der Sportpsychologie—Zwischen Verstehen und Evidenz. Virtuelle Online-Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie*. (S. 57). Universität Salzburg. https://fis-db.dshs-koeln.de/ws/portalfiles/portal/5558741/Abstractband_asp2020_Salzburg.pdf
- Reinhard, M. L., Mann, D. L., & Höner, O. (2025). The role of generic cognitive skills: An empirical investigation into the association between generic and sport-specific cognitive skills and playing level in youth football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 28(7), 587–593. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2025.01.010>
- Renshaw, I., Davids, K., Araújo, D., Lucas, A., Roberts, W. M., Newcombe, D. J., & Franks, B. (2019). Evaluating Weaknesses of “Perceptual-Cognitive Training” and “Brain Training” Methods in Sport: An Ecological Dynamics Critique. *Frontiers in Psychology*, 9, 2468. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02468>
- Ridderinkhof, K. R., & van der Molen, M. W. (1995). A Psychophysiological Analysis of Developmental Differences in the Ability to Resist Interference. *Child Development*, 66(4), 1040–1056. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1995.tb00921.x>
- Ridderinkhof, K. R., Wylie, S. A., van den Wildenberg, W. P. M., Bashore Jr, T. R., & van der Molen, M. W. (2021). The arrow of time: Advancing insights into action control from

- the arrow version of the Eriksen flanker task. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 83, 700–721. <https://doi.org/10.3758/s13414-020-02167-z>
- Roberts, A. H., Greenwood, D. A., Stanley, M., Humberstone, C., Iredale, F., & Raynor, A. (2019). Coach knowledge in talent identification: A systematic review and meta-synthesis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(10), 1163–1172. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.05.008>
- Roca, A., Ford, P. R., McRobert, A. P., & Williams, A. M. (2011). Identifying the processes underpinning anticipation and decision-making in a dynamic time-constrained task. *Cognitive processing*, 12, 301–310. <https://doi.org/10.1007/s10339-011-0392-1>
- Roca, A., Ford, P. R., McRobert, A. P., & Williams, A. M. (2013). Perceptual-Cognitive Skills and Their Interaction as a Function of Task Constraints in Soccer. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 35(2), 144–155. <https://doi.org/10.1123/jsep.35.2.144>
- Roca, A., Williams, A. M., & Ford, P. R. (2012). Developmental activities and the acquisition of superior anticipation and decision making in soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1643–1652. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.701761>
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207–231. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.124.2.207>
- Rojas Ferrer, C. D., Shishido, H., Kitahara, I., & Kameda, Y. (2020). Read-the-game: System for skill-based visual exploratory activity assessment with a full body virtual reality soccer simulation. *PLoS ONE*, 15(3), e0230042. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230042>
- Romeas, T., Goujat, M., Faubert, J., & Labbé, D. (2025). No transfer of 3D-Multiple Object Tracking training on game performance in soccer: A follow-up study. *Psychology of Sport and Exercise*, 76, 102770. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2024.102770>
- Romeas, T., Guldner, A., & Faubert, J. (2016). 3D-Multiple Object Tracking training task improves passing decision-making accuracy in soccer players. *Psychology of Sport and Exercise*, 27, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2015.06.002>
- Saal, C., & Fiedler, H. (2014). *An approach for classification footbonaut performance by using support vector machines* [Poster Beitrag]. 10. Symposium der dvs Sektion Sportinformatik, Wien.
- Sabarit, A., Reigal, R. E., Morillo-Baro, J. P., Juárez-Ruiz, R., Franquelo, A., Hernández-Mendo, A., Falcó, C., & Morales-Sánchez, V. (2020). Cognitive Functioning, Physical Fitness, and Game Performance in a Sample of Adolescent Soccer Players. *Sustainability*, 12(13), 5245. <https://doi.org/10.3390/su12135245>
- Sahakian, B. J., Morris, R. G., Evenden, J. L., Heald, A., Levy, R., Philpot, M., & Robbins, T. (1988). A comparative study of visuospatial memory and learning in Alzheimer-type dementia and Parkinson's disease. *Brain*, 111(3), 695–718. <https://doi.org/10.1093/brain/111.3.695>
- Sakamoto, S., Takeuchi, H., Ihara, N., Ligao, B., & Suzukawa, K. (2018). Possible requirement of executive functions for high performance in soccer. *PLoS ONE*, 13(8), e0201871. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201871>
- Sala, G., Aksayli, N. D., Tatlidil, K. S., Tatsumi, T., Gondo, Y., & Gobet, F. (2019). Near and Far Transfer in Cognitive Training: A Second-Order Meta-Analysis. *Collabra: Psychology*, 5(1), 18. <https://doi.org/10.1525/collabra.203>

- Savelsbergh, G. J. P. (2017). *Football IntelliGym Efficacy Analysis: PSV Eindhoven and AZ Alkmaar Football Academies*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.268696>
- Scharfen, H.-E., & Memmert, D. (2019a). Measurement of cognitive functions in experts and elite athletes: A meta-analytic review. *Applied Cognitive Psychology*, *33*(5), 843–860. <https://doi.org/10.1002/acp.3526>
- Scharfen, H.-E., & Memmert, D. (2019b). The Relationship Between Cognitive Functions and Sport-Specific Motor Skills in Elite Youth Soccer Players. *Frontiers in Psychology*, *10*, 817. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00817>
- Scharfen, H.-E., & Memmert, D. (2021). Fundamental relationships of executive functions and physiological abilities with game intelligence, game time and injuries in elite soccer players. *Applied Cognitive Psychology*, *35*(6), 1535–1546. <https://doi.org/10.1002/acp.3886>
- Scharfen, J., Peters, J. M., & Holling, H. (2018). Retest effects in cognitive ability tests: A meta-analysis. *Intelligence*, *67*, 44–66. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2018.01.003>
- Schatz, P., Ybarra, V., & Leitner, D. (2015). Validating the Accuracy of Reaction Time Assessment on Computer-Based Tablet Devices. *Assessment*, *22*(4), 405–410. <https://doi.org/10.1177/1073191114566622>
- Schilling, K. (2022). Gründung eines Spin-offs. In *Forschen – Patentieren – Lizenzieren: Aus der Wissenschaft über Patentschutz bis zur Spin-off-Gründung* (2. Aufl., S. 355–381). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64400-3_12
- Schinke, R., Wylleman, P., Henriksen, K., Si, G., Wagstaff, C. R. D., Zhang, L., Tshepang, T., Noce, F., & Li, Y. (2024). International Society of Sport Psychology position stand: Scientist practitioners. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, *22*(1), 1–23. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2023.2174681>
- Schlicht, W. (2009). Sportpsychologie – Eine Standortsuche. In W. Schlicht & B. Strauß (Hrsg.), *Grundlagen der Sportpsychologie* (Bd. 1, S. 1–32). Hogrefe.
- Schmid, J., Birrer, D., Kaiser, U., & Seiler, R. (2010). Psychometrische Eigenschaften einer deutschsprachigen Adaptation des Test of Performance Strategies (TOPS). *Zeitschrift für Sportpsychologie*, *17*(2), 50–62. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000008>
- Schmidt-Atzert, L., & Brickenkamp, R. (2017). *Elektronische Fassung des Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest d2-R*. Hogrefe. www.testzentrale.de/shop/elektronische-fassung-des-aufmerksamkeits-und-konzentrationstests.html
- Schuhfried. (o. D.-a). *Das Wiener Testsystem im Sport*. Abgerufen 18. Juni 2025, von <https://www.schuhfried.com/tests/eignungsdiagnostik/schuhfried-selection-talente-im-sport/>
- Schuhfried. (o. D.-b). *Über das Wiener Testsystem*. Abgerufen 18. Juni 2025, von <https://www.schuhfried.com/wiener-testsystem/ueber-das-wiener-testsystem/>
- Schuhfried. (o. D.-c). *Wiener Testsystem offline*. Abgerufen 18. Juni 2025, von <https://marketplace.schuhfried.com/de/wts-offline>
- Schuhfried GmbH. (2021). *Cognitrone (COG): Test Manual*.
- Schüler, J., Wegner, M., & Plessner, H. (2020). *Sportpsychologie*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56802-6>

- Schumacher, N., Schmidt, M., Wellmann, K., & Braumann, K.-M. (2018). General perceptual-cognitive abilities: Age and position in soccer. *PLoS ONE*, *13*(8), e0202627. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202627>
- Schumacher, N., Zaar, C., Kovar, J., Lahmann-Lammert, L., & Wollesen, B. (2024). Relation of general-perceptual cognitive abilities and sport-specific performance of young competitive soccer players. *European Journal of Sport Science*, *24*(9), 1270–1777. <https://doi.org/10.1002/ejsc.12171>
- Schütz-Bosbach, S., & Prinz, W. (2007). Perceptual resonance: Action-induced modulation of perception. *Trends in cognitive sciences*, *11*(8), 349–355. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.06.005>
- Schwab, S., & Memmert, D. (2024). SoccerBot360. In D. Memmert (Hrsg.), *Sporttechnologie* (1. Aufl., S. 123–130). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-662-68128-2_12
- Schweizer, G., & Furley, P. (2016a). Die Vertrauenskrise empirischer Forschung in der Psychologie. Ausgewählte Ursachen und exemplarische Lösungsvorschläge für die sportpsychologische Forschung. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, *23*(3), 77–83. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000171>
- Schweizer, G., & Furley, P. (2016b). Reproducible research in sport and exercise psychology: The role of sample sizes. *Psychology of Sport and Exercise*, *23*, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2015.11.005>
- Schweizer, G., Furley, P., Rost, N., & Barth, K. (2020). Reliable measurement in sport psychology: The case of performance outcome measures. *Psychology of Sport and Exercise*, *48*, 101663. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101663>
- Searle, J. R. (1990). Is the Brain's Mind a Computer Program? *Scientific American*, *262*(1), 25–31. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0190-26>
- Seidel-Marzi, O., Amatriain-Fernández, S., & Cañal-Bruland, R. (2025). Are core executive functions predictive of decisionmaking in sport? A scoping review. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2025.2454949>
- Seidel-Marzi, O., & Ragert, P. (2020). Neurodiagnostics in Sports: Investigating the Athlete's Brain to Augment Performance and Sport-Specific Skills. *Frontiers in Human Neuroscience*, *14*, 133. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00133>
- Sieghartsleitner, R., Zuber, C., Zibung, M., & Conzelmann, A. (2019). Science or Coaches' Eye? – Both! Beneficial Collaboration of Multidimensional Measurements and Coach Assessments for Efficient Talent Selection in Elite Youth Football. *Journal of Sports Science and Medicine*, *18*(1), 32–43.
- Silva, A. F., Conte, D., & Clemente, F. M. (2020). Decision-Making in Youth Team-Sports Players: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(11), 3803. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113803>
- Simon, H. A., & Chase, W. G. (1973). Skill in chess. *American Scientist*, *61*(4), 394–403.
- Simons, D. J., Boot, W. R., Charness, N., Gathercole, S. E., Charbis, C. F., Hambrick, D. Z., & Stine-Morrow, E. A. L. (2016). Do “Brain-Training” Programs Work? *Psychological Science in the Public Interest*, *17*(3), 103–186. <https://doi.org/10.1177/152910061666619>
- Singer, R. N. (1988). Psychological testing: What value to coaches and athletes? *International Journal of Sport Psychology*, *19*, 87–106.

- Sky Sports News. (2023, August 30). *How PSV are using brain testing to find elite talent*. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=oKn26TYp3v4>
- Smith, M. R., Zeuwts, L., Lenoir, M., Hens, N., De Jong, L. M. S., & Coutts, A. J. (2016). Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. *Journal of Sports Sciences*, *34*(14), 1297–1304. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1156241>
- Smith, R. E. (1989). Applied sport psychology in an age of accountability. *Journal of Applied Sport Psychology*, *1*(2), 166–180. <https://doi.org/10.1080/10413208908406413>
- Söhnlein, K., & Borgmann, S. (2018). Diagnostik von Exekutivfunktionen im Fußball. In R. Lanwehr & J. Mayer (Hrsg.), *People Analytics im Profifußball: Implikationen für die Wirtschaft* (Bde. 23–57). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21256-8_3
- Song, F., Hooper, L., & Koke, Y. K. (2013). Publication bias: What is it? How do we measure it? How do we avoid it? *Open Access Journal of Clinical Trials*, *5*, 71–81. <https://doi.org/10.2147/OAJCT.S34419>
- Starkes, J. L., & Deakin, J. (1984). Perception in sport. A cognitive approach to skilled performance. In W. F. Straub & J. M. Williams (Hrsg.), *Cognitive Sport Psychology* (S. 115–128). Sport Science Associated Lansing.
- Staufenbiel, K., Liesenfeld, M., & Lobinger, B. (2019). Konzeptionelles Rahmenmodell der Angewandten Sportpsychologie: Eine Einführung. In K. Staufenbiel, M. Liesenfeld, & B. Lobinger (Hrsg.), *Angewandte Sportpsychologie für den Leistungssport* (1. Aufl., S. 15–29). Hogrefe. <http://doi.org/10.1026/02874-000>
- Stokes, D. E. (1997). *Pasteur's Quadrant. Basic Science and Technological Innovation*. Brookings Institution Press.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, L. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine*, *35*, 501–536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>
- Stratton, G., Reilly, T., Williams, A. M., & Richardson, D. (2004). *Youth Soccer. From science to performance* (1. Aufl.). Routledge.
- Straub, W. F., & Williams, J. M. (1984). Cognitive Sport Psychology: Historical, Contemporary, and Future Perspectives. In W. F. Straub & J. M. Williams (Hrsg.), *Cognitive Sport Psychology*. Sport Science Associated Lansing.
- Strauss, E., Sherman, E. M., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary* (3. Aufl.). Oxford University Press.
- Szwarc, A., Dolański, B., & Wasielewski, K. (2021). Relationship between psychomotor skills and game performance in youth soccer players. *Journal of Physical Education and Sport*, *21*(4), 1744–1750. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.04221>
- Tabachnik, B. G. & Fidell, L. S. (2019). *Using Multivariate Statistics* (7. Aufl.). Pearson.
- Takeuchi, H., & Nonaka, I. (1986). The new new product development game. *Harvard Business Review*, *64*(1), 137–146.
- Teoldo, I., Dambroz, F., & González-Víllora, S. (2024). Exploring the effects of physical fatigue on cognitive performance of youth soccer players. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, *22*(1), 290–305. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2022.2134437>
- Teoldo, I., Guilherme, J., & Garganta, J. (2021). *Football Intelligence. Training and Tactics for Soccer Success*. (1. Aufl.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003223375>

- Thiele, F. (2023). Blut, Schweiß und Brain. *11 Freunde*. <https://www.11freunde.de/welt-des-fussballs/az-alkmaar-blut-schweiss-und-brain-a-6b0a494f-0004-0001-0000-000008208844>
- Tietjens, M., Möller, J., & Pohlmann, B. (2005). Zum Zusammenhang von Leistungen und Selbstkonzepten in verschiedenen Sportarten. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, *12*(4), 135–143. <https://doi.org/10.1026/1612-5010.12.4.135>
- Travassos, B., Araújo, D., Davids, K., O’Hara, K., Leitão, J., & Cortinhas, A. (2013). Expertise effects on decision-making in sport are constrained by requisite response behaviours – A meta-analysis. *Psychology of Sport and Exercise*, *14*(2), 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2012.11.002>
- Turner, M., Ishihara, T., Beranek, P., Turner, K., Fransen, J., Born, P., & Cruickshank, T. (2022). Investigating the role of age and maturation on the association between tennis experience and cognitive function in junior beginner to intermediate-level tennis players. *International Journal of Sports Science and Coaching*, *17*(5), 1071–1078. <https://doi.org/10.1177/174795412111055841>
- Umbrella Software Development. (o. D.). *SoccerBot360: Diagnostik*. Abgerufen 18. Juni 2025, von <https://www.soccerbot360.de/diagnostik/>
- Universität Bern. (o. D.). *Doktoratsprogramm „Problemorientierte Sportwissenschaft“*. Abgerufen 27. Juni 2025, von https://www.ispw.unibe.ch/unibe/portal/fak_humanwis/philhum_institute/inst_sport/content/e40129/e40140/e663597/e928225/e928228/PositionspapierzurPhilosophiedesDoktoratsprogramm_ger.pdf
- Unnithan, V., White, J., Georgiou, A., Iga, J., & Drust, B. (2012). Talent identification in youth soccer. *Journal of Sports Sciences*, *30*(15), 1719–1726. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.731515>
- Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A. M., Mazyn, L., & Philippaerts, R. M. (2007). The Effects of Task Constraints on Visual Search Behavior and Decision-Making Skill in Youth Soccer Players. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *29*(2), 147–169. <https://doi.org/10.1123/jsep.29.2.147>
- Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A. M., & Philippaerts, R. M. (2008). Talent Identification and Development Programmes in Sport: Current Models and Future Directions. *Sports Medicine*, *38*(9), 703–714. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838090-00001>
- van Maarseveen, M. J., Oudejans, R. R. D., Mann, D. L., & Savelsbergh, G. J. P. (2018). Perceptual-cognitive skill and the in situ performance of soccer players. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *71*(2), 455–470. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.12552>
- Van Schoyck, S. R., & Grasha, A. (1981). Attentional Style Variations and Athletic Ability: The Advantages of a Sports-specific Test. *Journal of Sport Psychology*, *3*(2), 149–165. <https://doi.org/10.1123/jsp.3.2.149>
- Vanek, M., & Cratty, B. J. (1970). Assessing the Athlete Through Field Tests. In *Psychology and the Superior Athlete*. Collier-Macmillan.
- Vänttinen, T., Blomqvist, M., Luhtanen, P., & Häkkinen, K. (2010). Effects of Age and Soccer Expertise on General Tests of Perceptual and Motor Performance among Adolescent Soccer Players. *Perceptual and Motor Skills*, *110*(3), 675–692. <https://doi.org/10.2466/pms.110.3.675-69>

- Verbruggen, F., Liefvooghe, B., & Vandierendonck, A. (2004). The interaction between stop signal inhibition and distractor interference in the flanker and Stroop task. *Acta Psychologica, 116*(1), 21–37. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.12.011>
- Verburgh, L., Scherder, E. J. A., van Lange, P. A. M., & Oosterlaan, J. (2014). Executive Functioning in Highly Talented Soccer Players. *PLoS ONE, 9*(3), e91254. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091254>
- Verburgh, L., Scherder, E. J. A., Van Lange, P. A. M., & Oosterlaan, J. (2016). Do Elite and Amateur Soccer Players Outperform Non-Athletes on Neurocognitive Functioning? A Study Among 8-12 Year Old Children. *PLoS ONE, 11*(12), e0165741. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165741>
- Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive Functions Predict the Success of Top-Soccer Players. *PLoS ONE, 7*(4), e34731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034731>
- Vestberg, T., Jafari, R., Almeida, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2020). Level of play and coach-rated game intelligence are related to performance on design fluency in elite soccer players. *Scientific Reports, 10*, 9852. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66180-w>
- Vestberg, T., Reinebo, G., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2017). Core executive functions are associated with success in young elite soccer players. *PLoS ONE, 12*(2), e0170845. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170845>
- Vilar, L., Araújo, D., Davids, K., & Button, C. (2012). The Role of Ecological Dynamics in Analysing Performance in Team Sports. *Sports Medicine, 42*(1), 1–10. <https://doi.org/10.2165/11596520-000000000-00000>
- Vilar, L., Araújo, D., Davids, K., & Renshaw, I. (2012). The need for ‘representative task design’ in evaluating efficacy of skills tests in sport: A comment on Russell, Benton and Kingsley (2010). *Journal of Sports Sciences, 30*(16), 1727–1730. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.679674>
- Voss, M. W., Kramer, A. F., Basak, C., Prakash, R. S., & Roberts, B. (2010). Are expert athletes ‘expert’ in the cognitive laboratory? A meta-analytic review of cognition and sport expertise. *Applied Cognitive Psychology, 24*(6), 812–826. <https://doi.org/10.1002/acp.1588>
- Wachsmuth, S., Feichtinger, P., Bartley, J., & Höner, O. (2024). Psychological characteristics and future success: A prospective study examining youth soccer players at different stages within the German talent development pathway. *Journal of Applied Sport Psychology, 36*(2), 276–300. <https://doi.org/10.1080/10413200.2023.2224868>
- Wallace, J. L., & Norton, K. I. (2014). Evolution of World Cup soccer final games 1966–2010: Game structure, speed and play patterns. *Journal of Science and Medicine in Sport, 17*(2), 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.03.016>
- Walton, C. C., Keegan, R. J., Martin, M., & Hallock, H. (2018). The Potential Role for Cognitive Training in Sport: More Research Needed. *Frontiers in Psychology, 9*, 1121. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01121>
- Ward, P., Ericsson, K. A., & Williams, A. M. (2013). Complex Perceptual-Cognitive Expertise in a Simulated Task Environment. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making, 7*(3), 231–254. <https://doi.org/10.1177/1555343412461254>

- Ward, P., & Williams, A. M. (2003). Perceptual and Cognitive Skill Development in Soccer: The Multidimensional Nature of Expert Performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 25*(1), 93–111. <https://doi.org/10.1123/jsep.25.1.93>
- Watson, J. B. (1998). *Behaviorism* (1. Aufl.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351314329>
- Wattie, N., Schorer, J., & Baker, J. (2015). The Relative Age Effect in Sport: A Developmental Systems Model. *Sports Medicine, 45*, 83–94. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0248-9>
- Weakley, J., Black, G., McLaren, S., Scantlebury, S., Suchomel, T. J., McMahon, E., Watts, D., & Read, D. B. (2024). Testing and Profiling Athletes: Recommendations for Test Selection, Implementation, and Maximizing Information. *Strength and Conditioning Journal, 46*(2), 159–179. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000784>
- Wechsler, D. (2014). *Wechsler Intelligence Scale for Children – Fifth Edition (WISC-V)*. Pearson.
- DWDL.de (2021). Fernsehzuschauer der Spiele der deutschen Nationalmannschaft bei der Fußball-Europameisterschaft 2021 (in Millionen). In *Statista*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/232743/umfrage/tvquoten-der-spiele-der-deutschen-nationalmannschaft-beider-em/>
- Wein, H. (2004). *Entwicklung der Spielintelligenz im Fußball* (P. Schreiner, Hrsg.; 1. Aufl.). Carolus-Sportverlag.
- Wilcox, R. (2011). *Introduction to Robust Estimation and Hypothesis Testing* (3. Aufl.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-67044-1>
- Wilke, J., Vogel, O., & Ungricht, S. (2020). Traditional Neuropsychological Testing Does Not Predict Motor-Cognitive Test Performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(20), 7393. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207393>
- Williams, A. M., & Davids, K. (1998). Visual search strategy, selective attention, and expertise in soccer. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 69*(2), 111–128. <https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607677>
- Williams, A. M., Davids, K., Burwitz, L., & Williams, J. G. (1994). Visual search strategies in experienced and inexperienced soccer players. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 65*(2), 127–135. <https://doi.org/10.1080/02701367.1994.10607607>
- Williams, A. M., & Ericsson, K. A. (2005). Perceptual-cognitive expertise in sport: Some considerations when applying the expert performance approach. *Human Movement Science, 24*(3), 283–307. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2005.06.002>
- Williams, A. M., & Ford, P. R. (2008). Expertise and expert performance in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology, 1*(1), 4–18. <https://doi.org/10.1080/17509840701836867>
- Williams, A. M., Ford, P. R., & Drust, B. (2020). Talent identification and development in soccer since the millennium. *Journal of Sports Sciences, 38*(11–12), 1199–1210. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1766647>
- Williams, A. M., Ford, P. R., Eccles, D. W., & Ward, P. (2011). Perceptual-Cognitive Expertise in Sport and its Acquisition: Implications for Applied Cognitive Psychology. *Applied Cognitive Psychology, 25*(3), 432–442. <https://doi.org/10.1002/acp.1710>
- Williams, A. M., & Grant, A. (1999). Training perceptual skill in sport. *International Journal of Sport Psychology, 30*, 194–220.

- Williams, A. M., & Jackson, R. C. (2019). Anticipation in sport: Fifty years on, what have we learned and what research still needs to be undertaken? *Psychology of Sport and Exercise*, *42*, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.11.014>
- Williams, J. M. (1995). Applied sport psychology: Goals, issues, and challenges. *Journal of Applied Sport Psychology*, *7*(1), 81–91. <https://doi.org/10.1080/10413209508406302>
- Willimczik, K. (2003). *Forschungsprogramme und Theoriebildung in der Sportwissenschaft (Sportwissenschaft interdisziplinär – ein wissenschaftstheoretischer Dialog)* (Bd. 2). Czwalina.
- Willimczik, K. (2025). *Spätlese (Sportwissenschaft interdisziplinär)* (Bd. 5). Feldhaus.
- Wirth, M., Gradl, S., Poimann, D., Schaeffe, H., Matlok, S., Koerger, H., & Eskofier, B. (2018). Assessment of perceptual-cognitive abilities among athletes in virtual environments: Exploring interaction concepts for soccer players. *DIS 2018: Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference*, 1013–1023. <https://doi.org/10.1145/3196709.3196780>
- WISS – das Netzwerk für Innovation im Deutschen Spitzensport. (o. D.). *Wiko-Netzwerk*. <https://wiss-netz.de/startseite/wiko-netzwerk>
- Wolf, S. A., Steiner, S., Jokuschies, N., & Hesselmann, T. (2020). Zusammen sind wir stärker. Ein Aufruf zur Integration von Forschung und Praxis in der Sportpsychologie. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, *27*(4), 139–152. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000301>
- Wood, G., Wright, D. J., Pal, A., Franklin, Z. C., & Vine, S. J. (2021). Testing the construct validity of a soccer-specific virtual reality simulator using novice, academy, and professional soccer players. *Virtual Reality*, *25*, 43–51. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00441-x>
- Woods, C. T., McKeown, I., Rothwell, M., Araújo, D., Robertson, S., & Davids, K. (2020). Sport Practitioners as Sport Ecology Designers: How Ecological Dynamics Has Progressively Changed Perceptions of Skill “Acquisition” in the Sporting Habitat. *Frontiers in Psychology*, *11*, 654. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00654>
- Wunsch, K., Pixa, N. H., & Utesch, K. (2023). Open Science in German Sport Psychology. State of the Art and Future Directions. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, *30*(4), 156–166. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000406>
- Würth, S., Hofer, A., & Amesberger, G. (2018). Zur Diskussion des CHC-Modells im Kontext des Leistungssports. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, *25*(1), 1–20. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000225>
- Zelazo, P. D., & Müller, U. (2002). Executive Function in Typical and Atypical Development. In U. Goswami (Hrsg.), *Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development* (S. 445–469). Blackwell Publishers Ltd. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9780470996652>
- Zentgraf, K., Heppel, H., & Fleddermann, M.-T. (2017). Training in interactive sports. *German Journal of Exercise and Sport Research*, *47*, 2–14. <https://doi.org/10.1007/s12662-017-0441-8>
- Zentgraf, K., & Munzert, J. (2014). *Kognitives Training im Sport* (Bd. 8). Hogrefe.
- Zhu, W. (2012). Measurement practice in sport and exercise psychology. A historical, comparative and psychometric view. In G. Tenenbaum, R. C. Eklund & Kamata, A. (Hrsg.), *Measurement in sport and exercise psychology* (S. 9-21). Human Kinetics.

- Ziemainz, H., Neumann, G., Rasche, F., & Stemmler, M. (2006). Zum Einsatz sportpsychologischer Diagnostik in der Praxis des Leistungssports. Eine Befragung der Sportpsychologen der BISP-Sportpsychologie Expertendatenbank. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 13(2), 53–59. <https://doi.org/10.1026/1612-5010.13.2.53>
- Zorowitz, S., & Niv, Y. (2023). Improving the Reliability of Cognitive Task Measures: A Narrative Review. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 8(8), 289–797. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2023.02.004>

Anhang

Anhang A: Übersicht der von Anshel (1987) und Ostrow (1996) dargestellten Verfahren mit Bezug zu kognitiven Leistungsfaktoren	197
Anhang B: Vorträge von Teilergebnissen der Dissertation auf wissenschaftlichen Kongressen	198
Appendix C: Supplementary Material zum Beitrag 2	200
Appendix D: Supplementary Material zum Beitrag 3	238
Appendix E: Supplementary Material zum Beitrag 4	245
Appendix F: Supplementary Material zum Beitrag 5	252
Anhang G. Klassifikation der Diagnostikverfahren nach TBS-DTK	270
Anhang H. Übersicht der Boxplots und Balkendiagramme für die Leistungen pro Altersklasse der in Beitrag 2 und 5 eingesetzten Diagnostiken	271
Anhang I: Boxplots (Leistungslevel, Altersklasse) mit individuellen Werten für Determinationstest, NeurOlympics und 360°-Videoentscheidungstest	273

Anhang A: Übersicht der von Anshel (1987) und Ostrow (1996) dargestellten Verfahren mit Bezug zu kognitiven Funktionen

Tab. 13. Übersicht der von Anshel (1987) und Ostrow (1996) dargestellten Verfahren mit Bezug zu kognitiven Funktionen

Bereich	Generisch	SA/VB? ⁺	Spezifisch	SA/VB? ⁺
Aufmerksamkeit	Test of Attentional and Interpersonal Style (TAIS; Nideffer, 1976)	SA	Baseball Test of Attentional and Interpersonal Style (B-TAIS; Albrecht & Felt, 1987)*	SA
			Rifley Attention Questionnaire (RAQ; Etzel, 1979)	SA
			Tennis Test of Attentional and Interpersonal Style (T-TAIS; van Schoyck & Grasha, 1981)*	SA
			Test of Soccer Attentional Style (TSAS; Fisher & Taylor, 1980)*	SA
			The Basketball Concentration Survey (BSC; Bergandi et al., 1990)*	SA
Kognitive Strategien / Kognitiver Stil	Self-Regulation Questionnaire (SRQ; Anshel, 1995)	SA	Associative/Dissociative Scales for Triathlon Athletes (ADSTA; Bakker et al., 1993)	SA
			Cognitive Activity During Competition (CADC; Cooley, 1987)	SA
	Self-Statement Questionnaire (SSQ; Larsson & Anderzen, 1987)	SA	Cognitive Style in Sport Inventory (CSSI; Anshel & Williams, 1992)	SA
			Diving Questionnaire (DQ; Highlen & Bennet, 1983)	SA
	Matching Familiar Figures Test (Kagan et al., 1964)	VB	Mental Attributes of Performance in Sport Scale (MAPS; Evans & Madden, 1993)	SA
			Psychological Preparation in Wrestling Questionnaire (Gould et al, 1981)	SA
	Group Embedded Figures Test (Witkin et al., 1971)	VB	Reactions to Mistakes During Competition Scale (RMDC; Frost & Henderson, 1991)	SA
			Running Styles Questionnaire (RSQ; Silva & Appelbaum, 1983)	SA
	Modified Hill Cognitive Style Profile (Anshel & Ortiz, 1986)	SA	Sport Cognitive Interference Questionnaire (SCIQ; Schwenkmezger & Laux, 1986)	SA
			Sport-Specific Task-Irrelevant Cognitions Scale (SSTICS; Man et al., 1995)	SA
Sports Inventory for Pain (SIP; Meyers et al., 1992)			SA	
			Thoughts during Running Scale (TDRS; Goode & Roth, 1993)	SA
			[without name] an inventory measuring mental techniques in preparation of athletes prior to competition (Mahoney & Avenier, 1977)	SA

⁺ SA = Selbstauskunftsverfahren, VB = Verhaltensbezogene Verfahren. * Verfahren basiert auf dem generischen Test of Attentional and Interpersonal Style (TAIS; Nideffer, 1976).

Anhang B: Vorträge von Teilergebnissen der Dissertation auf wissenschaftlichen Kongressen

Neben den wissenschaftlichen Beiträgen in Form von veröffentlichten (*Beitrag 1, Beitrag 3, Beitrag 5*), in Revision befindenden (*Beitrag 2*) sowie eingereichten (*Beitrag 4*) Manuskripten wurden Teilergebnisse dieser Dissertation in den vergangenen Jahren auf den Jahrestagungen der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie (2020, 2022, 2023), dem World Congress of Science and Football (2023) sowie der Tagung der FEPSAC (2024) vorgestellt.

Vorträge im Rahmen wissenschaftlicher Kongresse (chronologisch sortiert)

Reinhard, M.L., Brinkmann, D., Lever, B. & Höner, O. (2024, 15. – 19.07.). General cognitive skills, sport-specific decision-making, and in-situ observations: Is elite youth soccer players' performance in NeurOlympics associated to soccer-specific decision-making? In Center of Mental Excellence GmbH & FEPSAC (Hrsg.). *Performance under pressure in sports, military/police, performing arts, medicine, business and daily life. 17th FEPSAC Congress* (S. 59). Innsbruck, Österreich. <https://fepsac2024.eu/assets/images/FEPSAC%20CONGRESS%202024%20FINAL%20Abstractbook.pdf>

Reinhard, M.L. (2024, 15. – 19.07.). Research-Practice Bridge? Opportunities and challenges of a scientist-practitioner-model from the perspective of an early-career sport psychologist. In Center of Mental Excellence GmbH & FEPSAC (Hrsg.). *Performance under pressure in sports, military/police, performing arts, medicine, business and daily life. 17th FEPSAC Congress* (S. 937). Innsbruck, Österreich. <https://fepsac2024.eu/assets/images/FEPSAC%20CONGRESS%202024%20FINAL%20Abstractbook.pdf>

Reinhard, M.L., Vochatzer, V. & Höner, O. (2023, 24. – 26.05.). Link between and discriminative power of domain-specific and generic cognition in youth football. *Enhance Performance, Engage Society. World Congress on Science and Football Groningen* (S. 166). Groningen, Niederlande. https://fis-db.dshs-koeln.de/ws/portalfiles/portal/16182984/WCoF_Groningen_2023.pdf

Reinhard, M.L., Teufel, D., Vochatzer, V., Brinkmann, D. & Höner, O. (2023, 18. – 20.05.). Zusammenhang und Trennschärfe zwischen bereichsspezifischen und generischen kognitiven Diagnostiken im Nachwuchsfußball. In Schott, N., Korbus, H., & Klotzbier, T. (Hrsg.). *Human Performance – Assessment, Intervention & Analysen. 55. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie* (S. 151-152). Stuttgart. Universität Stuttgart. <https://asp-tagung.de/wp-content/uploads/2023/05/Abstractband-55.-aspTagung-Stuttgart.pdf>

Poimann, D. & **Reinhard, M.L.** (2023, 18. – 20.05.). „Ist das Diagnostik oder kann das weg?“ – Chancen und Herausforderungen psychologischer Diagnostik im Profifußball. In Schott, N., Korbus, H., & Klotzbier, T. (Hrsg.). *Human Performance – Assessment, Intervention & Analysen. 55. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie* (S. 153). Stuttgart. Universität Stuttgart. <https://asp-tagung.de/wp-content/uploads/2023/05/Abstractband-55.-aspTagung-Stuttgart.pdf>

Reinhard, M.L., Koppers, S., Herr., C., & Höner, O. (2022, 16.06. – 18.06.). Zusammenhang zwischen motorischen und kognitiven Merkmalen im Nachwuchsfußball. *Ein Gehirn, viel Bewegung – Variabilität und Plastizität über die Lebensspanne. 54. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie*. Münster.

Reinhard, M.L., Knöbel, S., Lautenbach, F., Pelka, M., Gatzmaga, N., Borchert, A., Weigel, P., & Musculus, L. (2020, 21. – 23.05.). Soccerbot360: Entwicklung und Validierung eines fußballspezifischen Instruments zur Erfassung kognitiver Flexibilität im Nachwuchsleistungsfußball. In Amesberger, G., Würth, S., & Finkenzeller, T. (Hrsg.). *Zukunft der Sportpsychologie zwischen Verstehen und Evidenz. 52. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie in Salzburg (virtuelle Online-Tagung)* (S. 57). https://fis-db.dshs-koeln.de/ws/portalfiles/portal/5558741/Abstractband_asp2020_Salzburg.pdf

Appendix C: Supplementary Material zum Beitrag 2

ESM 1. Detailed Information and Description of NeuroOlympics

Readers can take a demo-version of the NeuroOlympics online via <https://neurolympics.nl/>. All tests can be taken on a stationary personal computer, a laptop, or tablet.

In the following, a detailed description of each test and (if applicable) references will be presented.

Test 1: ('Working Memory'):

Description of test. The participant is presented with a 5 x 5 matrix. Test 1 consists of two subtests. In subtest one, the participants are asked to remember the position of blue symbols appearing within the fields of the matrix. The symbols appear for a short duration, after which the participants click on the positions in which they think the symbols appeared. Once, a wrong position has been clicked, the participant can no longer guess the position of other symbols. Distractor symbols (in another color, i.e., yellow) appear either simultaneous or sequential. In subtest two, (a varying number) of blue symbols appear twice. One of the symbols has a change of direction in the second presentation. Participants are asked to identify this symbol. The symbols appear in both presentations simultaneously. The participants use either the mouse (laptop) or touch the screen (tablet) to submit their answer.

Test based on: The test is according to BrainsFirst based on the following articles.

Gold, J. M., Fuller, R. L., Robinson, B. M., McMahon, R. P., Braun, E. L., & Luck, S. J. (2006). Intact attentional control of working memory encoding in schizophrenia. *Journal of abnormal psychology, 115*(4), 658.

Johnson, M. K., McMahon, R. P., Robinson, B. M., Harvey, A. N., Hahn, B., Leonard, C. J., ... & Gold, J. M. (2013). The relationship between working memory capacity and broad measures of cognitive ability in healthy adults and people with schizophrenia. *Neuropsychology, 27*(2), 220.

Kyllingsbæk, S., & Bundesen, C. (2009). Changing change detection: Improving the reliability of measures of visual short-term memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review, 16*(6), 1000-1010.

McNab, F., & Dolan, R. J. (2014). Dissociating distractor-filtering at encoding and during maintenance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 40*(3), 960.

McNab, F., Zeidman, P., Rutledge, R. B., Smittenaar, P., Brown, H. R., Adams, R. A., & Dolan, R. J. (2015). Age-related changes in working memory and the ability to ignore distraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 112*(20), 6515-6518.

Xie, W., Li, H., Ying, X., Zhu, S., Fu, R., Zou, Y., & Cui, Y. (2017). Affective bias in visual working memory is associated with capacity. *Cognition and Emotion, 31*(7), 1345-1360.

Psychometric quality. BrainsFirst reports a test-retest reliability of $r = .90$ in 88 participants being tested twice. The test-retest interval and the characteristics of the sample is not known by the authors of this article.

Test 2: ('Anticipation'):

Description of test. In Test 2 ('Anticipation'), participants are asked to use four cannons (two horizontal, two diagonal) that are either on the bottom left and bottom right if the screen to

shoot on ‘neurons’. These ‘neurons’ fall from six tubes that are at the top of the screen equally distributed and may fall at varying speed and direction. The participants gain points for each successful shot depending on where they hit the target (the earlier they hit, the more points are allocated). For each miss, the participants get points subtracted. After each shot of a cannon, this cannon cannot be used for a short time. Participants use they keyboard (“1” and “q” for left cannons, “0” and “o” for right cannons) or touch the screen to activate the cannons.

Test based on: The test has been custom-made and is not specifically based on previously published work.

Psychometric quality. BrainsFirst reports a test-retest reliability of $r = .81$ in 88 participants being tested twice. The test-retest interval and the characteristics of the sample is not known by the authors of this article.

Test 3: (‘Cognitive Control’):

Description of test. Participants need to react as fast as possible correctly to three ‘neurons’ displayed next to each other. The central ‘neuron’ is displayed slightly higher (closer to the top of the screen) than the others and serves as the indicator ‘neuron’, i.e., that the participants need to identify the neuron that has the same color as the central neuron by either clicking left or right (laptop: keyboard arrow, tablet: displayed neuron)

Test based on: According to BrainsFirst, the first test is based on the following articles.

Isoda, M., & Hikosaka, O. (2007). Switching from automatic to controlled action by monkey medial frontal cortex. *Nature neuroscience*, *10*(2), 240-248.

Neubert, F. X., Mars, R. B., Buch, E. R., Olivier, E., & Rushworth, M. F. (2010). Cortical and subcortical interactions during action reprogramming and their related white matter pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(30), 13240-13245.

Psychometric quality. BrainsFirst reports a test-retest reliability of $r = .83$ in 88 participants being tested twice. The test-retest interval and the characteristics of the sample is not known by the authors of this article.

Test 4: (‘Attention’):

Description of test. Participants need to indicate as fast as possible the direction to which the central of five ‘neurons’ points to, ignoring the irrelevant other four ‘neurons’. The participants answer by clicking the left or right arrow on the keyboard (laptop) or left or right of the central ‘neuron’ on the screen (tablet).

Test based on: According to BrainsFirst, the first test is based on the following articles.

Fan, J., Gu, X., Guise, K. G., Liu, X., Fossella, J., Wang, H., & Posner, M. I. (2009). Testing the behavioral interaction and integration of attentional networks. *Brain and cognition*, *70*(2), 209-220.

Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005). The activation of attentional networks. *Neuroimage*, *26*(2), 471-479.

Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of cognitive neuroscience*, *14*(3), 340-347.

Psychometric quality. BrainsFirst reports a test-retest reliability of $r = .80$ in 88 participants being tested twice. The test-retest interval is not known by the authors of this article.

Cognition score

BrainsFirst additionally reports a Football Intelligence score, to which we refer as cognition score. It is a global measure presented in percentile ranks, compared to 6-months-bins of same aged elite youth football players. BrainsFirst reports a sensitivity of .63 to .90 and a specificity of .66 to .85 in sample of traders, online marketeers, strategy consultants and cyber security with a sample size ranging from 34 to 122. Within the manuscript, we refer to this overall score as the ‘cognition score’.

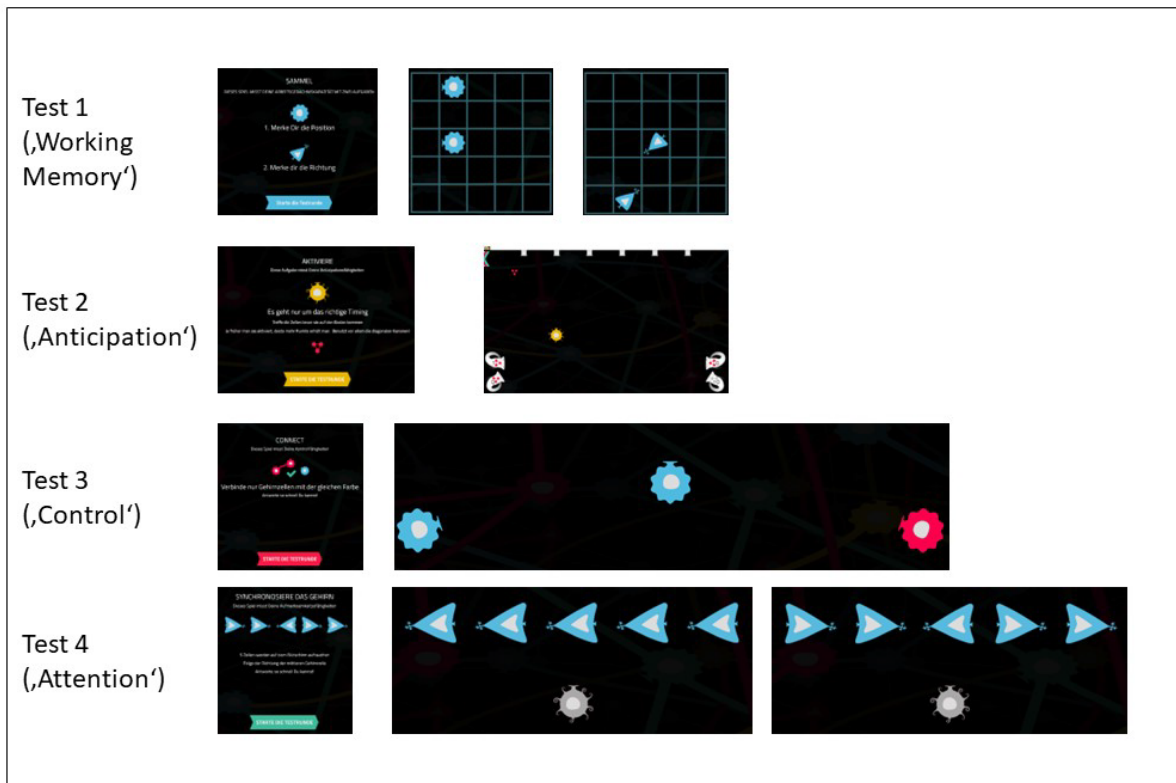


Fig. 15. Screenshots of NeuroOlympics tests stimuli

ESM 2. Detailed information on usage of Game Performance Evaluation Tool

12/2023: Translation and adjustment of GPET user manual; individual usage of user manual for one four-minute sequence of another youth team.

16/12/2023: First trial of simultaneous, independent rating of four-minute sequence (of another team) using GPET user manual; agreement: 77,5%; identifying challenges and problems for rating process.

21/12/2023: adjusted user manual; feedback loops with developer of tool; second trial of simultaneous rating of four-minute sequence using adjusted GPET user manual, agreement: 84,2%.

04/01/2024: one rater rates same four-minute sequence as on 21/12/2023, intra-rater agreement: 91,3%

10/01/2024: final adjustment of GPET user manual based on critical scenes and disagreement, inter-rater agreement: > 90%.

01/2024 and 02/2024: simultaneous, independent rating of 5 (2x4 minute) video clips with two-week interval between rating the competing teams in one clip. (these data were used for this study, see inter-rater reliability in ESM2 Table 1).

Fig. 16. Overview of Rater Training

$$DM_{GPET Pr.} = \frac{n(Sit. = Ap.)}{n(Ap.)} \times 100$$

$DM_{GPET Pr.}$: Accuracy (in %) of applied tactical principle to (required) situation principle.

$$DM_{GPET On ball} = \frac{n(P = 1) + n(D = 1) + n(S = 1)}{n(C = 1)} \times 100$$

$DM_{GPET On ball}$: Accuracy (in %) of decisions as on-ball attacker.

$$DM_{GPET Off ball} = \frac{n(DM = 1)}{n(DM = 1) + n(DM = 0)} \times 100$$

$DM_{GPET Off ball}$: Accuracy of decisions (in %) as off-ball attacker.

$$Success_{GPET} = \left(\frac{(n(P \cap Ex_{On} = 1) + n(D \cap Ex_{On} = 1) + n(S \cap Ex_{On} = 1))}{n(C = 1)} + \frac{n(DM \cap Ex_{Off})}{n(DM = 1 \cup 0)} \right) / 2 \times 100$$

$Success_{GPET}$ = Overall game performance, consisting of successful on-the-ball- and off-the-ball-attacker actions. A successful action is characterized by decision-making = 1 and execution = 1. The overall performance on- and off-the ball are weighted equally.

Fig. 17. Description of the used variables assessed via the GPET

Tab. 14. Inter-Rater Reliability of assessed variables via GPET

Variable	Agreement	Cohens κ	Yules Y	McNemar (p-Wert)	PABAK-OS
Situation Principle	96.5%	0.91			.95
Application Principle	89.2%	0.62			.84
Control	100%	1	-	-	
Passing	90.1%	0.57	0.71	1.000	
Dribbling	81.0%	0.62	0.65	0.105	
Shooting	87.0%	0.48	0.71	0.371	
Decision-Making (on-ball)	88.6%	0.67	0.71	0.440	
Execution (on-ball)	92.9%	0.84	0.85	0.371	
Others	80.1%	0.60	0.60	0.254	
Decision-Making (off-ball)	88.6%	0.50	0.63	0.003**	
Execution (off-ball)	78.8%	0.47	0.52	0.003**	
Total	87.1%				
Total (without others)	90.2%				

Note. The Prevalence and Bias Adjusted Kappa-Ordinal Scale (PABAK-OS) has been calculated via an online calculator (<http://www.singlecaseresearch.org/calculators/pabak-os>) to adjust for uneven distribution and chance distribution. Yules Y has been additionally to Cohens κ calculated as the latter is influenced by the prevalence, especially when it is low. When the McNemar yields significant results, it may be more appropriate to use Yules Y instead (see e.g., Witz & Kutschmann, 2007).

Tab. 15. Frequency of assessed situations via GPET.

Category	Rater 1	Rater 2	M	SD	Min	Max
DMU	727	727	71.9	12.35	55	93
On-ball	580	580	11.60	4.69	5	24
Off-ball	1363	1350	27.13	6.91	12	43
Others	1652	1665	33.19	9.67	15	59
Overall	3595	3595				

Note. See user manual (ESM 3) for detailed information on the difference between off-ball attacker situation and other situation.

ESM 3. GPET user manual (in German)

Note. The user manual is a translated and revisited version of the original manual that was shared by the developer of the tool. For the original user manual and information on the development and validation of the tool, please see García et al. (2013).

García López, L. M., González Villora, S., Gutiérrez, D., & Serra, J. (2013). Development and validation of the Game Performance Evaluation Tool (GPET) in soccer. Sport TK, vol. 2, n° 1 (2013).

Manual Game Performance Evaluation Tool (GPET)

(V5_20240131)

Auszählung und Kategorisierung von Spielprinzipien sowie Spielhandlungen im technischen und taktischen Bereich

Das vorliegende Manual ist eine eigenständige Übersetzung des GPET-Manuals von García-López et al. (2013) sowie des spanischen Original-Manuals von Benjamin Lever & Martin Leo Reinhard, basierend auf Vorarbeiten eines Projekt-Seminars am Institut für Sportwissenschaft der Universität Tübingen. Das Manual wurde für Small-Sided-Games mit zwei Toren entwickelt und ist in der Validierungsstudie für 2 vs. 2 bis 7 vs 7 in der Altersspanne U9 bis U15 angewandt worden (García-López et al., 2013).

Passagen in **blauer Schrift** sind Ergänzungen und Spezifikation des Manuals, die in der Original-Version nicht vorhanden gewesen sind, aber notwendige Ergänzungen für ein konsistentes Rating gewesen sind.

Positionen: Zu Beginn werden die Spieler auf den Positionen Codes zugewiesen und charakteristische Merkmale notiert (Farbe der Schuhe, Haarfarbe, Bewegungsmuster etc.). Wenn zwei Hälften existieren, ist zwingend zu prüfen, ob die Positionen in der zweiten Hälfte der ersten entsprechen.

Hinweise zu Durchführung:

- Es empfiehlt sich, bei mehreren Teams/Videos zunächst ein Team zu raten und mit zeitlichem Abstand (von mehreren Tagen) das gegnerische Team.
- Bei mehreren Altersklassen empfiehlt es sich, auf- und absteigend zu raten, allerdings große Alterssprünge zu vermeiden (bspw. nicht U15 > U11).

Decision-Making Unit (DMU)

- Mit jedem Wechsel der “technisch-taktischen Herausforderung” geht auch ein Wechsel der DMU einher (Beispiel: Spieler bekommt Pass, geht ins Dribbling (1. DMU), nach Dribbling erfolgt ein Pass (2. DMU).
- Maximallänge einer DMU 4 Sekunden (Beispiel 1: Dribbling geht sechs Sekunden = 2 DMUs, Beispiel 2: Spieler steht 8 Sekunden mit Ball = 2 DMUs)
- Für jede DMU Ablauf siehe unten

In jeder DMU werden ausschließlich alle 6 Feldspieler der Mannschaft in Ballbesitz bewertet. Der Torspieler wird nicht bewertet. Wenn ein Torspieler in Ballbesitz ist, dann werden die Feldspieler als off-the-ball attacker bewertet.

Das Video wird zu Beginn einer Decision-Making Unit (DMU) **pausiert**. Der Beginn einer DMU kennzeichnet sich dadurch, dass (a) ein neuer Spieler den Ball erhält & Möglichkeit hat, diesen zu kontrollieren, oder (b) sich die technisch-taktische Herausforderung ändert, oder (c) 4 Sekunden der vorherigen DMU abgelaufen sind. Dann wird nach folgendem Ablauf bewertet:

1. Situation Principle

- a. A1, A2, oder A3; (in Ausnahmefällen zwei Optionen möglich)
- b. Gilt für alle Spieler. Ausnahme: Wenn A3, dann für off-the-ball-attacker = A2.

2. Rating: On-the-ball attacker

- a. Application principle (A1, A2, oder A3)
- b. Control (1 oder 0) - *wenn Control = 0, dann Ende*. Wenn Control = 1, dann:
 - i. Decision-Making (1 oder 0)
 - ii. Execution (1 oder 0)

3. Rating: Off-the-ball attacker (beginnend mit ball-nahen Spielern)

- a. Others (1 oder 0), *wenn Others = 1, dann Ende*. Wenn Others = 0, dann:
 - i. Application principle (A1 oder A2)
 - ii. Decision-Making (1 oder 0)
 - iii. Execution (1 oder 0), *wenn DM = 0, dann auch Execution = 0*

Für eine adäquate Bewertung aller Spieler wird die DMU mehrfach angeschaut.

Es handelt sich bei folgenden Situationen nicht um eine DMU:

- 50/50-Situationen (keine Mannschaft im klaren Ballbesitz)
- Eckbälle, Einkick, Freistoß, Abstoß (jede Art von Standardsituation)
- Wenn der Torwart den Ball in der Hand hält (oder in die Hand nehmen könnte)

Details

Taktisches Problem

Es gibt drei Prinzipien (nach García-López et al (2013) von Bayer (1992) adaptiert)

- In Ballbesitz bleiben (A1)
- Das gegnerische Tor angreifen (A2)
- Tor erzielen (A3)

Generelle Kriterien zur Beurteilung des Situation Principles sind:

1. Da das Hauptziel des Spiels darin besteht, ein Tor zu erzielen (A3), hat dieses Prinzip Vorrang vor den beiden anderen. Wenn ein Spieler in einer guten Position ist, um auf ein Tor zu schießen, sollte er schießen. Wenn er nicht schießen, aber angreifen kann (A2), sollte er dies tun. Und nur wenn er sich in einer Position befindet, in der er nicht schießen oder auf das gegnerische Tor vorrücken kann, sollte er versuchen, Ballbesitz zu halten (A1).
2. Auch die **Position auf dem Spielfeld** spielt eine Rolle:
 - a. Ist der Spieler mit Ballbesitz *nahe am eigenen Tor* mit gleich vielen **oder mehr** Gegenspielern als Mitspieler in der Nähe, wird die Situation als *In Ballbesitz bleiben (A1)* gewertet, da ein *Das gegnerische Tor angreifen (A2)* zu riskant ist (Ballverlust kann zu Torchance der gegnerischen Mannschaft führen).
 - b. Befindet sich dieselbe Spielsituation *näher/nah am gegnerischen Tor*, könnte dies als *Das gegnerische Tor angreifen (A2)* klassifiziert werden, selbst wenn ein gewisses Risiko eines Ballverlustes besteht
3. In **Ausnahmefällen** können Spielsituationen aufgrund ihrer Mehrdeutigkeit zwei oder drei Situation Principles zugeordnet werden.
4. Das **Hauptkriterium** für die Bewertung des Situation Principle ist die Position der Spieler der Mannschaft in Ballbesitz (attacker), und als zweites, die Position der Spieler der verteidigenden gegnerischen Mannschaft.

1.1 Situation Principle: Spezifische Kriterien für die Analyse des Kontexts

Angreifer mit Ball (on-the-ball attacker)

1. In Ballbesitz bleiben (A1). Es gibt keine Möglichkeit, auf das Tor zu schießen und es besteht ein hohes Risiko, den Ball zu verlieren.
 - a. Der Angreifer, der am Ball ist, hat keine Möglichkeit mit dem Ball zu laufen oder zu dribbeln, da der direkte Verteidiger gut positioniert ist. Dazu kommt:
 - es gibt keine freien Mitspieler näher am Tor
 - es gibt Mitspieler, die weiter vorne stehen, diese sind aber gedeckt
 - es gibt einen Mitspieler, der frei näher am Tor steht, der Pass ist aber zu schwierig
2. Das gegnerische Tor angreifen (A2). Es gibt keine Chance auf das Tor zu schießen, aber der Spieler kann angreifen ohne hohe Gefahr den Ball zu verlieren (Risikoeinschätzung nach den generellen Kriterien oben).
 - Wenn ein Mitspieler weiter vorne steht und in einer besseren Position ist, sollte der Angriff mit einem Pass fortgesetzt werden, auch wenn es keine Möglichkeit für einen Torschuss gibt.

- Wenn kein Mitspieler weiter vorne steht und das Laufen mit dem Ball/Dribbeln die beste Angriffsmöglichkeit ist, da kein Verteidiger in der Nähe ist oder dieser sich in keiner guten Position befindet und es trotzdem keine Möglichkeit für einen Torschuss gibt.

3. Tor erzielen (A3). Wann immer sich eine Chance zum Schießen ergibt oder auf das Tor zu köpfen, außer wenn:

- schießen keine geeignete Option ist, da die Entfernung zum Tor groß oder der Winkel zu spitz ist.
- es einen Mitspieler gibt, der besser platziert ist, um auf das Tor zu schießen.
- der Angreifer, der am Ball ist, die Entfernung zum Tor verringern oder den Schusswinkel verbessern kann, um seine Chancen auf einen erfolgreicheren Schuss zu erhöhen, ohne dass dies mit dem Risiko eines Ballverlustes verbunden ist.

Angreifer ohne Ball (off-the-ball attacker)

Hier gilt das gleiche für einen Spieler, der nicht in Ballbesitz ist. Es gibt jedoch nur zwei Kategorien A1 und A2, die im Folgenden erläutert werden.

1. In Ballbesitz bleiben (A1):

- Der Angreifer mit Ball befindet sich in einer Situation, in der er den Ball verlieren kann: Freilaufen, um ballführenden Spieler zu unterstützen
- Er bietet sich hinter den ballführenden Angreifer oder auf gleicher Höhe an (oder vor dem Spieler, ohne direkte Möglichkeit das gegnerische Tor anzugreifen)

2. Das gegnerische Tor angreifen (A2):

- Es gibt freie Räume zwischen Ball und gegnerischem Tor, in die sich der off-the-ball attacker hineinbewegen kann.
- Wenn sich der Ball in der Nähe der Seitenlinie befindet und der off-the-ball attacker sich in einem weiter vom Tor entfernten Raum bewegt, um eine Position zu finden, aus der er schießen (oder den Angriff auf das gegnerische Tor fortführen kann) kann.

1.2 Application Principle:

In der Spalte Application Principle wird beschrieben, nach welchem Prinzip die Spieler handeln.

Angreifer mit Ball (on-the-ball attacker)

1. Den Ballbesitz aufrechterhalten (A1):

- Der Spieler rennt, dribbelt oder passt den Ball, **ohne** dass er oder der Spieler, der den Pass empfängt, **substantiell** näher zum gegnerischen Tor kommt oder in eine Position kommt, von der er schießen kann (z.B. **Querpässe vor dem eigenen Tor**).
- Der Spieler bleibt an einer Stelle stehen (mindestens 4 Sekunden), ohne eine technisch-taktische Aktion zu machen.
- **Der Spieler macht unter Druck einen unkontrollierten Befreiungsschlag (der zwar näher zum gegnerischen Tor geht, aber unkontrolliert aufgrund des Gegnerdrucks geschlagen wurde). Wenn diese Torverhinderung erfolgreich, d.h. der Ball in eine gefahrenfreie Zone geschlagen wurde, dann Execution = 1, unabhängig davon, ob der Ball bei einem Spieler ankommt.**

2. Das gegnerische Tor angreifen (A2):

- Der Spieler platziert den Ball oder ist im Begriff, ihn in eine Position zu bringen, die **substantiell** näher am gegnerischen Tor liegt. Entweder durch einen Pass oder durch das Laufen/Dribbeln.

3. Tor erzielen

- Der Spieler schießt auf das Tor mit der Intention, ein Tor zu erzielen.

Angreifer ohne Ball (off-the-ball attacker)

1. Den Ballbesitz aufrechterhalten (A1)

- Der Spieler bewegt sich in eine Position hinein, welche **(im Vergleich zu seiner Ausgangsposition) näher am eigenen als am gegnerischen Tor ist (die generellen Prinzipien beachten)**

2. Das gegnerische Tor angreifen (A2):

- Der Spieler bewegt sich in eine Position hinein in der er anspielbar ist und a) die näher am gegnerischen Tor ist **(als seine Ausgangsposition oder die des Balls)** oder b) sich in jegliche Position bewegt, um einen Pass zu erhalten für einen Torabschluss oder eine aktive Fortführung des Angriffs auf das gegnerische Tor oder mit einem Täuschungsmanöver den Angriff zu unterstützen.

On-the-ball-attacker: Second Level Coding mit Ball

Control

Coded als 1

- Der Spieler bekommt oder kontrolliert den Ball mit einem oder zwei Füßen (oder anderen erlaubten Körperteilen), um dann weiterzuspielen (Pass, Dribbling, Schuss).
- Wenn der Spieler einen “one-touch”-Pass oder -Schuss spielt, dann Control = 1.

Coded als 0

- Der Spieler kann den Ball nicht kontrollieren und verliert ihn.

Decision Making

In der Spalte Decision-making geht es darum, in welcher Form (Pass, Dribbling, Schuss) der Spieler die Aktion ausgeführt hat und ob die Entscheidung sinnvoll war.

Pass:

Coded als 1

- Passversuch zu einem ungedeckten/freien Mitspieler.
- Wenn die Intention erkennbar wird, durch einen gezielten Pass eine unkontrollierte Klärungsaktion des Gegenspielers zu forcieren, um die Fortsetzung des Spiels durch eine Standardsituation (Eckstoß, Einkick) zu erzielen (z.B. Spieler anschießen).

Coded als 0

- Pass zu einem Mitspieler, der eng verteidigt wird oder bei dem ein Verteidiger leicht in den Passweg laufen kann.
- Pass zu einer Position, in der kein Mitspieler steht.
- Pass zu einem schlechter positionierten Mitspieler, wenn der Spieler den Spielzug mit Dribbling nach vorne in einen freien Raum fortführen kann.

Dribbling:

Coded als 1

- Den Ball “upfield” bringen, ohne dass ein Gegenspieler in der Nähe ist.
- Ordentlicher Richtungswechsel (d.h. außerhalb der Reichweite eines Verteidigers) in eine freie Zone oder Durchbruch durch die Verteidigung.
- Den Körper zwischen Gegner und Ball stellen, um den Ball zu schützen und Raumgewinn zu erzielen.
- Setzt seinen Körper als Schutzschild ein, wenn er keine Möglichkeit hat, weiterzukommen.

Coded als 0

- Charging / Erholen
- Dribbeln, wenn sich ein ungedeckter Mitspieler in einer besseren Position befindet oder ein Torschuss angemessener wäre.
- Ein Spieler, der mit dem Ball am Fuß läuft, wenn ein Gegner in der Nähe ist und dieser eine sehr gute Chance hat, den Ball zu erobern. (Analog zu den allgemeinen Kriterien ist die Position auf dem Spielfeld, ergo die Folgeschwere eines Ballverlustes, bei der Bewertung zu berücksichtigen).
- Ein Spieler, der mit dem Ball am Fuß läuft, wenn ein Gegenspieler in der Nähe ist, ohne den Ball mit dem Körper zu schützen.
- Dribbeln vom Tor weg oder Dribbeln mit dem Ball, ohne nach vorne zu gehen oder die Verteidigung anzugreifen, wenn es klare Möglichkeiten gibt, das gegnerische Tor anzugreifen (A2) (bspw. den Ball durch Dribbling in einen freien Raum oder Pass zu einem besser positionierten Mitspieler näher zum gegnerischen Tor zu befördern; auf Basis des Situation Principle).
- Der Spieler bewegt sich nicht und schützt den Ball nicht mit dem Körper, wenn der Verteidiger ihn bedrängt, und er hat keine Möglichkeit anzugreifen.

Schuss:

Coded als 1:

- Schussversuch aufs Tor aus angemessener Entfernung und ohne (zu) stark von Verteidigern bedrängt zu sein.

Coded als 0:

- Schießt von zu weit draußen.
- Schießt, wenn der Verteidiger ihn unter Druck setzt und dadurch die Erfolgsaussichten stark einschränkt.
- Schießt, obwohl es besser ist, einen Pass zu einem Mitspieler zu spielen, welcher sich in einer besseren Schuss- oder Angriffsposition befindet.

Execution

In der Spalte Execution wird bewertet, ob die Aktion Pass, Dribbling oder Shot erfolgreich war (1) oder nicht erfolgreich war (0).

Pass:

Coded als 1

- Erfolgreicher Pass zum Mitspieler: wenn er steht, auf den Körper; wenn er rennt, in den Lauf.
- Angemessene Geschwindigkeit und Länge
- Wenn der angreifende Spieler in einer schlechten Position unter Druck gesetzt ist und kein anderer Spieler besser (anspielbar) positioniert ist, und infolgedessen gezielt den Gegenspieler "anpasst", um einen Eckball herauszuholen, ist dies als "1" zu werten, wenn Eckball resultiert.

Coded als 0

- Ballverlust
- Pass ist mit zu hoher oder zu niedriger Geschwindigkeit gespielt
- Pass ins Aus
- Pass ist zu weit nach vorne oder in den Rücken des Mitspielers gespielt.

Dribbling:

Coded als 1

- Erfolgreiches Attackieren mit dem Ball (hält den Ball unter Kontrolle)
- Wenn der Spieler beim Dribbling gefoult wird.

Coded als 0

- Verlust der Ballkontrolle
- Verlust des Balls aufgrund einer legalen Aktion des Verteidigers
- Offensivfoul
- Wenn der Gegenspieler den Ball (legal) zu einem Einwurf oder Eckball klärt, ist das Dribbling als 0 zu werten.

Schuss:

Coded als 1

- Schuss auf das Tor, weg vom Torspieler und **weg vom Gegenspieler** und mit guter Geschwindigkeit.

Coded als 0

- Schuss neben das Tor, nicht auf das Tor oder geblockt.
- Schuss aufs Tor, nah am Torspieler oder **nah am Gegenspieler** oder mit schwacher Geschwindigkeit weg vom Torspieler.

Off-the-ball-attacker: Second Level Coding ohne Ball

In der letzten Spalte Off-the-ball-attacker wird der Spieler ohne Ball bewertet. Es wird erneut die 1 für angemessene Entscheidung und die 0 für unpassende Entscheidung vergeben.

Others:

Es gibt Situationen, in denen das Verhalten von off-the-ball attacker nicht geratet werden kann / wird. Situationen sind:

- off-the-ball attacker kann nicht aktiv an Spielsituation teilnehmen (aufgrund der Dauer der DMU und Position, bspw. weit entfernt von Spielsituation)
- Es ist wichtiger, zu verteidigen (eine defensive Position beibehalten, um das Gleichgewicht der Mannschaft zu wahren).
- Es ist wichtiger, einen Verteidiger zu fixieren.
- Es gibt keinen offensichtlichen freien Raum, den man besetzen kann oder **dort könnte man** einen anderen Mitspieler stören.
- Eine Abwesenheit einer Handlung, wenn keine offensichtliche/klare (alternative) Handlungsoption besteht (z.B. freier Raum oder Finte).

3.1 Support

Erfolgen zwei DMUs eines Spielers direkt aufeinander (bspw. erst Dribbling, dann Pass), so kann die zweite DMU von der Dauer her sehr kurz sein (bspw. Pass nach Dribbling = 1 Ballkontakt, = ½ Sekunde). Wenn keine Möglichkeit für eine substantielle Änderung der gezeigten Handlung eines off-the-ball attackers stattfindet, werden off-the-ball attacker in der zweiten DMU als “Other” gewertet, um den Einfluss des Verhaltens innerhalb einer Situation nicht zu überschätzen.

Decision-Making:

Angemessene Entscheidung (Coded als 1)

- *Leitlinie:* Versucht **aktiv** eine Position einzunehmen, um den Angriff / Ballbesitz mit einer Position zu unterstützen.
- Der Spieler **versucht eine** ungedeckte Position einzunehmen oder bleibt in dieser (angemessene Pass-Distanz und Pass-Winkel).
- **Eine Aktion ausführen mit dem Ziel**, einen Pass-Winkel zu schaffen **oder Raum für einen anderen Spieler zu öffnen** (z.B. Finte).

Unpassende Entscheidung (Coded als 0)

- Nimmt eine Position in der Nähe eines Gegners ein, **wenn es die Möglichkeit gibt, sich vom Gegner zu lösen ohne Mitspieler oder den Angriff zu stören**).
- Nimmt den Raum ein, in dem ein Mitspieler, der am Ball ist, gerade laufen will **oder sich in einen Raum bewegt, in dem sich ein Mitspieler bereits befindet**.
- Der Spieler bewegt sich nicht, wird gedeckt und ist nicht anspielbar.
- Der Spieler begeht ein Foul: Offensivfoul
- Sich in einer für die Möglichkeiten des Passgebers unzureichenden Entfernung befinden, **obwohl es eine erreichbare Position gibt, um einen Pass-Winkel herzustellen oder den Angriff aktiv zu unterstützen**).

Execution:

Erfolgreich abgeschlossene Aktion (Coded als 1)

- Es gelingt dem Spieler, seinen Verteidiger hinter sich zu lassen.
- Er nimmt eine nicht gedeckte Position ein, in der er einen Pass empfangen kann.
- **Er schafft durch seine Aktion aktive freie Räume für Mitspieler**

Aktion, die nicht erfolgreich abgeschlossen wird (Coded als 0)

- Der Spieler ist nicht in der Lage, seinen Verteidiger abzuschütteln.
- Er bleibt stehen und **verpasst die Möglichkeit**, um einen Pass von einem Mitspieler anzunehmen, wenn sich die Gelegenheit bietet.

Bei off-the-ball attacker ist die Kombination decision-making = 0, execution = 1 nicht möglich.

ESM 4. Benjamini-Hochberg correction results

The alpha-level was adjusted for all analyses via the Benjamini-Hochberg correction (Benjamini & Hochberg, 1995), via the following formula:

$$adj. \alpha = \left(\frac{k}{m}\right) * \alpha$$

With k = respective rank of variable when sorted ascending based on p -value; m = highest rank, i.e., equal to number of tests; and $\alpha = .05$. The threshold is based on the highest rank in which the p -value is lower than the respective adjusted-alpha level. This is highlighted in grey in the tables below.

Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal statistical society: series B (Methodological)*, 57(1), 289-300.

Tab. 16. Benjamin-Hochberg correction results for objective 1 (test-retest reliability)

Rank(k)	Variable(s)	p-value	$(k/m)*\alpha$
1	Test 4 (Attention)	< .001	0.010
2	Cognition score	< .001	0.020
3	Test 1 (Working memory)	.003	0.030
4	Test 2 (Anticipation)	.200	0.040
5	Cognitive control	.321	0.050

Note. $\alpha = .05$, m = highest rank (i.e., 5). The gray shaded line represents the adjusted α threshold used, shown in last column (= .030).

Tab. 17. Benjamin-Hochberg correction results for objective 1 (test-retest differences)

Rank(k)	Variable(s)	p-value	$(k/m)*\alpha$
1	Cognition score	< .001	0.010
2	Test 3 (Cognitive control)	.456	0.020
3	Test 1 (Working Memory)	.510	0.030
4	Test 4 (Attention)	.581	0.040
5	Test 1 (Anticipation)	.931	0.050

Note. $\alpha = .05$, m = highest rank (i.e., 5). The gray shaded line represents the adjusted α threshold used, shown in last column (= .010).

Tab. 18. Benjamini-Hochberg correction for objective 2 (subjective criterion: adherence tactical principle via GPET)

Rank(k)	Variable(s)	p-value	(k/m)* α
1	Cognition score (t ₂)	.003	0.013
2	Four subtests (t ₂)	.068	0.025
3	Four subtests (t ₁)	.173	0.038
4	Cognition score (t ₂)	.455	0.050

Note. $\alpha = .05$, $m =$ highest rank (i.e., 4). The gray shaded line represents the adjusted α threshold used, shown in last column (= .013).

Tab. 19. Benjamini-Hochberg correction for objective 2 (subjective criterion: decision-making on-ball via GPET)

Rank(k)	Variable(s)	p-value	(k/m)* α
1	Cognition score (t ₂)	.255	0.013
2	Four subtests (t ₂)	.512	0.025
3	Cognition score (t ₁)	.580	0.038
4	Cognition score (t ₂)	.622	0.050

Note. $\alpha = .05$, $m =$ highest rank (i.e., 4). The gray shaded line represents the adjusted α threshold used, shown in last column (= .013).

Tab. 20. Benjamini-Hochberg correction for objective 2 (subjective criterion: decision-making off-ball via GPET)

Rank(k)	Variable(s)	p-value	(k/m)* α
1	Four subtests (t ₁)	0.604	0.013
2	Cognition score (t ₂)	0.639	0.025
3	Four subtests (t ₂)	0.841	0.038
4	Cognition score (t ₁)	0.919	0.050

Note. $\alpha = .05$, $m =$ highest rank (i.e., 4). The gray shaded line represents the adjusted α threshold used, shown in last column (= .013).

Tab. 21. Benjamini-Hochberg correction for objective 2 (subjective criterion: overall game performance via GPET)

Rank(k)	Variable(s)	p-value	(k/m)* α
1	Four subtests (t ₂)	0.403	0.013
2	Cognition score (t ₂)	0.651	0.025
3	Four subtests (t ₁)	0.806	0.038
4	Cognition score (t ₁)	0.901	0.050

Note. $\alpha = .05$, $m =$ highest rank (i.e., 4). The gray shaded line represents the adjusted α threshold used, shown in last column (= .013).

Tab. 22. Benjamin-Hochberg correction results for objective 2 (objective criterion: performance level)

Rank(k)	Variable(s)	p-value	(k/m)* α
1	Four subtests	< .001	.025
2	Cognition score	< .001	.050

Note. $\alpha = .05$, $m =$ highest rank (i.e., 2). The gray shaded line represents the adjusted α threshold used, shown in last column (= .050).

Tab. 23. Benjamini-Hochberg correction for objective 3 (subjective criterion: coaches' rating at end of season)

Rank(<i>k</i>)	Variable(s)	<i>p</i> -value	$(k/m)*\alpha$
1	Cognition score (t_2)	.181	0.013
2	Four subtests (t_1)	.672	0.025
3	Four subtests (t_2)	.748	0.038
4	Cognition score (t_1)	.979	0.050

Note. $\alpha = .05$, $m =$ highest rank (i.e., 4). The gray shaded line represents the adjusted α threshold used, shown in last column (= .013).

Tab. 24. Benjamini-Hochberg correction for objective 3 (criterion: performance level two years later, analyses: regressions)

Rank(<i>k</i>)	Variable(s)	<i>p</i> -value	$(k/m)*\alpha$
1	Cognition score (t_2)	.282	0.013
2	Four subtests (t_2)	.514	0.025
3	Cognition score (t_1)	.743	0.038
4	Four subtests (t_1)	.755	0.050

Note. $\alpha = .05$, $m =$ highest rank (i.e., 4). The gray shaded line represents the adjusted α threshold used, shown in last column (= .013).

ESM 5. Descriptive statistics

Tab. 25. Overall descriptives of assessed variables

	Instrument	Measure	Scale	Elite sample (t1) [#]		Elite sample (t2) [#]		Sub-elite sample [#]	
				Mean (SD)	Min-Max	Mean (SD)	Min-Max	Mean (SD)	Min-Max
Generic cognitive skills	Neur Olympics	Test 1 (Working Memory)	Mean Points	6.05 (0.86)	4.38 – 7.88	5.93 (0.88)	4.38 – 7.63	5.74 (0.99)	4.38 (8.50)
		Test 2 (Anticipation)		30 655.26 (10 172.02)	14 300 – 48 450	39 817.71 (11 047.49)	13 400 – 60 100	23 442.45 (7 821.40)	12 500 – 46 800
		Test 3 (Cognitive control)	Points	41 746.16 (3 140.81)	33 513 – 49 224	41 188.54 (3 560.01)	30 083 – 47 882	35 401.06 (4 357.08)	20 909 – 42 779
		Test 4 (Attention)		16 679.32 (2369.32)	10 748 – 21 203	16 810.50 (2 588.13)	10 673 – 22 705	13 214.11 (3 069.81)	5 086 – 19 573
		Cognition score*	Percentile rank	20.67 (18.99) Md = 13	1 – 90	32.38 (22.63) Md = 27	1 – 94	10.89 (12.69) Md = 5	0 - 53
Criteria	Game Performance Evaluation Tool	Adh. situational principle	% correct	92.28 (6.17)	74.07 – 100				
		Decision-making on-ball	% correct	74.21 (15.46)	28.57 – 100				
		Decision-making off-ball	% correct	82.01 (12.73)	24.26 – 97.92				
		GPET Game Performance	Total score ¹	60.76 (11.66)	33.59 – 86.77				
	Coaches rating (after one year)	Top vs. not ²		above average: <i>n</i> = 18 not above average: <i>n</i> = 39					
	Performance Level (after two years)	Elite vs. not ³		Selected: <i>n</i> = 42 Deselected: <i>n</i> = 15					

Note. * Overall score, named 'Football Intelligence score' by BrainsFirst. [#] elite sample (t1): *n* = 57 for NeurOlympics, coaches rating and performance level after two years, *n* = 49 for GPET; elite sample (t2): *n* = 48, sub-elite sample: *n* = 53; ¹ overall on-field performance of decision-making and execution as on-ball and off-ball attacker. ² Coaches' rating of performance throughout year and potential to reach adulthood: above average (top) vs. not above average (not top). ³ Performance level after two years: selected (elite) vs. deselected (not elite)

Tab. 26. Descriptives for performance and age groups.

		<i>n</i>	Age [#]	Test 1 (Working Memory) ⁺⁴	Test 2 (Anticipation) ⁺⁴	Test 3 (Cognitive control) ⁺⁴	Test 4 (Attention) ⁺⁴	Cognition score ⁺⁵
U11	Elite (t1) ¹	11	10.15 (0.33)	5.89 (1.01)	27 277.27 (9121.74)	40 690.45 (4 515.21)	15 107.09 (1 758.74)	13.09 (10.67)
	Elite (t2) ²	11	10.15 (0.33)	5.52 (0.70)	28 359.09 (7 747.61)	39 735.55 (2 738.38)	15 222.36 (1 641.28)	26.82 (9.38)
	Sub-elite ³	9	10.09 (0.22)	5.07 (0.40)	17 827.78 (3 081.91)	35 055.44 (2 783.54)	10 259.11 (3 098.38)	3.89 (4.20)
	Total (t1)	20	10.12 (0.28)	5.52 (0.88)	23 025.00 (8 429.42)	38 154.70 (4 718.58)	12 925.50 (3 343.12)	8.95 (9.46)
U12	Elite (t1)	12	11.26 (0.20)	5.88 (0.88)	31 287.50 (9 823.65)	41 545.67 (2 442.72)	17 255.67 (2 127.35)	26.50 (24.79)
	Elite (t2)	12	11.26 (0.20)	5.99 (1.06)	35 127.50 (14 619.32)	42 166.58 (2 256.21)	17 311.67 (2 658.63)	41.08 (28.04)
	Sub-elite	12	11.14 (0.21)	4.98 (0.49)	18 412.50 (3 127.16)	33 358.00 (5 579.87)	11 182.23 (2 411.42)	7.17 (7.38)
	Total (t1)	24	11.20 (0.21)	5.42 (0.83)	24 850.00 (9 699.19)	37 451.83 (5 935.70)	14 219.00 (3 816.77)	16.83 (20.43)
U13	Elite (t1)	12	12.23 (0.21)	6.04 (0.89)	30 170.83 (9 878.96)	40 760.50 (2 079.15)	16 618.92 (2 899.87)	25.25 (21.19)
	Elite (t2)	9	12.25 (0.24)	6.26 (0.84)	29 233.33 (11 861.91)	40 792.44 (2 813.48)	16 864.56 (2252.98)	24.89 (22.12)
	Sub-elite	8	12.22 (0.32)	5.67 (0.87)	22 606.25 (4 714.60)	37 511.88 (2 779.23)	14 562.62 (2 802.24)	15.50 (12.41)
	Total (t1)	20	12.23 (0.25)	5.89 (0.88)	27 145.00 (8 896.46)	39 461.05 (2 831.01)	15 796.40 (2 971.49)	21.35 (18.46)
U14	Elite (t1)	12	13.14 (0.24)	6.28 (0.97)	31 816.67 (11 503.88)	42 636.08 (1 876.72)	16 253.42 (2 218.71)	19.50 (17.72)
	Elite (t2)	7	13.06 (0.25)	5.50 (0.87)	27 792.86 (9 435.63)	41 874.71 (3 757.16)	16 090.14 (1 985.51)	32.86 (30.11)
	Sub-elite	12	13.46 (0.32)	6.42 (0.83)	28 166.67 (7 642.30)	35 570.25 (3 728.93)	14 786.08 (1 820.69)	17.25 (18.62)
	Total (t1)	24	13.30 (0.32)	6.35 (0.89)	29 991.67 (9 731.43)	39 103.17 (4 621.56)	15 519.75 (2 121.64)	18.38 (17.81)
U15	Elite (t1)	10	14.08 (0.57)	6.15 (0.56)	32 800.00 (11 431.58)	43 262.90 (3 939.98)	18 300.70 (1 742.36)	17.90 (16.70)
	Elite (t2)	9	14.04 (0.58)	6.39 (0.62)	32 000.00 (9 588.50)	41 522.78 (5 103.10)	18 589.56 (3 220.53)	34.67 (20.56)
	Sub-elite	12	14.32 (0.34)	6.36 (1.07)	28 516.67 (9675.42)	36 126.92 (5 065.12)	14 991.17 (2 080.54)	10.42 (11.60)
	Total (t1)	22	14.21 (0.46)	6.26 (0.87)	30 463.64 (10 478.90)	39 370.55 (5 772.18)	16 495.50 (2 532.46)	13.82 (14.30)
All players	Elite (t1)	57	12.14 (1.39)	6.05 (0.86)	30 655.26 (10 172.02)	41 746.16 (3 140.81)	16 679.32 (2 369.35)	20.67 (18.99)
	Elite (t2)	48	11.97 (1.42)	5.93 (0.88)	30 817.71 (11 047.49)	41 188.54 (3 560.01)	16 810.50 (2 588.13)	32.38 (22.63)
	Sub-elite	53	12.37 (1.57)	5.74 (0.99)	23 442.45 (7 821.40)	35 401.06 (4 357.08)	13 214.11 (3 069.81)	10.89 (12.69)
Overall (t1)	110	12.25 (5.90)	5.90 (0.93)	27 190.00 (9 796.91)	38 688.97 (4 926.33)	15 009.72 (3 225.73)	15.95 (16.92)	

[#] regarding age, the chronological age at t1 is also reported for t2; ⁺ mean values with standard deviation in brackets; ¹ youth elite soccer players, 1st test; ² youth elite soccer players, 2nd test (= retest) two weeks after 1st; ³ sub-elite soccer players, 1st test, ⁴ collected points per test, absolute numbers; ⁵ overall score ('Football Intelligence score') in percentile rank based on age-matched (six-months bins) football players at elite youth academy level.

ESM 6. Detailed results for objective 1 (test-retest reliability)

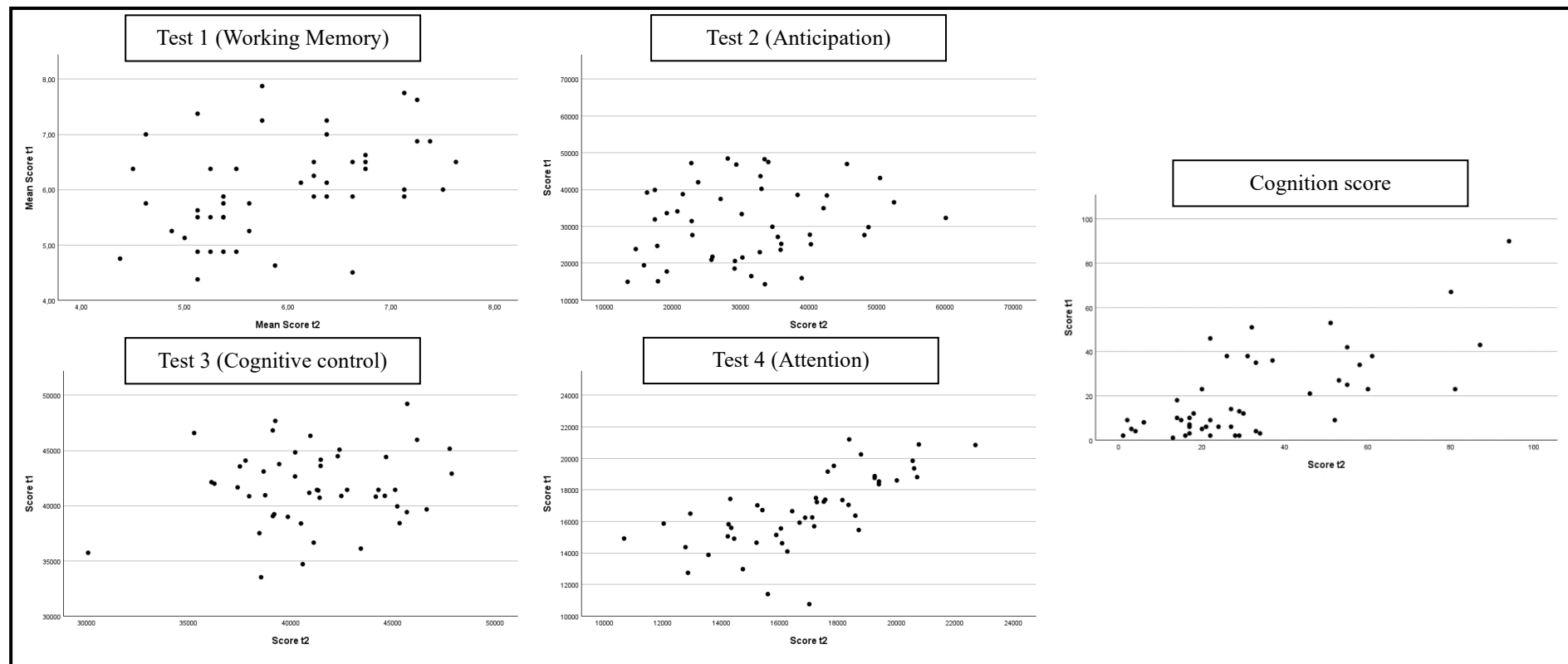


Fig. 18. Scatterplot for subtest scores and cognition score of NeurOlympics.

Note. Sample size for all: $N = 48$. Test results (raw values) of t1 at y-axis, test results of t2 at x-axis. Cognition score = 'Football Intelligence score' of NeurOlympics.

Tab. 27. Test-Retest Reliability with 95% Confidence Interval for total score of each subtest and FI score.

Test	Measured Construct	Variable	r_{tt}	p	95% CI
<i>Reached points per test, raw score¹</i>					
1	Working Memory	Mean performance	.42	.003	[.15;.63]
2	Anticipation	Total Points	.19	.200	[-.10;.45]
3	Control	Total Points	.15	.321	[-.14;.41]
4	Attention	Total Points	.68	< .001	[.50;.81]
<i>Calculated measure, in percentile rank²</i>					
Global	Football Intelligence Score		.63	< .001	[.41;.78]

Note. Sample size: $N = 48$. Cognition score = 'Football Intelligence score' of NeurOlympics, ¹ Pearson correlation, ² Spearman's rank correlation

Tab. 28. Results of group comparisons between test and retest results

Variable / Test	$M (SD)$	$t(df)$	$p^{\#}$	Cohen's d
<i>Reached point per test, raw value¹</i>				
Test 1 (Working Memory)	t ₁ : 6.02 (0.88) t ₂ : 5.92 (0.88)	$t(47) = 0.67$.510	0.10
Test 2 (Anticipation)	t ₁ : 30989.58 (10299.35) t ₂ : 30817.71 (11047.49)	$t(47) = 0.09$.931	0.01
Test 3 (Cognitive Control)	t ₁ : 41682.65 (2402.37) t ₂ : 41188.53 (3560.01)	$t(47) = 0.75$.456	0.11
Test 4 (Attention)	t ₁ : 16651.40 (2378.29) t ₂ : 16810.50 (2588.13)	$t(47) = -0.56$.581	-0.08
<i>Calculated measure, in percentile rank²</i>				
	<i>Mdn</i>	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>r</i>
Cognition score	t ₁ : 9 t ₂ : 27	4.40	< .001	.30

Note. $N = 48$. [#] two-sided p -value; ¹ t-test for paired samples; ² Wilcoxon signed-rank test; Test 1 is based on mean performance, test 2 – 4 is based on gained points per test, Cognition score ('Football Intelligence score' of NeurOlympics) is an overall score in percentile ranks.

Tab. 29. Partial correlation (controlling for age at test day)

Test	Measured Construct	Variable	$r_{p(tt)}$
<i>Reached points per test, raw score</i>			
1	Working Memory	Mean performance	.39**
2	Anticipation	Total Points	.19
3	Control	Total Points	.12
4	Attention	Total Points	.65***
<i>Calculated measure, in percentile rank</i>			
Global	Cognition score		.78

Note. Sample size: $N = 48$. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$. Cognition score = 'Football Intelligence score' of NeurOlympics; ¹ partial Pearson correlation; ² partial Spearman's rank correlation

ESM 7. Detailed results for objective 2 (diagnostic validity)

Tab. 30. Results of regression analyses for NeurOlympics results of t1

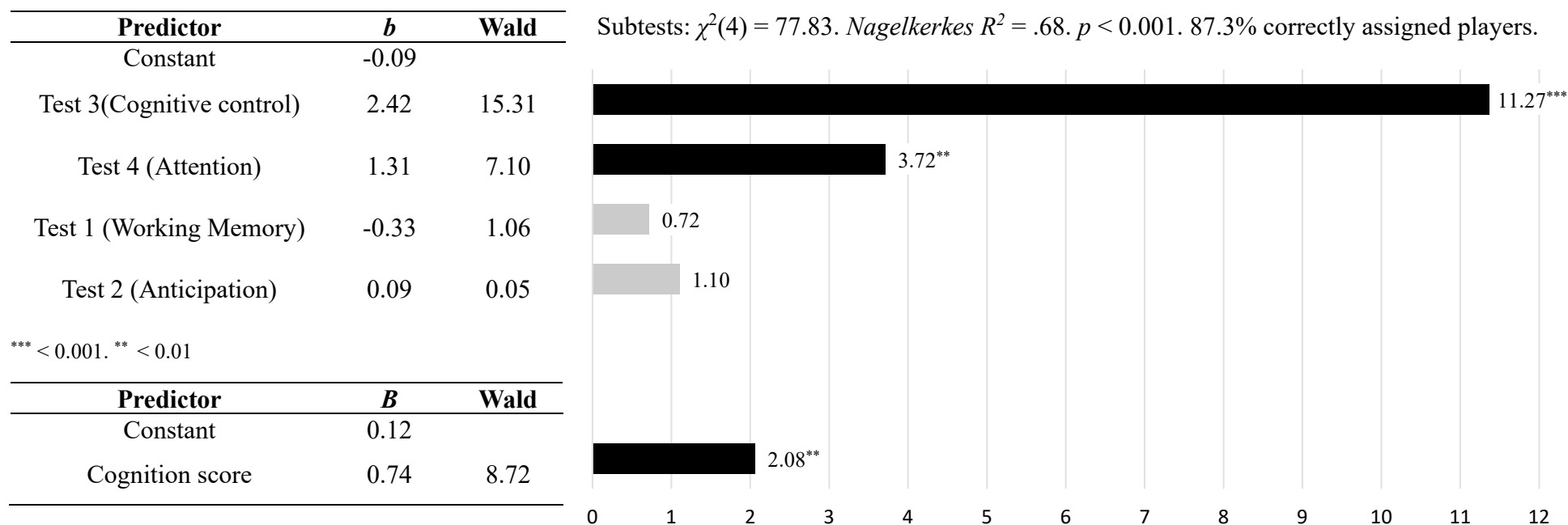
Model	F(df)	adj. R ²	p	Predictor	B	SE	Beta	t	p	95% CI for B		Tolerance	VIF
										lower	upper		
<i>criterion: adherence to situational principle</i>													
Four subtests (t1)	0.91 (4,44)	-.01	.465	Constant	92.28	0.89		104.25	<.001	90.49	94.06		
				Test 1 (WM)	-0.26	1.04	-.04	-0.25	.802	-2.35	1.82	.76	1.31
				Test 2 (AC)	-1.31	1.15	-.21	-1.15	.257	-3.62	0.99	.62	1.61
				Test 3 (CO)	-0.49	1.03	-.08	-0.47	.640	-2.56	1.59	.77	1.30
				Test 4 (AT)	-0.01	1.01	-.00	-0.01	.992	-2.05	2.03	.80	1.26
Cognition score (t1)	9.84 (1,47)	.16	.003	Constant	92.28	0.81		113.85	<.001	90.65	93.92		
				Cognition score	-2.30	0.83	-.42	-3.14	.003	-4.26	-0.93	1.00	1.00
<i>Criterion: decision-making as on-the-ball attacker</i>													
Four subtests (t1)	1.26 (4,44)	.02	.300	Constant	74.21	2.19		33.97	<.001	69.81	78.61		
				Test 1 (WM)	-4.59	2.55	-.29	-1.80	.079	-9.74	0.55	.76	1.31
				Test 2 (AC)	4.28	2.83	.27	1.52	.137	-1.41	9.98	.62	1.61
				Test 3 (CO)	-0.17	2.54	-.01	-0.07	.948	-5.29	4.95	.77	1.30
				Test 4 (AT)	-2.97	2.50	-.19	-1.19	.241	-8.01	2.07	.80	1.26
Cognition score (t1)	0.25 (1,47)	-.02	.618	Constant	74.21	2.23		33.35	<.001	69.73	78.69		
				Cognition score	1.14	2.27	.07	0.50	.618	-3.43	5.71	1.00	1.00
<i>Criterion: decision-making as off-the-ball attacker</i>													
Four subtests (t1)	0.71 (4,44)	-.02	.587	Constant	82.01	1.84		44.54	<.001	78.30	85.72		
				Test 1 (WM)	-0.36	2.15	-.03	-0.17	.868	-4.70	3.98	.76	1.31
				Test 2 (AC)	-1.84	2.38	-.14	-0.77	.443	-6.64	2.96	.62	1.61
				Test 3 (CO)	-0.64	2.14	-.05	-0.30	.766	-4.96	3.68	.77	1.30
				Test 4 (AT)	3.38	2.11	.26	1.60	.116	-0.87	7.63	.80	1.26
Cognition score (t1)	0.22 (1,47)	-.02	.641	Constant	82.01	1.83		44.71	<.001	78.32	85.70		
				Cognition score	-0.88	1.87	-.07	-0.47	.641	-4.65	2.89	1.00	1.00
<i>Criterion: GPET game performance</i>													
Four subtests (t1)	0.36 (4,44)	-.06	.836	Constant	60.76	1.71		35.49	<.001	57.31	64.22		
				Test 1 (WM)	-0.59	2.00	-.05	-0.29	.770	-4.62	3.44	.76	1.31
				Test 2 (AC)	0.56	2.22	.05	0.25	.802	-3.91	5.02	.62	1.61
				Test 3 (CO)	-1.65	1.99	-.14	-0.83	.411	-5.67	2.36	.77	1.30
				Test 4 (AT)	1.88	1.96	.16	0.96	.343	-2.07	5.83	.80	1.26
Cognition score (t1)	0.00 (1,47)	-.02	.984	Constant	60.76	1.68		36.09	<.001	57.37	64.15		
				Cognition score	-0.04	1.72	-.00	-0.02	.984	-3.49	3.42	1.00	1.00

Note. Sample comprises $n = 49$ elite youth soccer players. Cognition score = Football Intelligence score from NeurOlympics. WM = Working Memory. AC = Anticipation. CO = Cognitive control, AT = Attention

Tab. 31. Results of regression analyses for *NeurOlympics* results of t2

Model	F(df)	adj. R ²	p	Predictor	B	SE	Beta	t	p	95% CI for B		Tolerance	VIF
										lower	upper		
<i>criterion: adherence to situational principle</i>													
Four subtests (t2)	1.69 (4.36)	.06	.174	Constant	91.71	0.98		93.43	<.001	89.72	93.70		
				Test 1 (WM)	0.36	1.35	.06	0.27	.789	-2.37	3.09	.56	1.79
				Test 2 (AC)	-1.96	1.38	-.30	-1.43	.163	-4.75	0.83	.53	1.87
				Test 3 (CO)	0.68	1.39	.10	0.49	.631	-2.15	3.50	.52	1.92
				Test 4 (AT)	-1.86	1.19	-.28	-1.56	.127	-4.27	0.56	.72	1.40
Cognition score (t2)	3.57 (1.39)	.06	.066	Constant	91.71	0.98		93.23	<.001	89.72	93.70		
				Cognition score	-1.91	1.01	-.29	-1.89	.066	-3.95	0.13	1.00	1.00
<i>Criterion: decision-making as on-the-ball attacker</i>													
Four subtests (t2)	0.74 (4.36)	-.03	.573	Constant	72.62	2.49		29.21	<.001	67.57	77.66		
				Test 1 (WM)	-4.62	3.41	-.29	-1.36	.183	-11.53	2.29	.56	1.79
				Test 2 (AC)	4.98	3.48	.31	1.43	.161	-2.09	12.05	.53	1.87
				Test 3 (CO)	0.76	3.53	.05	0.21	.831	-6.40	7.91	.52	1.92
				Test 4 (AT)	-0.82	3.01	-.05	-0.27	.788	-6.92	5.30	.72	1.40
Cognition score (t2)	0.45 (1.39)	-.01	.504	Constant	72.62	2.47		29.40	<.001	67.62	77.61		
				Cognition score	1.71	2.53	.11	0.67	.504	-3.42	6.83	1.00	1.00
<i>Criterion: decision-making as off-the-ball attacker</i>													
Four subtests (t2)	0.37 (4.36)	-.07	.831	Constant	81.39	2.14		38.02	<.001	77.05	85.73		
				Test 1 (WM)	-2.83	2.94	-.21	-0.96	.342	-8.78	3.12	.56	1.79
				Test 2 (AC)	2.04	3.00	.15	0.68	.501	-4.04	8.13	.53	1.87
				Test 3 (CO)	-1.37	3.04	-.10	-0.45	.654	-7.54	4.79	.52	1.92
				Test 4 (AT)	1.11	2.60	.08	0.43	.670	-4.15	6.38	.72	1.40
Cognition score (t2)	0.01 (1.39)	-.03	.941	Constant	81.39	2.10		38.79	<.001	77.14	85.63		
				Cognition score	-0.16	2.15	-.01	-0.08	.941	-4.51	4.19	1.00	1.00
<i>Criterion: GPET game performance</i>													
Four subtests (t2)	0.87 (4.36)	-.01	.495	Constant	59.67	1.81		33.04	<.001	56.00	63.34		
				Test 1 (WM)	-1.36	2.48	-.12	-0.55	.587	-6.38	3.66	.56	1.79
				Test 2 (AC)	3.95	2.53	.34	1.56	.128	-1.19	9.08	.53	1.87
				Test 3 (CO)	-3.55	2.56	-.31	-1.38	.175	-8.75	1.65	.52	1.92
				Test 4 (AT)	1.12	2.19	.10	0.51	.611	-3.32	5.56	.72	1.40
Cognition score (t2)	0.33 (1.39)	-.02	.570	Constant	59.67	1.81		32.99	<.001	56.01	63.33		
				Cognition score	1.06	1.86	.09	0.57	.570	-2.69	4.81	1.00	1.00

Note. Sample comprises $n = 41$ elite youth soccer players. Cognition score = Football Intelligence score from *NeurOlympics*. WM = Working Memory. AC = Anticipation. CO = Cognitive control, AT = Attention



Note. The bars reflect the Odds Ratio ($Exp(b)$) for the regression model (standardized residuals of each predictor. method: enter). The performance level was either elite ($n = 57$) or sub-elite ($n = 53$).

Fig. 19. Results and graphical display of Odds Ratios for Logistic Regression Analyses (criterion: performance level (elite vs. sub-elite))

ESM 8 – Detailed results for objective 3 (prognostic validity)

Tab. 32. Results of logistic regression analyses for *NeurOlympics* (subjective criterion: coaches rating after one year)

Model	χ^2 (df)	Nagelkerke R^2	p	Predictor	b	SE	Wald	df	p	Exp(b)	95% CI for Exp(b)	
											lower	upper
Four subtests (t1)	2.35(4)	.06	.672	Constant	-0.81	0.30	7.55	1	.006	0.44		
				Test 1 (Working Memory)	0.11	0.35	0.11	1	.745	1.12	0.57	2.21
				Test 2 (Anticipation)	-0.17	0.40	0.18	1	.672	0.84	0.38	1.86
				Test 3 (Cognitive control)	0.50	0.37	1.80	1	.180	1.65	0.79	3.43
				Test 4 (Attention)	-0.23	0.33	0.51	1	.477	0.79	0.42	1.50
Cognition score (t1)	0.00 (1)	.00	.979	Constant	-0.77	0.29	7.36	1	.007	0.46		
Four subtests (t2)	1.93 (4)	.06	.748	Cognition score	-0.01	0.29	0.00	1	.979	0.99	0.56	1.75
				Constant	-0.73	0.32	5.29	1	.022	0.48		
				Test 1 (Working Memory)	0.05	0.41	0.01	1	.913	1.05	0.47	2.33
				Test 2 (Anticipation)	-0.43	0.46	0.84	1	.358	0.65	0.26	1.62
				Test 3 (Cognitive control)	-0.12	0.43	0.07	1	.789	0.89	0.38	2.07
Cognition score (t2)	1.92 (1)	.06	.181	Test 4 (Attention)	0.04	0.40	0.01	1	.931	1.04	0.47	2.26
				Constant	-0.73	0.32	5.30	1	.021	0.48		
				Cognition score	-0.47	0.36	1.70	1	.192	0.62	0.31	1.27

Note. Sample comprises $n = 57$ elite youth players (t1) and $n = 48$ elite youth soccer players (t2). Cognition score = Football Intelligence score from *NeurOlympics*.

Tab. 33. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics (objective criterion: performance level after two years)

Model	χ^2 (df)	Nagelkerke R^2	p	Predictor	b	SE	$Wald$	df	p	Exp(b)	95% CI for Exp(b)	
											lower	upper
Four subtests (t1)	1.90(4)	.05	.755	Constant	1.07	0.31	11.80	1	<.001	2.92		
				Test 1 (Working Memory)	0.17	0.38	0.21	1	.649	1.19	0.57	2.48
				Test 2 (Anticipation)	-0.27	0.41	0.45	1	.504	0.76	0.35	1.69
				Test 3 (Cognitive control)	-0.03	0.37	0.01	1	.927	0.97	0.47	1.98
				Test 4 (Attention)	-0.29	0.35	0.67	1	.414	0.75	0.38	1.50
Cognition score (t1)	0.11(1)	.00	.743	Constant	1.03	0.30	11.72	1	<.001	2.81		
Four subtests (t2)	3.27(4)	.10	.514	Cognition score	-0.10	0.30	0.11	1	.741	0.91	0.51	1.63
				Constant	1.20	0.36	10.91	1	<.001	3.31		
				Test 1 (Working Memory)	0.54	0.49	1.23	1	.268	1.71	0.66	4.45
				Test 2 (Anticipation)	-0.64	0.52	1.50	1	.221	0.53	0.19	1.47
				Test 3 (Cognitive control)	0.38	0.51	0.55	1	.459	1.46	0.54	3.93
Cognition score (t2)	1.16(1)	.04	.283	Test 4 (Attention)	-0.48	0.45	1.14	1	.285	0.62	0.25	1.50
				Constant	1.13	0.34	10.90	1	<.001	3.09		
				Cognition score	-0.35	0.33	1.17	1	.280	0.70	0.37	1.33

Note. Sample comprises $n = 57$ elite youth players (t1) and $n = 48$ elite youth soccer players (t2). Cognition score = Football Intelligence score from NeurOlympics.

ESM 9. Overview of analyses with mean and best value method for diagnostic and prognostic validity

Tab. 34. Results of regression analyses for NeurOlympics relationship to game performance via GPET using mean value method

Model	F(df)	adj. R ²	p	Predictor	B	SE	Beta	t	p	95% CI for B	
										lower	upper
<i>Criterion: adherence to situational principle</i>											
Four subtests	1.96 (4,44)	.07	.117	Constant	92.27	0.85		108.75	< .001	90.57	93.99
				Test 1 (WM)	0.03	1.04	.00	0.03	.980	-0.21	2.12
				Test 2 (AC)	-1.90	1.11	-.30	-1.71	.095	-0.41	0.35
				Test 3 (CO)	-0.28	0.99	-.05	-0.28	.778	-2.28	1.72
				Test 4 (AT)	-0.74	0.98	-.12	-0.05	.454	-2.27	1.24
Cognition score	7.41 (1,47)	.12	.009	Constant	92.28	0.83		111.40	< .001	90.61	93.94
				Cognition score	-2.30	0.85	-.37	-2.72	.009	-4.00	-0.60
<i>Criterion: decision-making as on-the-ball attacker</i>											
Four subtests	1.46 (4,44)	.04	.231	Constant	74.21	2.17		34.24	< .001	69.84	78.58
				Test 1 (WM)	-5.46	2.65	-.35	-2.06	.046	-10.80	-0.11
				Test 2 (AC)	4.62	2.84	.30	1.63	.111	-1.10	10.34
				Test 3 (CO)	0.96	2.53	.06	0.38	.708	-4.15	6.06
				Test 4 (AT)	-2.34	2.51	-.15	-0.93	.356	-7.39	2.71
Cognition score	0.19 (1,47)	-.02	.669	Constant	74.21	2.23		33.22	< .001	69.73	78.69
				Cognition score	0.98	2.27	.06	0.43	.669	-3.60	5.55
<i>Criterion: decision-making as off-the-ball attacker</i>											
Four subtests	0.52 (4,44)	-.04	.725	Constant	82.01	1.86		44.16	< .001	78.27	85.75
				Test 1 (WM)	-1.28	2.27	-.10	-0.56	.577	-5.86	3.31
				Test 2 (AC)	-0.73	2.43	-.06	-0.30	.765	-5.63	4.17
				Test 3 (CO)	-1.13	2.17	-.09	-0.52	.606	-5.50	3.25
				Test 4 (AT)	2.74	2.15	.21	1.27	.210	-1.60	7.07
Cognition score	0.13 (1,47)	-.02	.717	Constant	82.01	1.84		44.67	< .001	78.32	85.70
				Cognition score	-0.68	1.88	-.05	-0.37	.717	-4.46	3.09
<i>Criterion: GPET game performance</i>											
Four subtests	0.59 (4,44)	-.04	.673	Constant	60.76	1.70		35.84	< .001	57.34	64.18
				Test 1 (WM)	-1.39	2.08	-.12	-0.67	.508	-5.66	2.80
				Test 2 (AC)	1.87	2.22	.16	0.84	.405	-2.61	6.34
				Test 3 (CO)	-2.14	1.98	-.18	-1.08	.286	-6.14	1.85
				Test 4 (AT)	1.76	1.96	.15	0.90	.373	-2.19	5.72
Cognition score	0.02 (1,47)	-.02	.886	Constant	60.76	1.68		36.10	< .001	57.37	64.14
				Cognition score	0.25	1.72	.02	0.15	.886	-3.21	3.71

Note. Sample comprises $n = 49$ elite youth soccer players. Cognition score = Football Intelligence score from NeurOlympics. WM = Working memory, AC = Anticipation, CO = Cognitive control, AT = Attention.

Tab. 35. Results of regression analyses for NeurOlympics to game performance via GPET using best value method

Model	F(df)	adj. R ²	p	Predictor	B	SE	Beta	t	p	95% CI for B	
										lower	upper
<i>Criterion: adherence to situational principle</i>											
Four subtests	1.95 (4,44)	.07	.119	Constant	92.28	0.85		108.69	< .001	90.57	93.99
				Test 1 (WM)	0.17	1.02	.03	0.17	.869	-1.88	2.21
				Test 2 (AC)	-1.83	1.19	-.29	-1.53	.134	-4.23	0.58
				Test 3 (CO)	0.30	1.03	-.05	-.291	.772	-2.37	1.77
				Test 4 (AT)	-0.90	0.95	-.14	-0.94	.349	-2.81	1.01
Cognition score	6.21 (1,47)	.10	.016	Constant	92.28	0.84		110.16	< .001	90.59	93.96
				Cognition score	-2.13	0.86	-.34	-2.49	.016	-3.85	-0.41
<i>Criterion: decision-making as on-the-ball attacker</i>											
Four subtests	1.45 (4,44)	.04	.235	Constant	74.21	2.17		34.23	< .001	69.84	78.58
				Test 1 (WM)	-5.52	2.59	-.35	-2.13	.039	-10.74	-0.29
				Test 2 (AC)	4.76	3.05	.31	1.56	.126	-1.39	10.90
				Test 3 (CO)	-0.31	2.63	-.02	-0.12	.905	-5.61	4.98
				Test 4 (AT)	-2.37	2.42	-.15	-0.98	.332	-7.26	2.51
Cognition score	0.30 (1,47)	-.02	.589	Constant	74.21	2.22		33.36	< .001	69.73	78.68
				Cognition score	1.24	2.27	.08	0.54	.589	-3.33	5.81
<i>Criterion: decision-making as off-the-ball attacker</i>											
Four subtests	0.41 (4,44)	-.05	.799	Constant	82.01	1.87		43.96	< .001	78.25	85.77
				Test 1 (WM)	-1.40	2.23	-.11	-0.63	.535	-5.89	3.10
				Test 2 (AC)	1.03	2.63	.08	0.39	.697	-6.52	2.59
				Test 3 (CO)	-1.97	2.26	-.15	-0.87	.389	-6.52	2.59
				Test 4 (AT)	1.35	2.08	.11	0.65	.521	-2.85	5.55
Cognition score	0.38 (1,47)	-.01	.542	Constant	82.01	1.83		44.79	< .001	78.33	85.70
				Cognition score	-1.15	1.87	-.09	-0.62	.542	-4.91	2.61
<i>Criterion: GPET game performance</i>											
Four subtests	0.99 (4,44)	-.00	.425	Constant	60.76	1.67		36.45	< .001	57.40	64.12
				Test 1 (WM)	-0.88	1.99	-.08	-0.44	.661	-4.89	3.14
				Test 2 (AC)	3.21	2.35	.27	1.37	.178	-1.52	7.94
				Test 3 (CO)	-3.56	2.02	-.30	-1.76	.085	-7.63	0.51
				Test 4 (AT)	0.60	1.96	.05	0.32	.750	-3.16	4.35
Cognition score	0.01 (1,47)	-.02	.940	Constant	60.76	1.68		36.09	< .001	57.37	64.15
				Cognition score	0.13	1.72	.01	0.08	.940	-3.33	2.59

Note. Sample comprises $n = 49$ elite youth soccer players. Cognition score = Football Intelligence score from NeurOlympics. WM = Working memory, AC = Anticipation, CO = Cognitive control, AT = Attention.

Tab. 36. Results of logistic regression analyses for *NeurOlympics* using mean value method (subjective criterion: coaches rating after one year)

Model	χ^2 (df)	Nagelkerke R^2	p	Predictor	b	SE	Wald	df	p	Exp(b)	95% CI for Exp(b)	
											lower	upper
Four subtests	0.68 (4)	.02	.954	Constant	-0.78	0.29	7.42	1	.006	0.46		
				Test 1 (WM)	0.03	0.36	0.01	1	.937	1.03	0.51	2.07
				Test 2 (AC)	-0.24	0.39	0.39	1	.530	0.78	0.37	1.67
				Test 3 (CO)	0.14	0.34	0.18	1	.674	1.15	0.60	2.24
				Test 4 (AT)	-0.09	0.33	0.07	1	.786	0.91	0.48	1.75
Cognition score	0.56 (1)	.01	.454	Constant	-0.78	0.29	7.41	1	.006	0.46		
				Cognition score	-0.23	0.31	0.53	1	.467	0.80	0.43	1.47

Note. Sample comprises $n = 57$ elite youth players. Cognition score = Football Intelligence score from *NeurOlympics*. WM = Working memory, AC = Anticipation, CO = Cognitive control, AT = Attention

Tab. 37. Results of logistic regression analyses for *NeurOlympics* using best value method (subjective criterion: coaches rating after one year)

Model	χ^2 (df)	Nagelkerke R^2	p	Predictor	b	SE	Wald	df	p	Exp(b)	95% CI for Exp(b)	
											lower	upper
Four subtests	2.00 (4)	.05	.735	Constant	-0.81	0.29	7.51	1	.006	0.45		
				Test 1 (WM)	0.09	0.35	0.06	1	.809	1.09	0.55	2.17
				Test 2 (AC)	-0.51	0.42	1.47	1	.225	0.60	0.26	1.37
				Test 3 (CO)	0.42	0.36	1.31	1	.253	1.52	0.74	3.09
				Test 4 (AT)	0.12	0.32	0.13	1	.718	1.12	0.60	2.12
Cognition score	0.66 (1)	.02	.415	Constant	-0.78	0.29	7.42	1	.006	0.46		
				Cognition score	-0.25	0.31	0.63	1	.427	0.78	0.43	1.43

Note. Sample comprises $n = 57$ elite youth players, Cognition score = Football Intelligence score from *NeurOlympics*. WM = Working memory, AC = Anticipation, CO = Cognitive control, AT = Attention

Tab. 38. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics using mean value method (subjective criterion: performance level after two years)

Model	χ^2 (df)	Nagelkerke R^2	p	Predictor	b	SE	Wald	df	p	Exp(b)	95% CI for Exp(b)	
											lower	upper
Four subtests	2.90 (4)	.07	.575	Constant	1.09	0.32	11.85	1	< .001	2.98		
				Test 1 (WM)	0.29	0.41	0.50	1	.479	1.34	0.60	3.02
				Test 2 (AC)	-0.46	0.43	1.17	1	.280	0.63	0.37	1.45
				Test 3 (CO)	0.05	0.37	0.02	1	.885	1.06	0.51	2.19
				Test 4 (AT)	-0.33	0.37	0.79	1	.374	0.72	0.35	1.49
Cognition score	1.45 (1)	.04	.229	Constant	1.06	0.31	11.78	1	< .001	2.88		
				Cognition score	-0.36	0.30	1.45	1	.228	0.70	0.39	1.25

Note. Sample comprises $n = 57$ elite youth players. Cognition score = Football Intelligence score from NeurOlympics. WM = Working memory, AC = Anticipation, CO = Cognitive control, AT = Attention

Tab. 39. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics using best value method (subjective criterion: performance level after two years)

Model	χ^2 (df)	Nagelkerke R^2	p	Predictor	b	SE	Wald	df	p	Exp(b)	95% CI for Exp(b)	
											lower	upper
Four subtests	2.95 (4)	.07	.567	Constant	1.09	0.32	11.84	1	< .001	2.99		
				Test 1 (WM)	0.24	0.39	0.37	1	.542	1.27	0.59	2.73
				Test 2 (AC)	-0.63	0.46	1.86	1	.173	0.53	0.21	1.32
				Test 3 (CO)	0.22	0.37	0.35	1	.553	1.25	0.60	2.57
				Test 4 (AT)	-0.16	0.34	0.21	1	.644	0.86	0.44	1.66
Cognition score	1.45 (1)	.04	.229	Constant	1.06	0.31	11.78	1	< .001			
				Cognition score	-0.36	0.30	1.45	1	.228	0.70	0.39	1.25

Note. Sample comprises $n = 57$ elite youth players, Cognition score = Football Intelligence score from NeurOlympics. WM = Working memory, AC = Anticipation, CO = Cognitive control, AT = Attention

ESM 10. Overview of logistic and multinomial regression analyses with different categorizations of coaches' ratings (objective 3)

To assess whether a different categorization of coaches' ratings influence the pattern of the results, we conducted two kinds of analyses in addition to the logistic regression analyses (see ESM 8 Table 1): First, logistic regression analyses with the following categorization of the coaches rating as dependent variable: above average and average ($n_{t1} = 50$; $n_{t2} = 34$) vs. below average ($n_{t1} = 17$; $n_{t2} = 14$). Second, multinomial regression analyses with the following (original) categorization of the coaches rating as dependent variable: above average ($n_{t1} = 17$; $n_{t2} = 15$), average ($n_{t1} = 23$; $n_{t2} = 19$), below average ($n_{t1} = 17$; $n_{t2} = 14$). The pattern of the results (i.e., no significant association between cognitive performance and coaches rating) remains the same.

Tab. 40. Results of logistic regression analyses for NeurOlympics with alternative categorization of coaches rating (above average and average vs. below average) after one year

Model	χ^2 (df)	Nagelkerke R^2	p	Predictor	b	SE	Wald	df	p	Exp(b)	95% CI for Exp(b)	
											lower	upper
Four subtests (t1)	2.89 (4)	.07	.576	Constant	-0.91	0.30	8.95	1	.003	.40		
				Test 1 (Working Memory)	-.01	0.36	0.00	1	.989	1.00	0.49	2.01
				Test 2 (Anticipation)	.12	0.39	0.10	1	.757	1.13	0.52	2.45
				Test 3 (Cognitive control)	.41	0.37	1.21	1	.271	1.51	0.73	3.13
				Test 4 (Attention)	.10	0.34	0.08	1	.774	1.10	0.57	2.12
Cognition score (t1)	0.05 (1)	.00	.822	Constant	-.86	0.29	8.74	1	.003	0.43		
				Cognition score	.07	0.30	0.05	1	.823	0.94	0.52	1.69
Four subtests (t2)	0.35 (4)	.01	.986	Constant	-.89	0.32	7.83	1	.005	0.41		
				Test 1 (Working Memory)	-.03	0.42	0.00	1	.951	0.98	0.43	2.23
				Test 2 (Anticipation)	.06	0.46	0.02	1	.902	1.06	0.43	2.62
				Test 3 (Cognitive control)	-.10	0.43	0.05	1	.822	0.91	0.39	2.12
				Test 4 (Attention)	-.14	0.39	0.12	1	.732	0.87	0.41	1.89
Cognition score (t2)	0.13 (1)	.00	.722	Constant	-.89	0.32	7.82	1	0.005	0.41		
				Cognition score	.11	0.32	0.13	1	.720	1.12	0.60	2.09

Note. Sample comprises $n = 57$ elite youth players (t1) and $n = 48$ elite youth soccer players (t2). Cognition score = Football Intelligence score from NeurOlympics

Tab. 41. Results of multinomial regression analyses for *Neurolympics* subtests variables (t1) with original categorization of coaches rating (above average vs. average vs. below average) after one year

Model	χ^2 (df)	McFaden		Predictor	B	SE	Wald	df	p	Exp(b)	95% CI for Exp(b)	
		Pseudo R ²	p								lower	upper
Four subtests (t1)	4.47 (8)	.04	.831									
Coaches Evaluation (average)												
				Intercept	.28	0.33	0.71	1	.399			
				Test 1 (Working Memory)	-.31	.39	0.63	1	.427	0.73	0.38	1.58
				Test 2 (Anticipation)	0.13	0.35	0.09	1	.765	1.14	0.48	2.25
				Test 3 (Cognitive control)	-.32	0.40	0.63	1	.426	0.73	0.33	1.59
				Test 4 (Attention)	.16	0.36	0.20	1	.658	1.17	0.58	2.39
Coaches Evaluation (below average)												
				Intercept	-.05	0.36	0.02	1	.897			
				Test 1 (Working Memory)	-.18	0.41	0.18	1	.673	0.84	0.37	1.89
				Test 2 (Anticipation)	.20	0.47	0.18	1	.668	1.22	0.49	3.05
				Test 3 (Cognitive control)	.23	0.44	0.28	1	.598	1.26	0.54	3.00
				Test 4 (Attention)	.19	0.39	0.23	1	.630	1.21	0.56	2.59

Note. The reference category is above average. Sample comprises $n = 57$ elite youth players.

Tab. 42. Results of multinomial regression analyses for NeurOlympics subtests cognition score (t1) with original categorization of coaches rating (above average vs. average vs. below average) after one year

Model	χ^2 (df)	McFaden Pseudo R^2	p	Predictor	B	SE	Wald	df	p	95% CI for Exp(b)		
										Exp(b)	lower	upper
Cognition score (t1)	0.06 (2)	.00	.970									
Coaches Evaluation (average)				Intercept	.30	0.32	0.90	1	.344			
				Cognition score	-.03	0.32	0.01	1	.921	0.97	0.52	1.82
Coaches Evaluation (below average)				Intercept	.00	0.34	0.00	1	.999			
				Cognition score	-.09	0.35	0.06	1	.808	0.92	0.46	1.83

Note. The reference category is above average. Sample comprises $n = 57$ elite youth players. Cognition score = Football Intelligence score from NeurOlympics.

Tab. 43. Results of multinomial regression analyses for *Neurolympics* subtests variables (t2) with original categorization of coaches rating (above average vs. average vs. below average) after one year

Model	χ^2 (df)	McFaden		Predictor	B	SE	Wald	df	p	Exp(b)	95% CI for Exp(b)	
		Pseudo R ²	p								lower	upper
Four subtests (t2) Coaches Evaluation (average)	2.16 (8)	.02	.976	Intercept	.25	0.36	0.50	1	.480			
				Test 1 (Working Memory)	-.19	0.47	0.17	1	.679	0.83	0.33	2.06
				Test 2 (Anticipation)	.60	0.53	1.28	1	.257	1.81	0.65	5.07
				Test 3 (Cognitive control)	.06	0.49	0.02	1	.897	1.07	0.41	2.79
				Test 4 (Attention)	-.18	0.46	0.15	1	.697	0.84	0.34	2.05
Coaches Evaluation (below average)				Intercept	-.04	0.38	0.01	1	.916			
				Test 1 (Working Memory)	-.13	0.49	0.07	1	.791	0.88	0.33	2.30
				Test 2 (Anticipation)	.40	0.56	0.51	1	.474	1.49	0.50	4.45
				Test 3 (Cognitive control)	-.05	0.52	0.01	1	.919	0.95	0.35	2.61
				Test 4 (Attention)	-.24	0.48	0.26	1	.613	0.78	0.31	2.02

Note. The reference category is above average. Sample comprises $n = 48$ elite youth players.

Tab. 44. Results of multinomial regression analyses for NeurOlympics subtests cognition score (t2) with original categorization of coaches rating (above average vs. average vs. below average) after one year

Model	χ^2 (df)	McFaden		Predictor	B	SE	Wald	df	p	Exp(b)	95% CI for Exp(b)	
		Pseudo R ²	p								lower	upper
Cognition score (t2)	1.41 (2)	.01	.494									
Coaches Evaluation (average)												
				Intercept	.27	0.35	0.56	1	.455			
				Cognition score	.43	0.39	1.19	1	.275	1.53	0.71	3.28
Coaches Evaluation (below average)												
				Intercept	-.04	0.38	0.01	1	.926			
				Cognition score	.38	0.41	0.82	1	.364	1.46	0.65	3.27

Note. The reference category is above average. Sample comprises $n = 48$ elite youth players. Cognition score = Football Intelligence score from NeurOlympics.

ESM 11. Post-hoc sensitivity analyses

This post-hoc sensitivity analysis provides the minimum effect size (Cohen's f^2) that can be recognized with the specified sample size and the desired power. For continuous predictors, this can be interpreted as a measure of the sensitivity of the model.

Used package: pwr (Champlery, 2020) in R Statistical Software (v4.2.2; R Core Team, 2022)

Analysis #1: for diagnostic validity (logistic regression) with performance level (elite vs. sub-elite) as dependent variable and four subtests of NeurOlympics as predictors.

Minimal Cohen's $f^2 = 0.11$

```
> u <- 4
> n <- 110 # 57 elite, 53 sub-elite
> sig.level <- 0.05
> power <- 0.80
>
> results <- pwr.f2.test(u = u, v = n - u - 1, sig.level = sig.level, power = power)
>> print(results$f2)
[1] 0.1135057
```

Analysis #2: for diagnostic validity (logistic regression) with performance level (elite vs. sub-elite) as dependent variable and Cognition score ('Football Intelligence score') of NeurOlympics as predictor.

Minimal Cohen's $f^2 = 0.07$

```
> u <- 1
> n <- 110 # 57 elite, 53 sub-elite
> sig.level <- 0.05
> power <- 0.80
>
> results <- pwr.f2.test(u = u, v = n - u - 1, sig.level = sig.level, power = power)
> print(results$f2)
[1] 0.07261555
```

Analysis #3: for prognostic validity (logistic regression) with performance level (a: top-player vs no top-player; b: selected vs. deselected) as dependent variable and four subtests of NeurOlympics as predictors.

Minimal Cohen's $f^2 = 0.32$

```
> u <- 4
> n <- 57
> sig.level <- 0.013 # Benjamini-Hochberg correction
> power <- 0.80
>
> results <- pwr.f2.test(u = u, v = n - u - 1, sig.level = sig.level, power = power)
> print(results$f2)
[1] 0.3169957
```

Analysis #4: for prognostic validity (logistic regression) with performance level (a: top-player vs no top-player; b: selected vs. deselected) as dependent variable and the Cognition score ('Football Intelligence score') of NeurOlympics as predictor.

Minimal Cohen's $f^2 = 0.21$

```
> u <- 1
> n <- 57
> sig.level <- 0.013 # Benjamini-Hochberg correction
> power <- 0.80
>
> results <- pwr.f2.test(u = u, v = n - u - 1, sig.level = sig.level, power = power)
> print(results$f2)
[1] 0.2054497
```

Appendix D: Supplementary Material zum Beitrag 3

A) Comparison of General Computer Tasks and Soccer-Specific Soccerbot Tasks (for both Flanker task and Number-letter task)

Tab. 45. Methodological Description of the Tasks

Variable	Flanker task for inhibition		Number-letter task for cognitive flexibility	
	General	Soccer-specific	General	Soccer-specific
No. practice trials	4 (2 congruent, 2 incongruent)	4 (2 congruent, 2 incongruent)	16 (number only), 16 (letter only), 16 (number-letter combined)	4 (number only), 4 (letter only), 16 (number-letter combined)
No. test trials	144 (96 congruent, 48 incongruent)	108 (72 congruent, 36 incongruent)	128 (64 switch trials, 64 no-switch trials)	112 (56 switch trials, 56 no-switch trials)
No. test blocks (trials per block)	2 (72)	2 (54)	2 (64)	2 (56)
Break between blocks	30 s	30 s	Self-paced	30 s
Response correspondence	Fingertip on keyboard (white button “E” for target arrow pointing to the left; black button “I” for target arrow pointing to the right)	Pass to left goal for target player facing left or pass to right goal for target player facing right	Fingertip on keyboard (white button “E” for consonants and even numbers; black button “I” for vowels and odd numbers)	Pass to left goal for consonants and even numbers or pass to right goal for vowels and odd numbers
Stimulus presentation	5 arrows (middle arrow as target arrow; 2 × 2 flanker arrows)	5 soccer players (middle player as target player; 2 × 2 flanker players)	Letter-number pair in a 2 × 2 matrix in front of white background	Letter-number-pair in a 2 × 2 matrix in front of green background

Variable	Flanker task for inhibition		Number–letter task for cognitive flexibility	
	General	Soccer-specific	General	Soccer-specific
Randomization of presented stimuli	Yes	No	Yes	No
Fixator (fixation duration)	Yellow ★ (1,000 ms)	Black + (1,000 ms)	Yellow quadrant at the beginning of each block (2,000 ms)	Yellow quadrant at the beginning of each block (2,000 ms)
Response–stimulus interval	1,000 ms	1,000 ms	150 ms (correct response) 1,500 ms (incorrect response)	1,000 ms
Response time out	1,750 ms	No	No	No
Cronbach's Alpha (reaction time)	Congruent: .93 Incongruent: .89	Congruent: .96 Incongruent: .95	Switch: .95 No-Switch: .93	Switch: .94 No-Switch: .95
Split-Half Reliability (reaction time)	Congruent: .89 Incongruent: .86	Congruent: .98 Incongruent: .96	Switch: .82 No-Switch: .82	Switch: .92 No-Switch: .90

B) Comparisons to Previous Inhibition and Cognitive Flexibility Tasks

Tab. 46. Detailed Comparisons to Previous Cognitive Tasks (i.e., Flanker task, number-letter task)

Author	Participants	Objectives	Flanker Task Design
Howard et al. (2014)	115 students & 120 undergraduates'	Evaluating Inhibition models for diversity and development of attentional inhibition	Trials: 60 (30 congruent & 30 incongruent randomly selected) Response time out: 2000ms Fixation duration: 250ms fixation cross
Krenn et al. (2018)	184 Australian elite athletes ($M_{age} = 23.2$)	examine differences in executive functions depending on sport type	Trials: 108 (72 congruent & 36 incongruent) Response-stimulus interval: 1000ms Inter-trial interval: 500, 750 or 1000ms (randomized & counterbalanced)
Ridderinkhof & van der Molen (1995)	Males: 5-6 years ($n = 10$), 7-9 years ($n = 18$), 10-12 years ($n = 17$), adults ($n = 17$)	age- related changes in visual selective attention	Trials: 264 (88 congruent, 88 incongruent, 88 neutral) Inter-trial interval: 2500 and 3500m (varied randomly) Stimuli presented for 1360ms
Stins et al. (2007)	137 12-year- old children	ability to deal with response conflict & performance variation on response interference tasks by genetic variation	Trials: 80 (40 congruent & 40 incongruent) Fixation duration: 500ms white fixation cross Inter-trial interval: 800ms
Wu et al. (2011)	48 preadolescent children ($M_{age} = 10.1$)	Relationship between aerobic fitness and cognitive variability in preadolescent Children	Trials: 200 (100 congruent & 100 incongruent) Stimuli presented for 200ms Inter-trial interval: 1700ms

Author	Participants	Objectives	Number-Letter Task Conditions
Benedek et al. (2014)	230 students ($M_{age} = 23.0$)	Common and differential relationship of executive functions to fluid intelligence and creativity.	Letter-Trials: 24 Number-Trials: 24 Combined Trials: 72 (3 blocks) Response-Stimulus Interval: not reported
Gamboz, Borella and Brandimonté (2009)	40 younger adults ($M_{age} = 29.2$) 40 older adults ($M_{age} = 67.8$)	Explore how local and global switching, inhibition and working memory, assessed through the Number–Letter, the Stop Signal and the Reading Span tasks, relate to older adults’ performance in the WCST.	Letter Trials: 64 Number-Trials: 64 Combined Trials: 128 (one block) Inter-Trial-Interval: 200 ms
Miyake et al (2000)	137 undergraduate students (no mean age reported)	Examine the separability of three often postulated executive functions (Shifting, Updating, Inhibition) and their roles in complex “frontal lobe” or “executive” tasks.	Letter-Trials: 32 Number-Trials: 32 Combined Trials: 128 Response-Stimulus-Interval: 150 ms
Parong (2015)	89 physical active students ($M_{age} = 21.8$)	Effect of Exergames (cognitive engagement and physical activity) on executive functions	Letter Trials: 24 Number-Trials: 24 Trials: 96 trials (one block) Response-Stimulus-Interval: not reported
Purić & Pavlović (2012)	62 undergraduate psychology students (no mean age reported)	Explore the executive function of shifting and its relation to intelligence and personality constructs.	Practice Trials: 32 Trials: 128 Inter-Stimulus-Interval: 150 ms
Steinberg & Doppelmayr (2017)	20 certified recreational divers ($M_{age} = 30.0$)	Comparison of executive functions on land and in water (5-m depth and 20-m depth)	Letter Trials: 16 Number-Trials: 16 Combined Trials: 32 (two blocks) Response-Stimulus-Interval: 300 – 500ms

C) Detailed Description of the Soccer-specific Tasks in the SoccerBot360



Fig. 20. SoccerBot360

Soccer-specific tasks in the SoccerBot360

Soccer-specific flanker task. The adapted version of the Flanker task was presented to the participants in the SoccerBot360. Instead of arrows, 5 soccer players were presented from the side. In accordance with the Flanker task, the target player was in the middle surrounded by two players on each side. Each soccer player was wearing the same clothes (i.e., black shirt and short with one red strip) and had a height of 1.80m, the feet were 0.83m wide, arms 0.50m and the heads of the players 0.22m. The distances between the players were 0.79m to the head, 0.50m to the hand and 0.18m to the feet. The distance from the goals to the middle of the target stimuli player was 2.50m.

Soccer-specific number-letter task. The adapted version of the number-letter task was presented to the participants in the SoccerBot360. The 2x2 matrix was displayed on two of the wall segments with a size of 2x2 meters. The distance of the two goals (width: 2.20 meters, height: 0.95 meters) in which the participants were asked to pass to the matrix was 0.40 meter to the left and right. Therefore, eight of the 52 plates were being used for this task. The presented stimuli had a height of 0.30 meters and a width of 0.33 meters.

C Data of Soccer-Specific Flanker Task

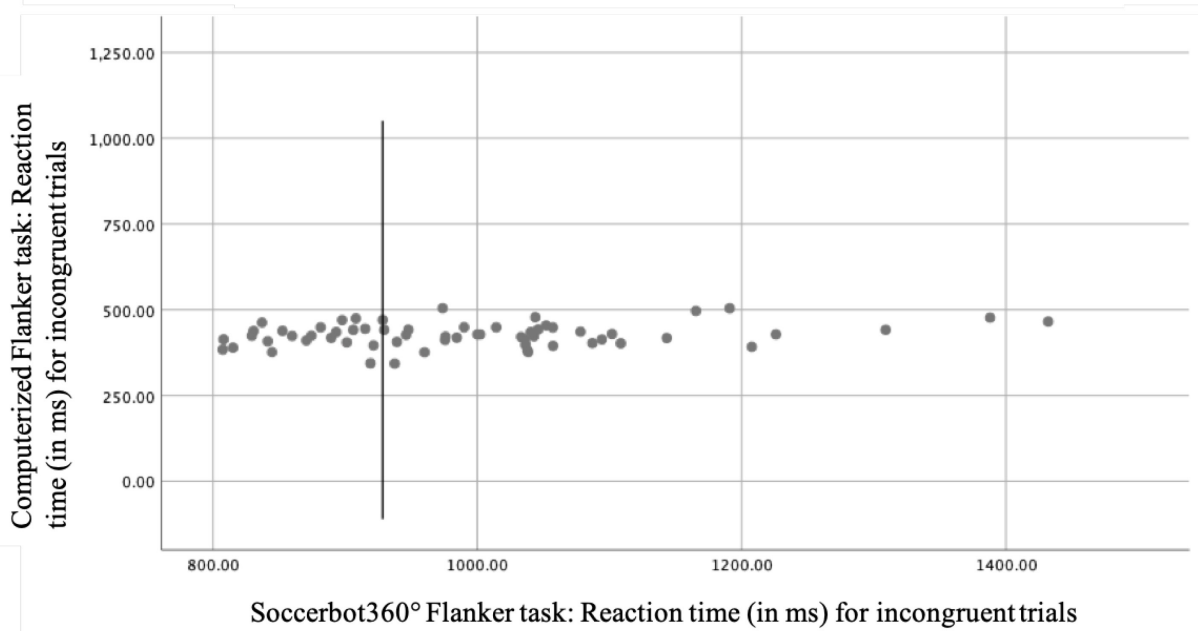
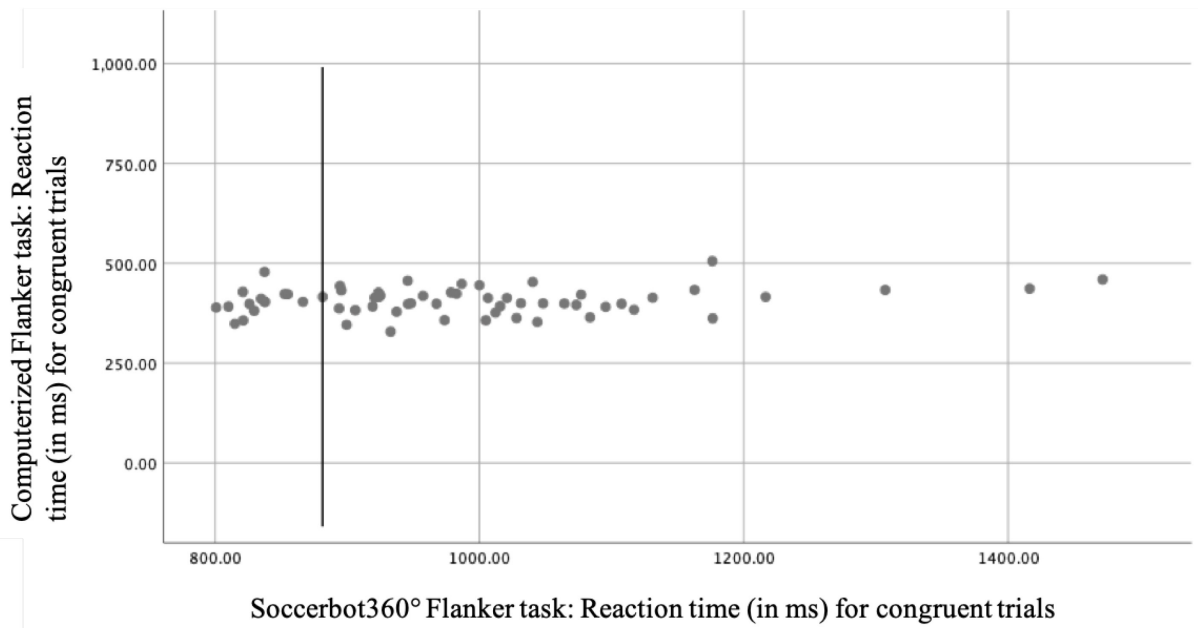


Fig. 21. Scatterplots for General and Sport-Specific Flanker Task for Congruent and Incongruent Trials

Tab. 47. Comparison of the applied stimuli dimensions for the soccer-specific flanker tasks

Stimuli dimensions	SoccerBot360 (Study 1)	SoccerBot100 (Study 2)
Height	1.80 m	0.38 m
Width		
Feet	0.83 m	0.20 m
Arms	0.50 m	0.12 m
Head	0.22 m	0.70 m
Distances		
Head to Head	0.79 m	0.14 m
Hand to Hand	0.50 m	0.10 m
Feet to Feet	0.18 m	0.50 m
Goal to Target Player	2.50 m	1.20 m

Appendix E: Supplementary Material zum Beitrag 4

A) Method



Fig. 22. SoccerBot360

SoccerBot360 Functionality

Due to the circular arrangement of the SoccerBot's individual projection segments, players only need one ball, which they can play against the target surface. The ball then returns to the player, allowing continuous interaction. For response time measurements, the SoccerBot starts timing as soon as the ball leaves the player's foot. Players are instructed to kick from a designated spot in the center of the SoccerBot. However, slight deviations may occur due to natural movement during passing and receiving. Players are free to choose which foot to use and can switch between them at any time (e.g., alternating between right and left foot).

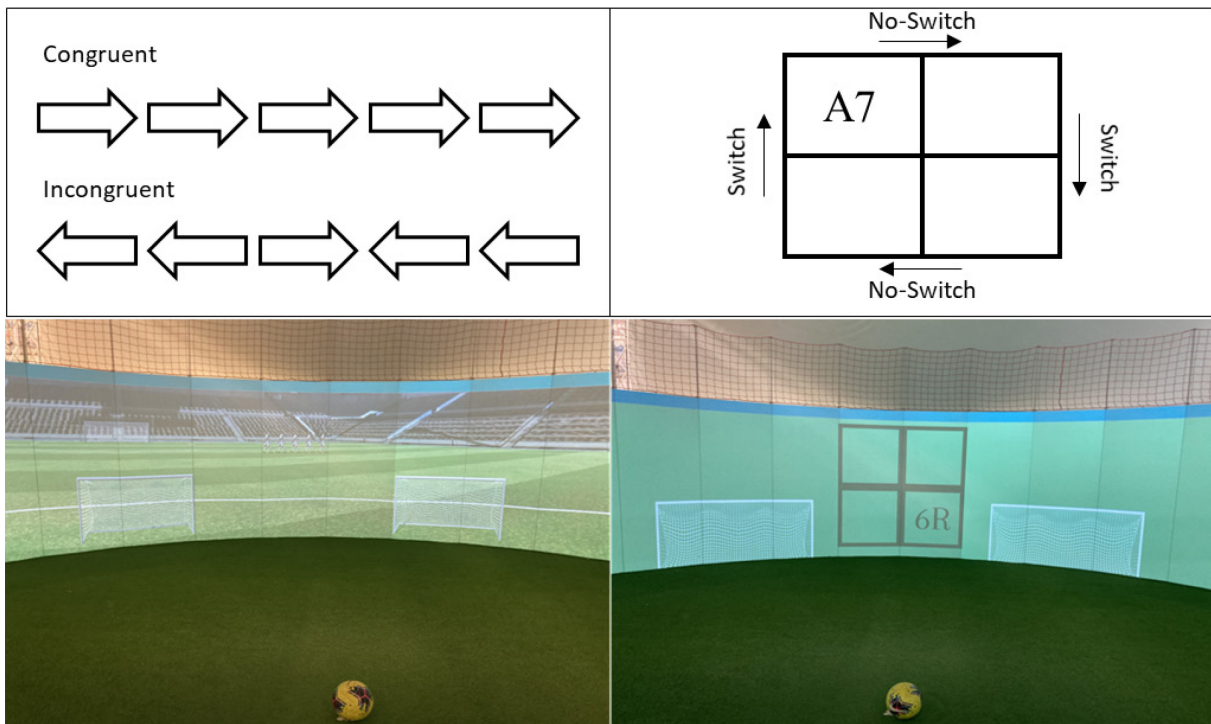


Fig. 23. Task Display for Measuring Inhibition (Left) and Cognitive Flexibility (Right) on the Computer and Adapted for the SoccerBot360.

B) Data Analyses

To address the multicollinearity among the cognitive variables and avoid distortion in the regression analyses, we conducted a principal component analysis to reduce the data. For better interpretability of the factors from the principal component analysis, we applied a Promax rotation based on the assumption that the factors are correlated. Four predetermined factors (Response time PC, Response time SB, Accuracy PC, Accuracy SB) were considered in this process. The strongest loadings of the components on each factor are highlighted in bold.

Tab. 48. Factor loadings of the principal component analysis.

Components	1	2	3	4
SB_RT_NoSwitch	.623	.594	.089	-.137
SB_RT_Switch	.704	.496	.061	-.164
SB_Acc_Noswitch	-.754	.256	-.084	.300
SB_Acc_Switch	-.755	.336	-.147	.266
SB_RT_Congruent	-.013	.916	.099	-.113
SB_RT_Incongruent	-.005	.912	.124	-.119
SB_ACC_Congruent	.100	.140	.672	-.033
SB_ACC_Incongruent	-.045	.057	.649	-.181
PC_RT_Noswitch	.759	.186	-.123	-.038
PC_RT_Switch	.738	.210	-.129	.308
PC_Acc_Noswitch	-.041	-.051	.055	.865
PC_Acc_Switch	-.270	-.122	.102	.852
PC_RT_Congruent	.261	.521	.482	.302
PC_RT_Incongruent	.292	.578	.445	.312
PC_ACC_Congruent	-.056	-.067	.668	.229
PC_ACC_Incongruent	-.115	.311	.547	.203

C) Results

Tab. 49. Descriptive Data on Computerized and Soccer-Specific Tasks for Inhibition and Cognitive Flexibility.

Variable	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Inhibition (Flanker task)	<i>computerized</i>				<i>SoccerBot360</i>			
RT congruent (ms)	401.88	35.70	321.09	505,41	980.75	146.48	710,64	1595,19
RT incongruent (ms)	404.23	39.52	320.71	523,41	991.44	145.51	708,83	1631,77
RT flanker effect (ms)	21.88	16.69	-20.74	63,23	10.68	20.90	-39,66	53,50
ACC congruent (%)	98.15%	1.78%	92.71%	100,00%	99.83%	0.88%	93,06%	100,00%
ACC incongruent (%)	96.11%	3.39%	87.50%	100,00%	99.81%	0.70%	97,22%	100,00%
ACC flanker effect (%)	2.03%	3.17%	-4.17%	10,14%	-0.01%	0.90%	-2,78%	4,17%
Cognitive flexibility (number-letter-task)								
RT noswitch (ms)	970.57	248.87	667,47	2177,59	1307.50	327.21	883.05	2606.88
RT switch (ms)	1563.59	467.69	747,16	2937,79	1501.14	454.83	993.88	3448.59
RT switch costs (ms)	593.01	341.42	21,66	1568,21	214.53	202.63	-143.91	867.66
ACC noswitch (%)	92.28%	9.27%	53,1%	100,0%	92.42%	12.06%	46.43%	100.00%
ACC switch (%)	84.32%	10.81%	48,44%	100,00%	90.16%	12.96%	35.71%	100.00%
ACC switch costs (%)	7.95%	6.06%	-4,69%	25,00%	2.25%	6.84%	-41.07%	16.07%

Note. RT = Response time, ACC = Accuracy.

Tab. 50. Multinomial Logistic Regression Results: Coaches' Evaluations of Players' Future Performance Levels.

Predictor	B	p	OR	95% - CI
Coaches Evaluation (Category C = Non-elite)				
Factor 1	-.233	.486	.792	.412 – 1.525
Factor 2	-.028	.937	.973	.481 – 1.964
Factor 3	-.579	.125	.560	.268 – 1.174
Factor 4	0.441	.237	1.554	.748 – 3.225
Age	.182	.458	1.199	.742 – 1.938
Coaches Evaluation (Category B = Sub-elite)				
Factor 1	-.286	.310	.751	.432 – 1.305
Factor 2	.159	.589	1.172	.658 – 2.088
Factor 3	-.046	.904	.955	.457 – 1.999
Factor 4	.048	.862	1.049	.611 – 1.802
Age	.019	.932	1.019	.667 – 1.557

Note. Reference category = A (Elite).

Tab. 51. Multinomial Logistic Regression Results: Attained League Levels in the first Senior Season.

Predictor	B	p	OR	CI
First Year League Level (Category 2 = Sub-elite)				
Factor 1	.043	.895	1.044	.552 – 1.973
Factor 2	.403	.301	1.496	.697 – 3.211
Factor 3	-.232	.563	.793	.361 – 1.743
Factor 4	.308	.331	1.360	.731 – 2.532
Age	-.007	.979	.993	.591 – 1.667
Coaches Evaluation (C)	1.449	.127	4.260	.664 – 27.348
Coaches Evaluation (B)	.758	.292	2.135	.520 – 8.761
First Year League Level (Category 3 = Non-elite)				
Factor 1	.488	.204	1.629	.768 – 3.454
Factor 2	.625	.168	1.869	.769 – 4.543
Factor 3	-.428	.336	.652	.273 – 1.558
Factor 4	-.004	.992	.996	.433 – 2.291
Age	-.509	.145	.601	.303 – 2.291
Coaches Evaluation (C)	2.658	.046	14.264	1.054 – 193.126
Coaches Evaluation (B)	1.755	.128	5.783	.604 – 55.387

Note. Reference category = 1 (Elite).

Tab. 52. Multinomial Logistic Regression Results: Attained League Levels in the Season 2024/2025 ($t1 + 5$).

Predictor	<i>B</i>	<i>p</i>	OR	CI
First Year League Level (Category 2 = Sub-elite)				
Factor 1	-.521	.182	.594	.276 – 1.277
Factor 2	-.825	.058	.438	.187 – 1.027
Factor 3	.229	.558	1.258	.584 – 2.707
Factor 4	-.455	.338	.634	.250 – 1.609
Age	-.188	.565	.829	.437 – 1.571
Coaches Evaluation (C)	-1.669	.164	.188	.018 – 1.977
Coaches Evaluation (B)	-.779	.424	.459	.068 – 3.092
First Year League Level (Category 3 = Non-elite)				
Factor 1	-.235	.437	.791	.438 – 1.428
Factor 2	-.200	.505	.818	.454 – 1.476
Factor 3	.151	.612	1.163	.649 – 2.085
Factor 4	-.021	.959	.979	.447 – 2.147
Age	.171	.475	1.187	.742 – 1.897
Coaches Evaluation (C)	-.458	.625	.633	.101 – 3.964
Coaches Evaluation (B)	-.490	.570	.613	.113 – 3.322

Note. Reference category = 1 (Elite).

Appendix F: Supplementary Material zum Beitrag 5

Supplementary Information A: Detailed description of the core executive functions, potential relevance for soccer and empirical studies in soccer.

Working memory refers to “holding information in mind and mentally working with it (or said differently, working with information no longer perceptually present [...])” (Diamond, 2013; p. 7). In soccer, working memory might be necessary to store relevant tactical instructions from the coach (Hall, 2018). Studies show distinct results pointing towards there being no significant differences in visuo-spatial working memory in highly talented vs. age-matched amateur soccer players (Verburgh et al., 2014) and in working memory in elite vs. sub-elite youth soccer players (Huijgen et al., 2015), but it has also been shown to be more developed in youth elite athletes compared to non-elites (Vestberg et al., 2017).

Inhibition control (synonymous to *executive attention* or *selective* or *focused attention*) refers to the ability “to control one’s attention, behavior, thoughts, and/or emotions to override a strong internal predisposition or external lure, and instead do what’s more appropriate or needed” (Diamond, 2013, p. 2). In soccer, inhibition control might be relevant to suppress the execution of an initiated task, e.g., pass because of new relevant information, e.g., a defender intercepting (Musculus et al., 2022). In soccer, studies show that academy players outperform sub-elite players in inhibitory control (Huijgen et al., 2015) and amateur youth players on motor inhibition (Verburgh et al., 2014; 2016). No published empirical findings exist that show no or a reverse difference between elite and sub-elite players or novices.

Cognitive flexibility (also *attention switching* or *task switching*) refers to the ability of “shifting back and forth between multiple tasks, operations, or mental sets [...] [and] may not be a simple reflection of the ability to engage and disengage appropriate task sets per se but may also (or even instead) involve the ability to perform a new operation in the face of proactive interference or negative priming” (Miyake et al., 2000, p. 56). In soccer, cognitive flexibility might be helpful to switch between different tactical approaches, e.g., depending on which team possesses the ball or how the opponent builds up (Musculus et al., 2022). It was found that youth elite players significantly outperform youth sub-elite players on cognitive flexibility (Huijgen et al., 2015). Others have found significant differences in the more complex tasks measuring cognitive flexibility but not in the less demanding tasks (i.e., the *colorword interference test*), comparing higher league vs. lower league adult players (Vestberg et al., 2012). A recent investigation shows an association of cognitive flexibility (assessed via the *determination test*) with football performance, that is no longer present when controlling for age (Radke et al., 2023).

- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, *64*(1), 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Hall, J. (2018). Developing expert performance in sport: integrating working memory training into football coaching. *Dissertation thesis*.
- Huijgen, B. C., Leemhuis, S., Kok, N. M., Verburgh, L., Oosterlaan, J., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2015). Cognitive functions in elite and sub-elite youth soccer players aged 13 to 17 years. *PloS one*, *10*(12), e0144580. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144580>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, *41*(1), 49-100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Musculus, L., Lautenbach, F., Knöbel, S., Reinhard, M. L., Weigel, P., Gatzmaga, N., ... & Pelka, M. (2022). An assist for cognitive diagnostics in soccer: two valid tasks measuring inhibition and cognitive flexibility in a soccer-specific setting with a soccer-specific motor response. *Frontiers in psychology*, *13*, 867849. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.867849>
- Radke, L., Mertens, A., Spielmann, J., & Mayer, J. (2023). Being ahead of the game—the association between executive functions and football performance in high-level football players. *German Journal of Exercise and Sport Research*, *53*(3), 288-300. <https://doi.org/10.1007/s12662-023-00885-8>
- Verburgh, L., Scherder, E. J., van Lange, P. A., & Oosterlaan, J. (2014). Executive functioning in highly talented soccer players. *PloS one*, *9*(3), e91254. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091254>.
- Verburgh, L., Scherder, E. J., Van Lange, P. A., & Oosterlaan, J. (2016). Do elite and amateur soccer players outperform non-athletes on neurocognitive functioning? A study among 8-12 year old children. *PloS one*, *11*(12), e0165741. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165741>
- Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive functions predict the success of top-soccer players. *PloS one*, *7*(4), e34731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034731>
- Vestberg, T., Reinebo, G., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2017). Core executive functions are associated with success in young elite soccer players. *PloS one*, *12*(2), e0170845. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170845>

Supplementary Information B: Details on the used cognitive tests.

B1.1: Description of the tests of *NeurOlympics*

In test 1 ('working memory'), participants need to remember the position of varying number of 'neurons' in a 5x5 matrix. In a second subtest, participants are asked to detect the change of direction occurring in one of varying numbers of 'neurons' that appear twice (test is based on: Kyllingsbæk & Bundesen, 2009; McNab & Dolan, 2014). In test 2 ('anticipation'), participants are asked to use four cannons (two horizontal, two diagonal) to shoot on 'neurons' that fall from six different tubes (game has been custom-made by BF and is not based on other tasks measuring anticipation). In test 3 ('cognitive control') participants need to react as fast as possible correctly to three 'neurons' displayed next to each other in two different colors indicating the location (left or right) in which the neuron with the same color as the central neuron is (test is based on: Isoda & Hikosaka, 2007; Neubert et al., 2010)). In test 4 ('attention'), participants need to indicate the direction to which the central of five 'neurons' points to, ignoring the irrelevant other four 'neurons' (test is based on: Fan et al., 2005; 2009). The order of the tests is fixed, and the test battery lasts ca. 45 minutes in total. Each test has a standardized instruction and familiarization process prior to the test to ensure understanding. Questions were answered after the familiarization process but not during testing. According to the company offering the test, the test-retest reliability of the games lies between $.80 \leq r \leq .90$ (in a to the authors of this study unknown sample and test-retest interval).

- Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005). The activation of attentional networks. *Neuroimage*, *26*(2), 471-479. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.004>
- Fan, J., Gu, X., Guise, K. G., Liu, X., Fossella, J., Wang, H., & Posner, M. I. (2009). Testing the behavioral interaction and integration of attentional networks. *Brain and cognition*, *70*(2), 209-220. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2009.02.002>
- Isoda, M., & Hikosaka, O. (2007). Switching from automatic to controlled action by monkey medial frontal cortex. *Nature neuroscience*, *10*(2), 240-248. <https://doi.org/10.1038/nn1830>
- Kyllingsbæk, S., & Bundesen, C. (2009). Changing change detection: Improving the reliability of measures of visual short-term memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(6), 1000-1010. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.6.1000>
- McNab, F., & Dolan, R. J. (2014). Dissociating distractor-filtering at encoding and during maintenance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40*(3), 960. <https://doi.org/10.1037/a0036013>
- Neubert, F. X., Mars, R. B., Buch, E. R., Olivier, E., & Rushworth, M. F. (2010). Cortical and subcortical interactions during action reprogramming and their related white matter pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(30), 13240-13245. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000674107>

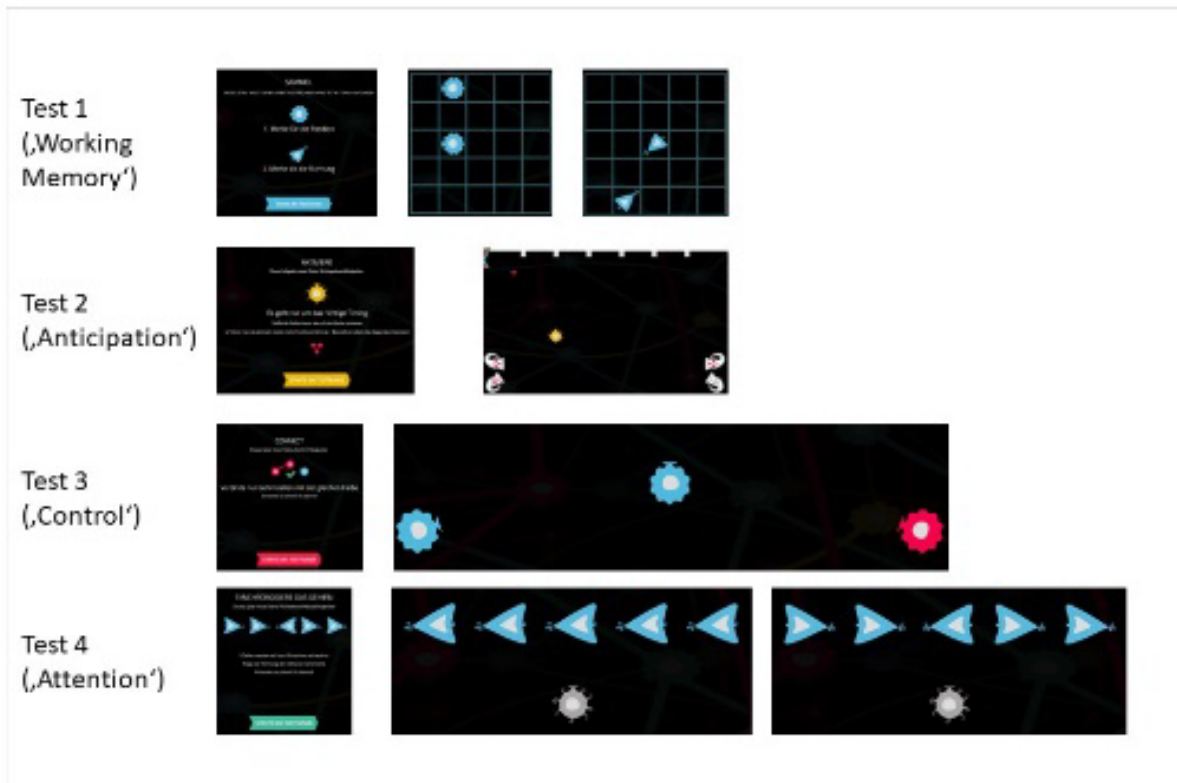
B1.2: Screenshot of the generic stimuli of *NeurOlympics*.


Fig. 24. Screenshot of the generic stimuli of *NeurOlympics*.

Participants react to the stimuli by clicking on the respective field in which they think the correct answer is (test 1 working memory), pressing „1“ (upper left canon), „q“ (bottom left canon), „0“ (upper right canon) or „o“ (bottom right canon) to ‚shoot‘ at objects falling in varying speed from six different locations (test 2 anticipation), pressing „1“ (left) or „0“ (right) (test 3 cognitive control; test 4 attention). A demo-version of the test can be reached online via neurolympics.nl.

B2.1. Overview of visual and auditory stimuli and responses in the determination test.

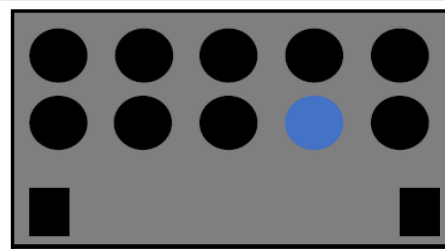
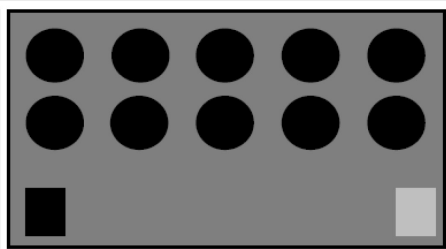
	Visual stimuli (example)	
press blue button on keyboard	Correct response	press right foot pedal
Red, white, yellow, green, blue circle at any of the 10 circles	Other visual stimuli	Grey bottom-left rectangle
press red, white, yellow, or green button on keyboard	Other response options	Press left foot pedal
Auditory stimuli (example)		200Hz high tone
Correct response		Press upper rectangular grey button on keyboard
Other auditory stimuli		100hz low tone
Other response options		Press lower rectangular black button on keyboard

Fig. 25. Overview of visual and auditory stimuli and responses in the determination test.

B2.2. Schematic illustration of the set up for the determination test.

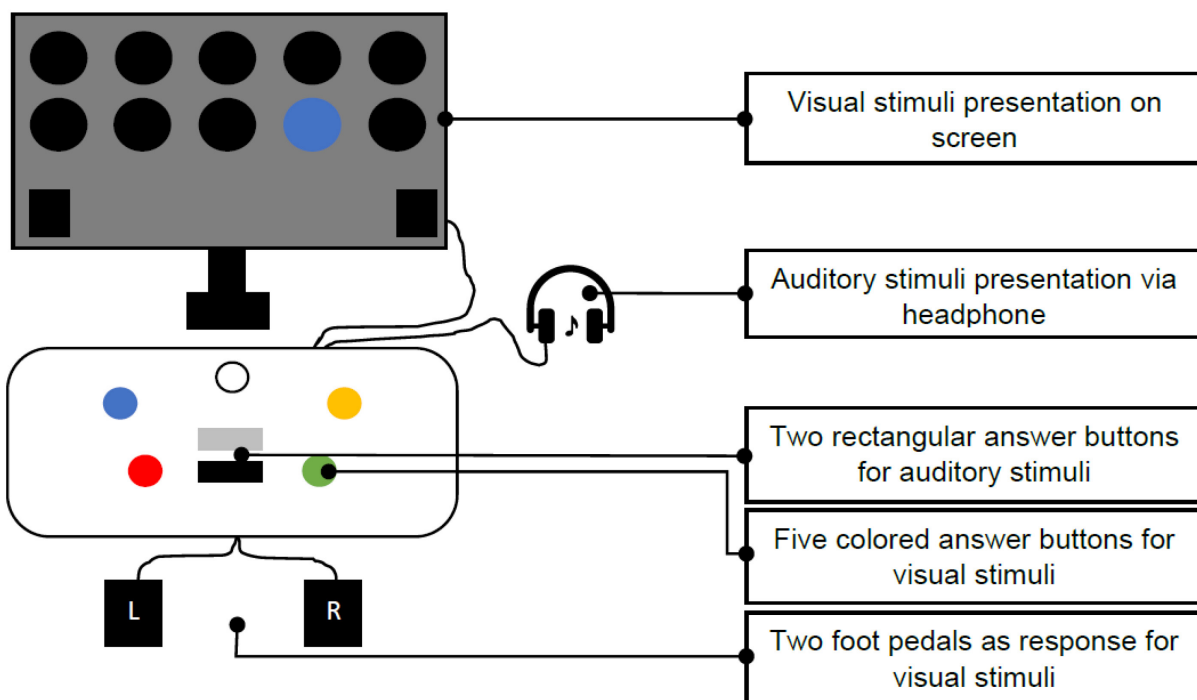


Fig. 26. Schematic illustration of the set up for the determination test.

B2.3 Information on psychometric properties of determination test

The familiarization process of the Version S1 of the determination tests lasts approximately two minutes. The internal consistency ($\alpha > .98$; Kiss et al., 2020) and test-retest reliability ($r = .89$; Neuwirth & Benesch, 2007) of the determination test have been reported to be high and is reported to be a reliable measure (Ong, 2015).

Kiss, B., Balogh, L., Münnich, Á., & Csukonyi, C. (2020). A sport-psychological diagnostic examination of young EHF handball referees with a focus on mental skills. <https://doi.org/10.7752/jpes.2020.04268>

Neuwirth, W., & Benesch, M. (2007). Manual DT: Determination test, version 33.00. *SCHUHFRIED GmbH: Mödling, Austria.*

Ong, N. C. H. (2015). The use of the Vienna Test System in sport psychology research: A review. *International review of sport and exercise psychology*, 8(1), 204-223. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2015.1061581>

B3.1. Schematic illustration of the video set-up for the 360°-videos presented.

The 360°-camera stands at position „6“ (yellow circle, white team). The white team is in possession and either the striker (number „9“) or the left defender (number „2“) plays the ball to the 360°-camera at the end of the sequence.



Fig. 27. Schematic illustration of the video set-up for the 360°-videos presented

B3.2. Screenshot of 360°-video presented.

Video clip from the perspective of the player within the 360°-Head-Mounted Display. The left defender (white) has just played the ball to the 360°-camera. The ball is marked with a blue dot.



Fig. 28. Screenshot of 360°-video presented.

B3.3. Psychometric properties of 360°-video decision-making test

The familiarization process of the 360°-video decision-making tests consists of three videos prior to each block. A version of this decision-making test has been evaluated and shows acceptable internal consistency ($r = .78$) and prognostic validity in a sample of U17 and U19 players (correctly assigning 71% players three years later to their playing level based on their performance in 360°-video decision-making test) (Höner et al., 2023).

Höner, O., Dugandzic, D., Hauser, T., Stügelmaier, M., Willig, N., & Schultz, F. (2023). Do you have a good all-around view? Evaluation of a decision-making skills diagnostic tool using 360 videos and head-mounted displays in elite youth soccer. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1171262. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1171262>

Supplementary Information C: Rationale and Syntax for using standardized residuals for logistic regression analyses.

C1. Rationale for standardized residuals

Cognition develops throughout childhood and adolescence (Casey et al., 2005; Karr et al., 2018). As it has been shown in soccer, that the relationship of reactive stress tolerance and playing performance diminishes when controlling for age (Radke et al., 2023), we consider it vital to consider age-related processes when examining the diagnostic validity of the tests. Therefore, we used the standardized residuals of each cognitive variable for logistic regression analyses. Below, you can find the full syntax and control check for the standardized residuals. We first ran a logistic regression with age as independent variable with each of the cognitive variables separately, saving the standardized residuals. In a second step, we checked the independence of age and each standardized residuals (yielding in $r = 0.00$) for each correlation. Lastly, we examined whether age and the standardized residual of the respective cognitive variable would fully explain the original cognitive test performance, which was the case with R^2 of 1.00 for each regression analyses. The syntax for the three steps can be found exemplary for 360°-video decision-making performance below. The same procedure has been done for the other three cognitive variables.

Casey, B. J., Tottenham, N., Liston, C., & Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development?. *Trends in cognitive sciences*, 9(3), 104-110. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.01.011>

Karr, J. E., Areshenkoff, C. N., Rast, P., Hofer, S. M., Iverson, G. L., & Garcia-Barrera, M. A. (2018). The unity and diversity of executive functions: A systematic review and re-analysis of latent variable studies. *Psychological bulletin*, 144(11), 1147. <https://doi.org/10.1037/bul0000160>

Radke, L., Mertens, A., Spielmann, J., & Mayer, J. (2023). Being ahead of the game—the association between executive functions and football performance in high-level football players. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 53(3), 288-300. <https://doi.org/10.1007/s12662-023-00885-8>

C2. SPSS-Syntax for binary logistic regression analyses using 360°-video decision making performance as an example.

```

REGRESSION
/DESCRIPTIVES MEAN STDDEV CORR SIG N
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS CI(95) R ANOVA
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) TOLERANCE(.0001)
/NOORIGIN
/DEPENDENT DM360°
/METHOD=ENTER Age
/SAVE ZRESID.

Syntax to check independence of age and standardized residuals.
CORRELATIONS
/VARIABLES=Age ZRES_DM360°
/PRINT=TWOTAIL NOSIG FULL
/MISSING=PAIRWISE.

Syntax to check full variance explanation of age and standardized residuals for decision-
making performance.
REGRESSION
/DESCRIPTIVES MEAN STDDEV CORR SIG N
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS CI(95) R ANOVA
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) TOLERANCE(.0001)
/NOORIGIN
/DEPENDENT DM360°.
/METHOD=ENTER Age ZRES_DM360°.

```

Fig. 29. SPSS-Syntax for binary logistic regression analyses using 360°-video decision making performance as an example.

Supplementary Information D: Correlation Tables

D1. Table showing bivariate correlations and partial correlations for the relationship between test performance and playing level (controlling for age at test day).

Tab. 53. Bivariate correlations and partial correlations for the relationship between test performance and playing level (controlling for age at test day).

			Football-Spec. ²		Generic	Correct
			DM ³	FI	RT ⁴	
Generic	BF	FI Score ¹	<i>r</i>	.28**		
			<i>r_p</i>	.26**		
	DT	reaction time	<i>r</i>	-.35***	-.22*	
			<i>r_p</i>	-.07	-.19*	
		correct	<i>r</i>	.34***	.16	-.76***
			<i>r_p</i>	.11	.13	-.69***
Playing level ⁵			<i>r_p</i>	.51***	.30**	-.17
						.11

¹Football Intelligence Score, ²Football-Specific, ³Decision-Making, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ⁴ reaction time, ⁵ playing level: academy vs. club.

D2. Correlation matrix showing the relationship between cognitive variables and age group (Spearman rho correlation), respectively, age at test day (Pearson correlation).

Tab. 54. Correlation matrix showing the relationship between cognitive variables and age group (Spearman rho correlation), respectively, age at test day (Pearson correlation).

			Age Group	Age at test day
Football-spec.	360°	Decision-making	.49***	.51***
Generic	BF	FI score ¹	.13	.11
	DT	reaction time	-.58***	-.59***
		correct answers	.49***	.50***

¹ note that the FI score is presented in percentile ranks (with an age-matched norm group), hence no association between FI score and age group or age at test day is expected. *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

Supplementary Information E. Scatter Plots displaying cognitive performance and age, grouped by playing level.

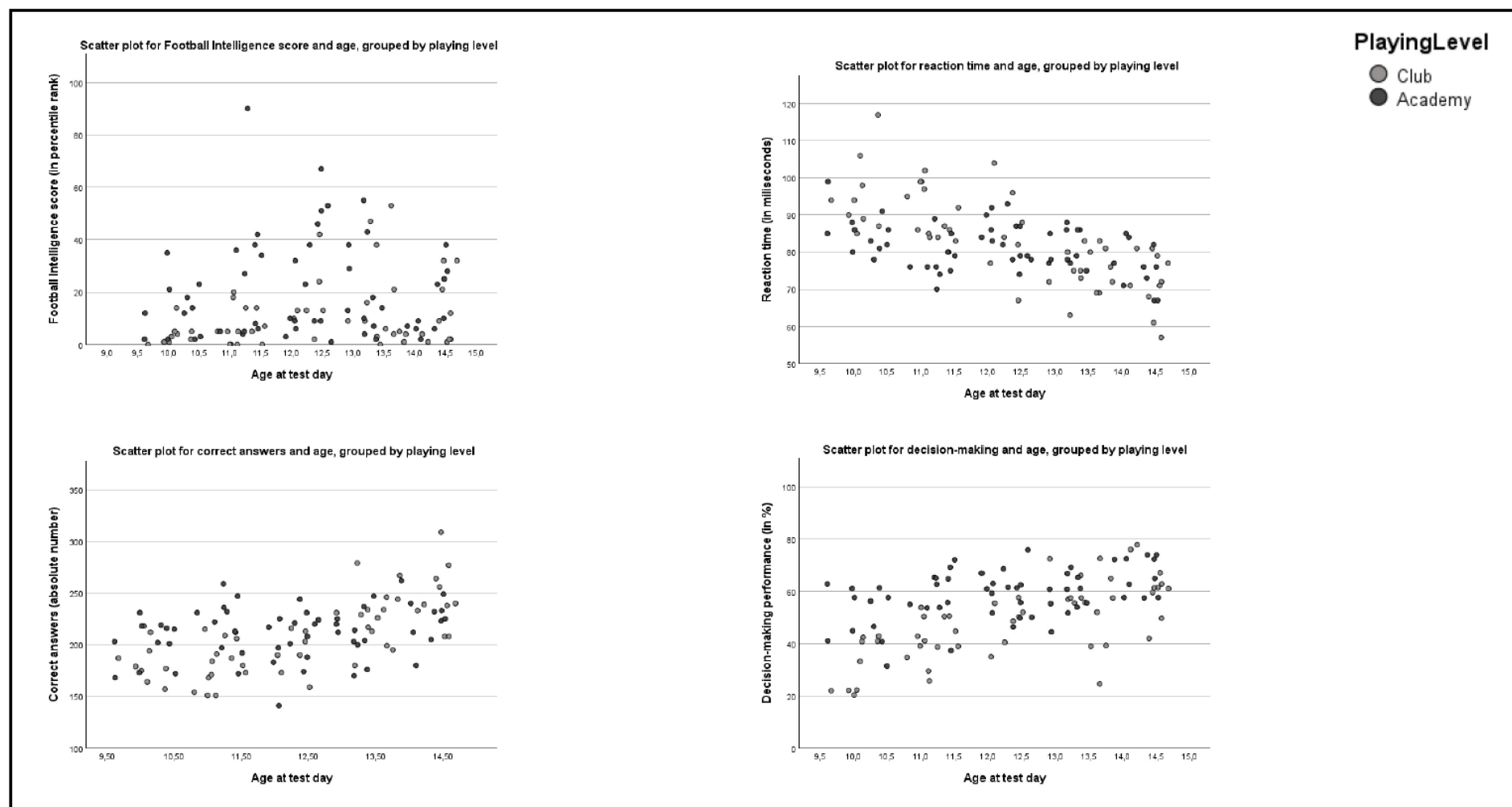


Fig. 30. Scatter plots displaying cognitive performance and age, grouped by playing level.

Supplementary Information F Results from AIC, AICc and LL Analyses

F1. Overview of Akaike Information Criteria (AIC), AIC corrected for small samples sizes (AICc) and Bayesian Information Criterion (BIC) for the different models in logistic regression analyses using the standardized residuals of the respective cognitive variables as independent variables.

Tab. 55. Overview of Akaike Information Criteria (AIC), AIC corrected for small samples sizes (AICc) and Bayesian Information Criterion (BIC) for the different models in logistic regression analyses using the standardized residuals of the respective cognitive variables as independent variables.

Model [#]	AIC	Δ AIC	AICc ¹	Δ AICc	AICcWt ²	LL ³	BIC	Δ BIC
Model ABC	121.73		121.95		0.77	-57.86	129.82	0.18
Model A	124.24	2.51	124.35	2.40	0.23	-60.12	129.64	
Model B	145.34	23.61	145.45	23.50	0.00	-70.67	150.74	20.90
Model C	155.09	33.36	155.32	33.36	0.00	-74.55	163.19	33.55

[#]Models are sorted according to the size of AICc (increasing). Model A: decision-making performance, Model B: FI score, Model C: reactive stress tolerance variables, Model ABC: all cognitive variables, method: forward stepwise. ¹corrected for small sample sizes, as the ratio of sample size and number of estimable parameters (n/k) is < 40 for the model with the largest k (Model D: $110/4 = 27.5$). ² AICc weight, ³ Log-likelihood.

1 Anderson DR, Burnham KP. Avoiding pitfalls when using information-theoretic methods. *The Journal of Wildlife Management* 2002;912–918.

F2. Results of the LogLikelihood Ratio tests

Tab. 56. Results of the LogLikelihood Ratio tests

	LogLik (df)	χ^2	p
Model A	-60.12		
Model ABC	-57.86 (1)	4.51	0.034
Model B	-70.67 (0)	25.61	< 0.001
Model C	-74.55 (1)	33.36	< 0.001

[#]Models are sorted according to the size of χ^2 (increasing). Model A: decision-making performance, Model B: FI score, Model C: reactive stress tolerance variables, Model ABC: all cognitive variables.

Supplementary Information G. Receiver Operator Characteristics (ROC) analyses

G1.

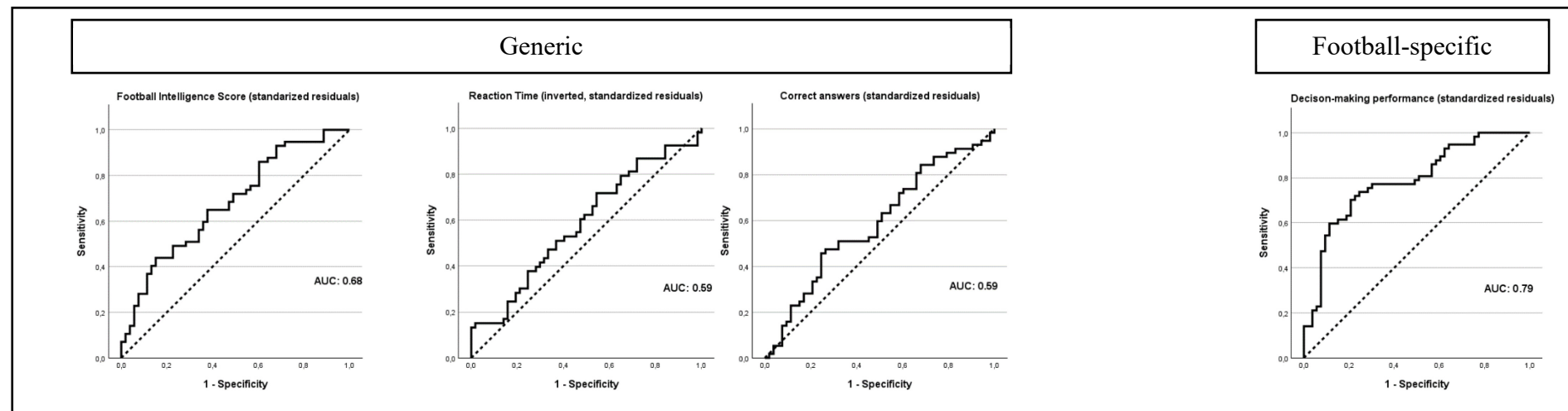


Fig. 31. Receiver Operator Characteristic (ROC) Curves for the standardized residuals of each cognitive variable.

G2.

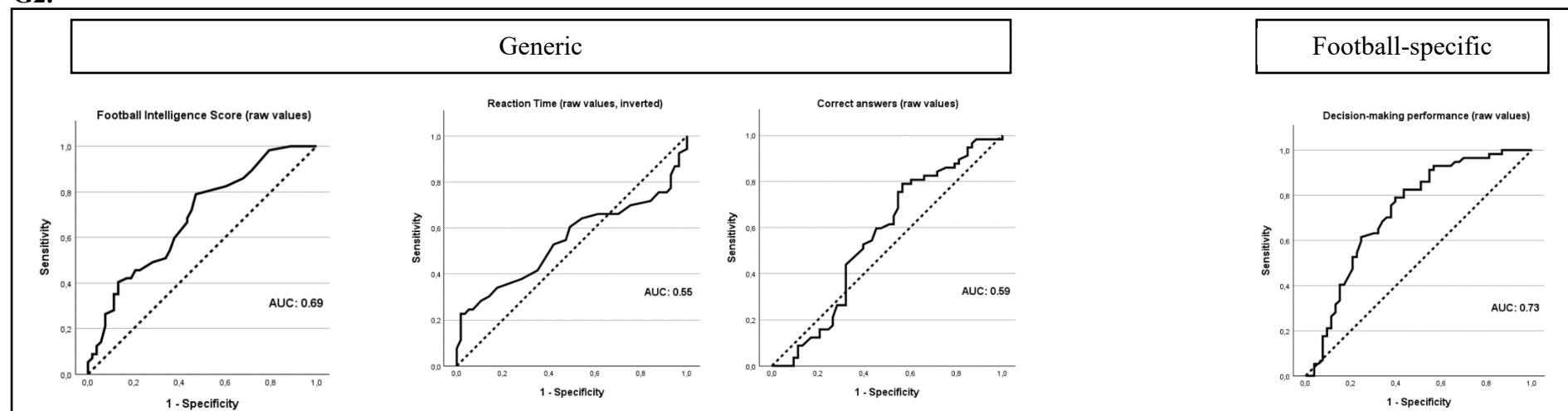


Fig. 32. Receiver Operator Characteristic (ROC) Curves for the raw values of each cognitive variable.

Supplementary Information H. Boxplots

H1:

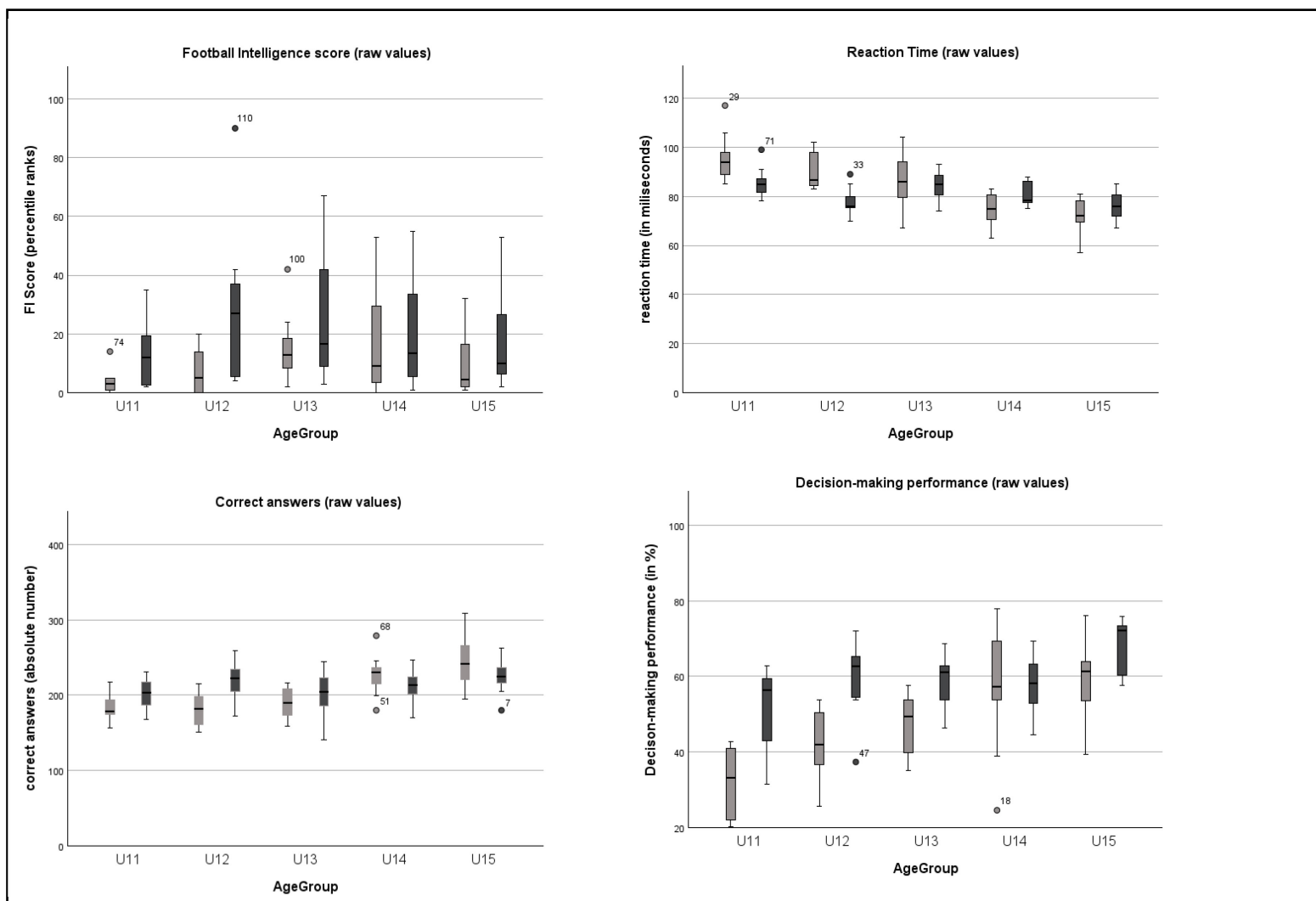


Fig. 33. Boxplots showing the test performance for each test according to age group (U11, U12, U13, U14; U15) and playing level (club, academy).

H2.

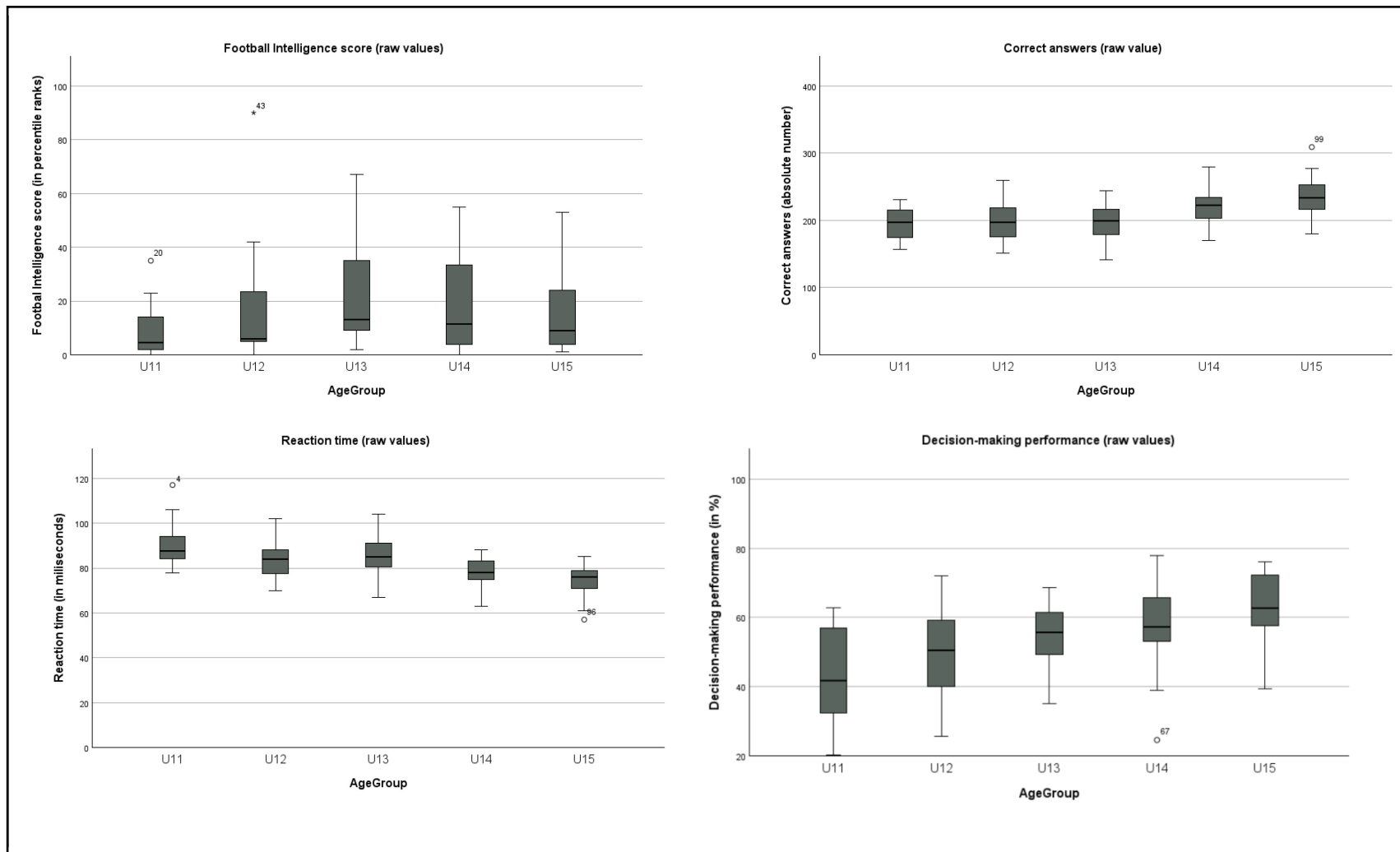


Fig. 34. Boxplots showing test performance based on age group.

H3.

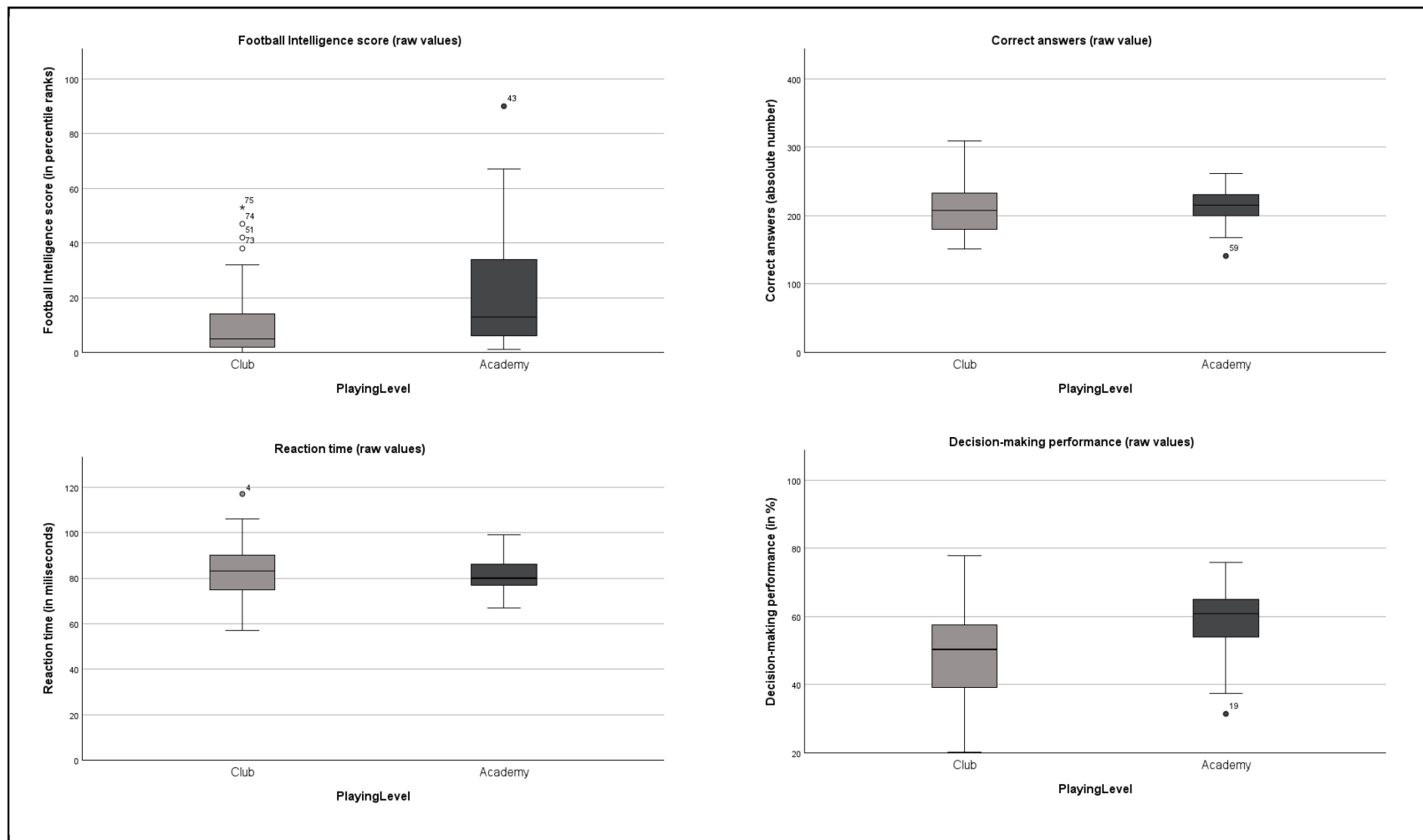


Fig. 35. Boxplots showing test performance based on playing level.

Supplementary Information I: Influence of weekly hours spend playing videogames on results.

I1. Rationale for considering videogames as influential variable

As a potential confounding variable for the relationship between performance in cognitive tests and playing level or future performance is the experience with number of hours spend playing videogames associated (Furley et al., 2023; Scharfen & Memmert, 2019). We collected therefore the self-reported number of hours spend per week playing videogames. 102 (of the 110 players) spend on average 6.63 hours per week playing videogames (SD = 6.41, min: 0, max: 40). To assess potential influence of this variable, we performed a bivariate Pearson correlation of hours spend playing video games with the performances in the respective cognitive tests (see Table H2). As no significant correlation emerges, the weekly hours of playing video games were not further considered as a covariate for analyses.

Furley, P., Schütz, L. M., & Wood, G. (2023). A critical review of research on executive functions in sport and exercise. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1-29. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2023.2217437>

Scharfen, H. E., & Memmert, D. (2019). Measurement of cognitive functions in experts and elite athletes: A meta-analytic review. *Applied Cognitive Psychology*, 33(5), 843-860. <https://doi.org/10.1002/acp.3526>

I2.

Tab. 57. Correlations between weekly hours spend video games with cognitive variables.

	FI score	Reaction time	Correct answers	Decision-making
h/week playing video games	-.06	-.12	.15	.16

All correlations are not significant (all $p > 0.05$)

Anhang G. Klassifikation der Diagnostikverfahren nach TBS-DTK

Tab. 58. Klassifikation der in der Dissertation eingesetzten Diagnostikverfahren anhand der Kriterien des TBS-DTK (Diagnostik- und Testkuratorium, 2024)

	Bereich	voll	Die Anforderungen sind erfüllt		
			weitgehend	teilweise	nicht
1	Allgemeine Informationen, Beschreibung und diagnostische Zielsetzung (Informationsgehalt)	Determinationstest	SB360 – Inhibition SB360 – kognitive Flexibilität 360°-Videoentscheidungstest 360°-Videoentscheidungstest	NeurOlympics	
2	Objektivität	Determinationstest	NeurOlympics SB360 – Inhibition SB360 – kognitive Flexibilität		
3	Zuverlässigkeit / Reliabilität	Determinationstest		360°-Videoentscheidungstest SB360 – Inhibition SB360 – kognitive Flexibilität	NeurOlympics
4	Diagnostische Validität (Gültigkeit I)		360°-Videoentscheidungstest SB360 – kognitive Flexibilität*	NeurOlympics SB360 – Inhibition*	Determinationstest
5	Prognostische Validität (Gültigkeit II)			360°-Videoentscheidungstest [#]	Determinationstest NeurOlympics SB360 – Inhibition SB360 – kognitive Flexibilität

Die höchste Bewertung (voll; höchste Qualität) erfordert folgende Aspekte. 1: Alle notwendigen Informationen sind verständlich im Manual enthalten. 2: Es liegen mehrere, überzeugende Objektivitätsbelege für alle Objektivitätsarten vor. 3: Es liegen mehrere, überzeugende Reliabilitätsbelege für die relevanten Reliabilitätschätzer vor. 4+5: Es liegen mehrere, überzeugende Validitätsbelege für alle relevanten Validitätsarten und Einsatzzwecke vor. * nicht im Experten-Novizen-Paradigma, sondern über Zusammenhang zur computerbasierten Aufgabe (konvergente Validität) geprüft. # nicht im Rahmen der Dissertation geprüft, sondern von Höner et al. (2023) in einer Stichprobe von U17 und U19 Nachwuchsleistungsspielern.

Anhang H. Übersicht der Boxplots und Balkendiagramme für die Leistungen pro Altersklasse der in Beitrag 2 und 5 eingesetzten Diagnostiken.

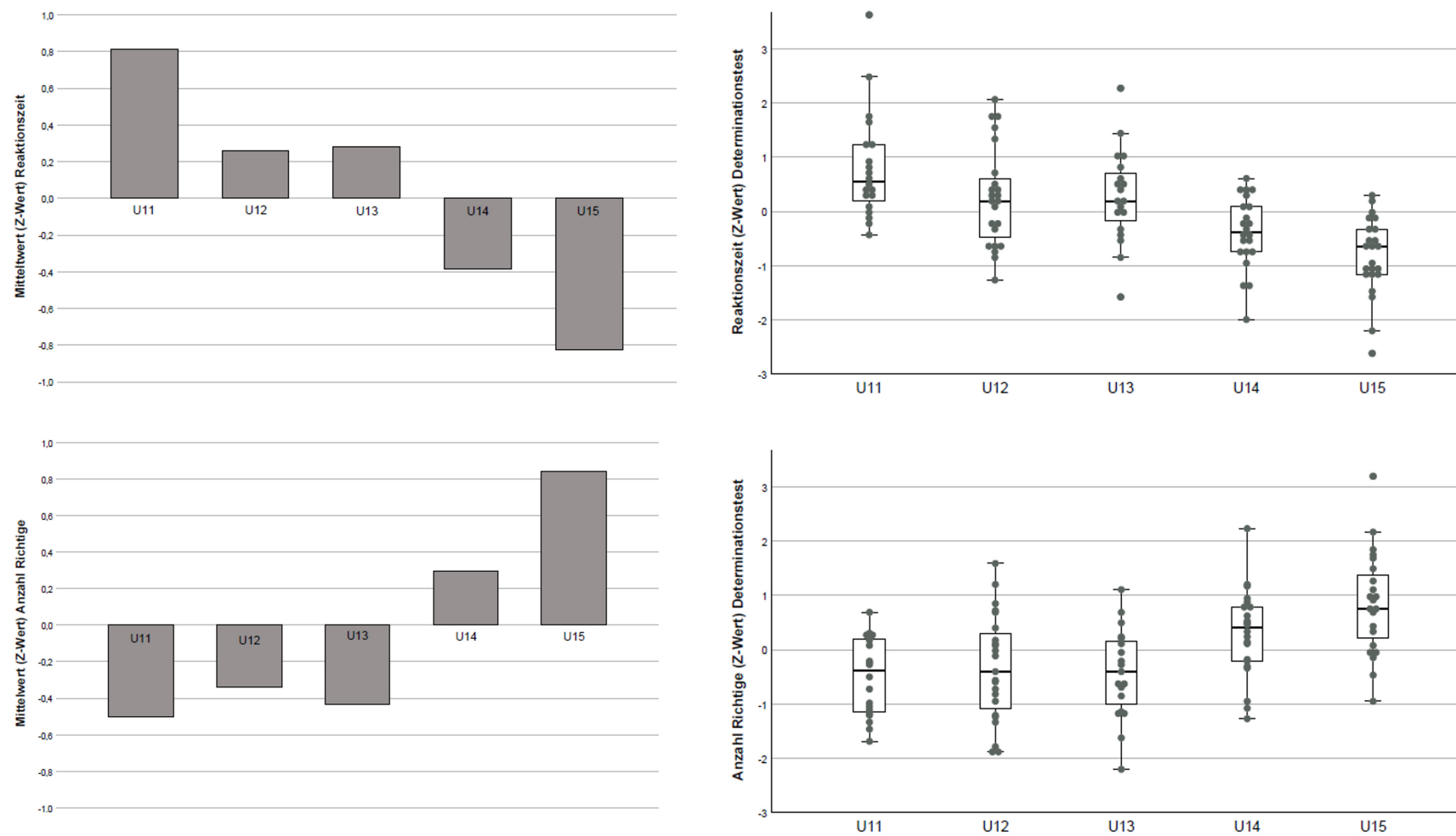


Abb. 36. Boxplots und Balkendiagramme für die Leistungen im Determinationstest (Reaktionszeit, Anzahl Richtige) pro Altersklasse.

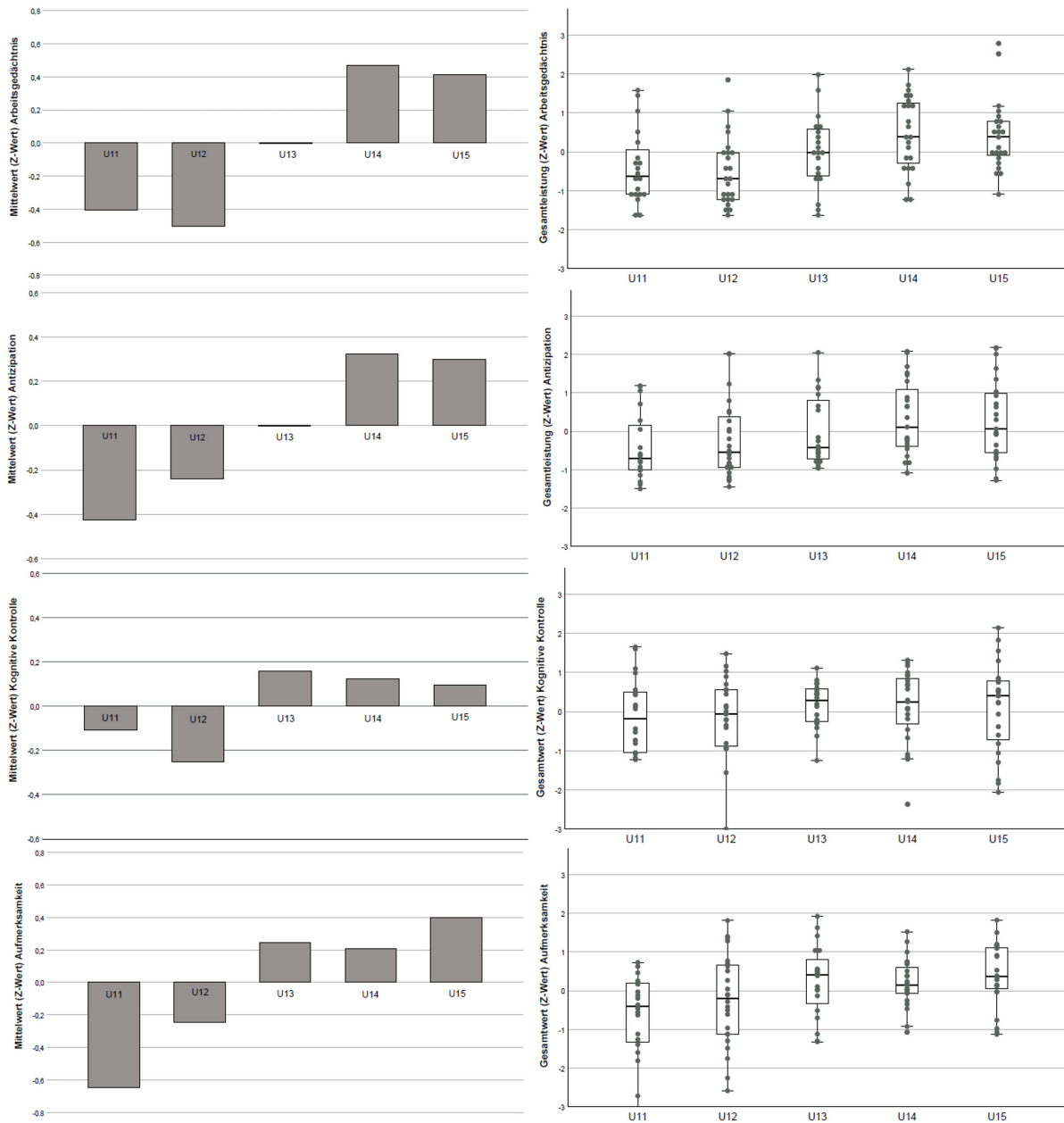


Abb. 37. Boxplots und Balkendiagramme für die Leistungen in den Tests von NeurOlympics pro Altersklasse.

Anhang I: Boxplots (Leistungsniveau, Altersklasse) mit individuellen Werten für Determinationstest, NeurOlympics und 360°-Videoentscheidungstest

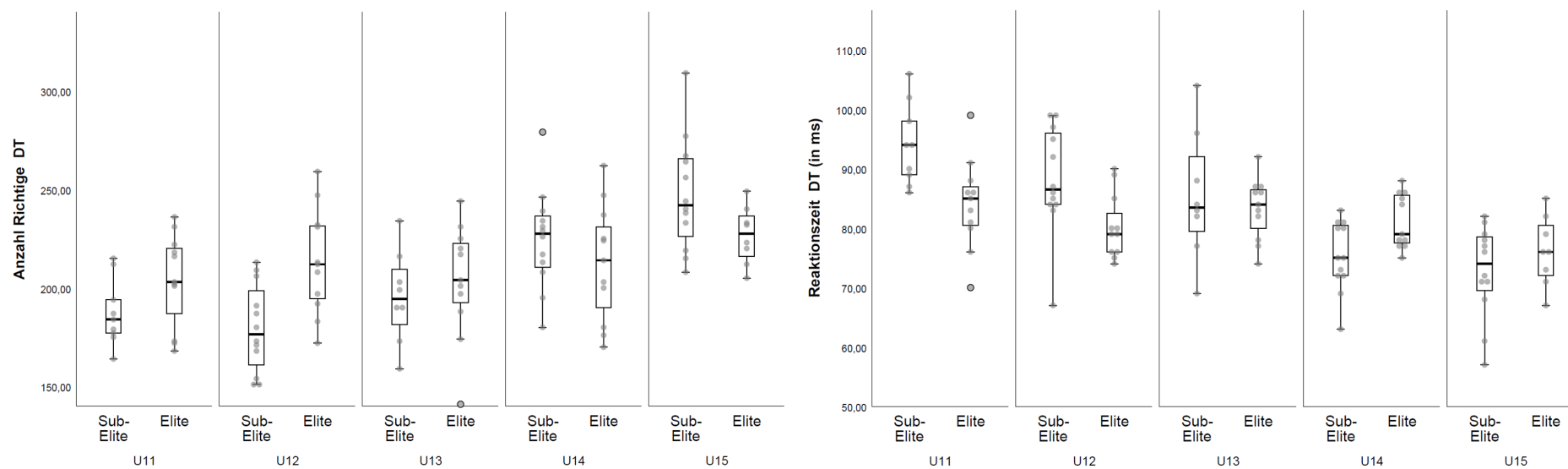


Abb. 38. Boxplots (Leistungsniveau, Altersklasse) mit individuellen Werten für die Variablen (Anzahl Richtige, Reaktionszeit) des Determinationstests.

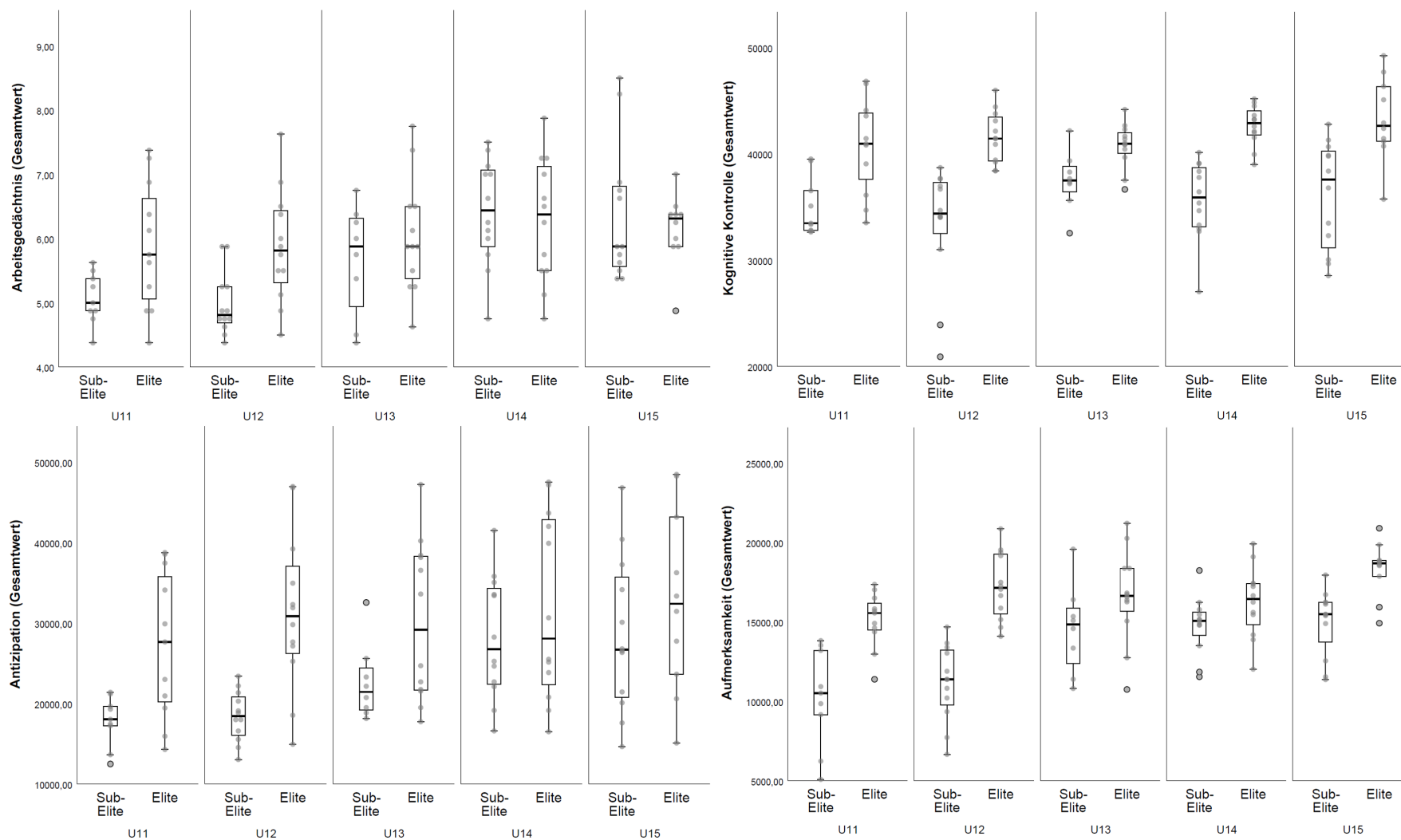


Abb. 39. Boxplots (Leistungsniveau, Altersklasse) mit individuellen Werten für die Gesamtleistung in den Untertests (Arbeitsgedächtnis, Antizipation, Kognitive Kontrolle, Aufmerksamkeit) von NeurOlympics.

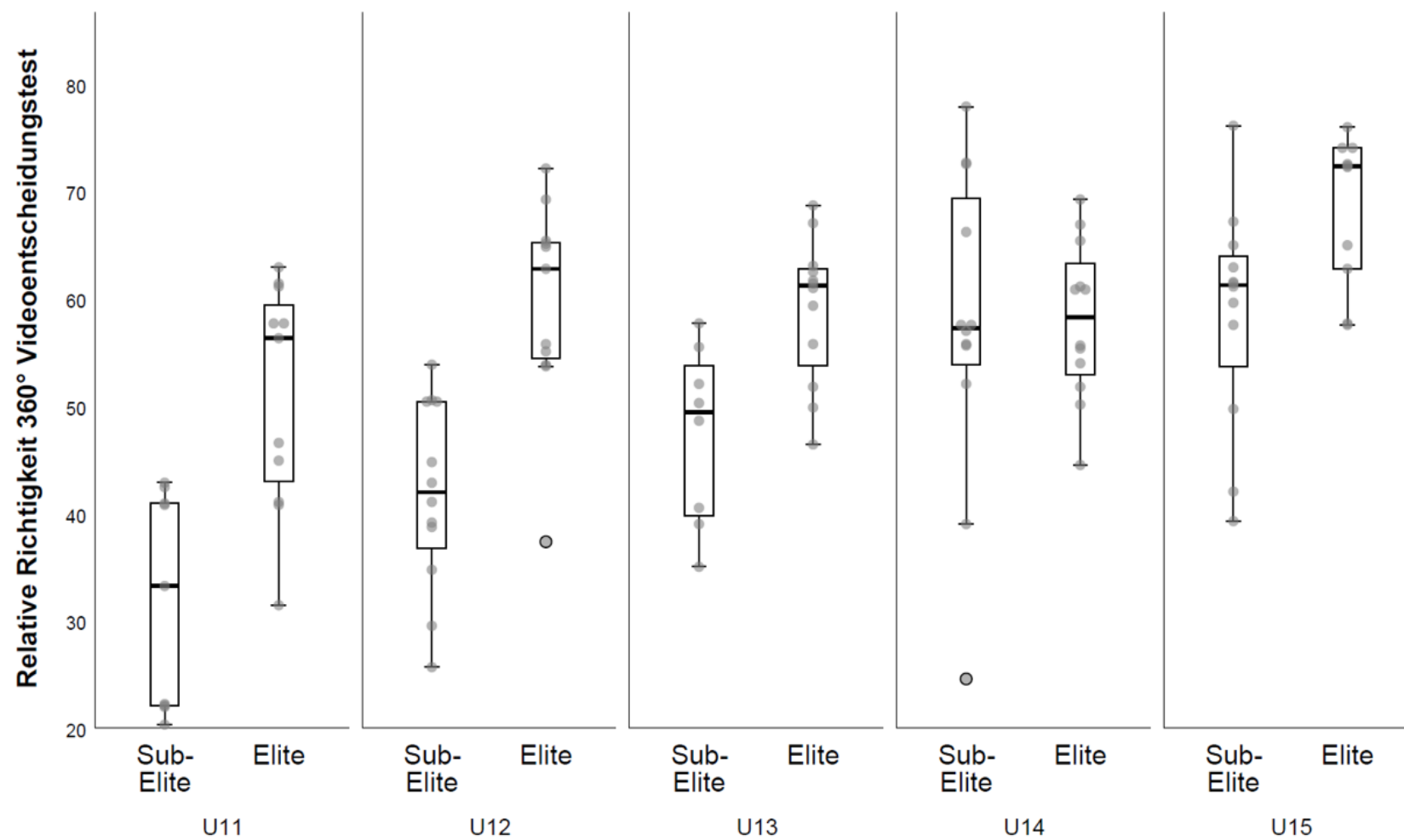


Abb. 40. Boxplot (Leistungsniveau, Altersklasse) mit individuellen Werten für die Gesamtleistung im 360°-Videoentscheidungstest.