

wert. Parallel dazu gilt es, den Zusammenhang zwischen dem ausgewählten Spielsystem und der von den Spielern absolvierten Laufleistung zu überprüfen, um auch in diesem Sektor den Grad an wissenschaftlicher Durchdringung weiter erhöhen zu können.

- An verschiedenen Stellen in der Literatur (vgl. u.a. Lottermann, 1994, S. 20; Bisanz, 1998, S. 15) wird der Zusammenhang zwischen dem Spielsystem und dem zur Verfügung stehenden „Spielermaterial“ thematisiert, ohne dass diesbezüglich bislang empirisch abgesicherte Informationen vorliegen würden. Die Aufarbeitung der hier existierenden Wissenslücke sollte in zukünftigen Untersuchungen angestrebt werden, wobei u.a. zu überprüfen wäre, welches Spielsystem bei welchen zur Verfügung stehenden Spielertypen den größten Erfolg verspricht.

- Ferner gilt es zu analysieren, ob eine Änderung des Spielsystems im laufenden Spiel (z.B. in Abhängigkeit vom aktuellen Spielstand) Einfluss auf den Spielverlauf hat. Des Weiteren empfiehlt es sich, der bislang ungeklärten Frage nachzugehen, ob ein Wechsel des Spielsystems zwischen 2 Spielen als sinnvoll anzusehen ist, oder ob es, im Sinne der Kontinuität, erfolgversprechender erscheint, die Mannschaft mit der stets identischen Grundordnung spielen zu lassen, zumal nach Littkemann und Kleist (2001, S. 9) „zu häufige Umstellungen im Spielsystem (...) einen nicht unbedeutenden sportlichen Risikofaktor“ darstellen.

- Hinsichtlich einer möglichst optimalen Ausbildung von Nachwuchsspielern scheint es darüber hinaus lohnenswert, die in verschiedenen Vereinen und Verbänden gängige Praxis, alle Nachwuchsmannschaften mit einem identischen Spielsystem antreten zu lassen (vgl. u.a. Schumann, 1997), auf ihre Sinnhaftigkeit hin zu überprüfen. Ferner sollte in Zukunft auch das Thema, inwiefern im Schüler- und Jugendbereich möglicherweise andere Spielsysteme höhere Erfolgsquoten mit sich bringen als jene im Profifußball, ins Zentrum sportwissenschaftlicher Forschung rücken.
- Mit Blick auf die von Rangnick (2002, S. 26) getroffene Aussage, dass Spielsysteme symmetrisch sein müssen, wird angeregt zu erforschen, ob eine symmetrische Anordnung der

Spieler tatsächlich eine größere Siegchance verspricht als eine asymmetrische.

- Da von Platzverweisen ein maßgeblicher Einfluss auf das praktizierte Spielsystem ausgehen kann (vgl. Littkemann & Kleist, 2001, S. 6), halten wir es für angebracht, in weiteren Studien zu beobachten, welche Formation der Spieler durch die in Unterzahl befindliche Mannschaft (z.B. Verzicht auf einen Abwehr- bzw. Mittelfeldspieler vs. Verzicht auf einen zweiten Stürmer) in einer solchen Situation die höchste Erfolgsquote mit sich bringt.

- Zur Auffüllung der bislang bestehenden Kenntnislücken darf es – anknüpfend an die bereits vorliegenden Arbeiten zum Basketball (vgl. Hagedorn et al., 1984) bzw. Handball (vgl. Kuchenbecker, 1990) – als lohnenswert angesehen werden, in weiterführenden Untersuchungen zu den im Fußballsport angewandten Spielsystemen die spezifischen Besonderheiten und Unterschiede zwischen Angriffs- und Abwehrsystemen herauszuarbeiten und im Rahmen dieser Recherchen dann auch ein besonderes Augenmerk auf den Übergang vom Abwehr- zum Angriffssystem und umgekehrt zu legen.

- Die in der Zwischenzeit entwickelten computergestützten Bilderkennungs-/Tracking-Systeme (vgl. Broich et al., 2008; Mauthner et al., 2007) erlauben es, wie von Augste et al. (2009) anhand einer Analyse des WM-Endspiels von 2006 zwischen Italien und Frankreich inzwischen bereits beispielhaft demonstriert, über die Berechnung des Schwerpunkts des Aufenthaltsortes eines jeden Spielers das Spielsystem einer Mannschaft automatisch zu bestimmen. Somit sind die technischen Voraussetzungen für eine gleichsam exakte wie auch ökonomische Beantwortung der vorstehend skizzierten Fragestellungen im Zusammenhang mit den Spielsystemen gegeben, mit deren Hilfe der Grad an wissenschaftlicher Durchdringung in diesem Sektor auf eine noch höhere Kompetenzebene gehoben werden kann.

Literatur

Augste, C., Siegle, M., Kirchlechner, B., Baron von Hoyningen-Huene, N., Beetz, M. & Lames, M. (2009). Positionsdynamische Modellierung zur Situations- und Spieleridentifikation im Fußball. In M. Lames, C. Augste, O. Cordes, C. Dreckmann, G. Karsten & M. Siegle (Hrsg.), *Gegenstand und Anwendungsfelder der Sportinformatik* (S. 65-69). Hamburg: Czwalina.

Bisanz, G. (1998). Das war die WM. Fazit der Weltmeisterschaft 1998 in Frankreich und Folgerungen für unser Training. *Fußballtraining*, 16 (10), 8-17.

Broich, H., Brauch, S. & Mester, J. (2008). Evaluierung der Laufdistanzen in unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen im Profifußball. *Leistungssport*, 38 (4), 8-12.

Hagedorn, G., Lorenz, H. & Meseck, U. (1984). Taktik im Sportspiel. Fortsetzung der Untersuchung zur Individual-, Gruppen- und Mannschaftstaktik im Sportspiel Basketball. *Leistungssport*, 14 (1), 21-26.

Hitzfeld, O. & Henke, M. (1999). Die Angriffstaktik des FC Bayern. *Fußballtraining*, 17 (5/6), 4-9.

Kuchenbecker, R. (1990). *Taktische Vorbereitung im Sportspiel. Eine empirische Untersuchung im Hallenhandball*. Köln: Sport und Buch Strauß.

Littkemann, J. & Kleist, S. (2001). *Erfolg in Spielen der Fußball-Bundesliga: eine Frage der Auf- oder Einstellung?* Münster: Westfälische Wilhelms-Universität Münster.

Lottermann, S. (1994). *Kondition spielend trainieren! 2. Folge: Merkmale des Fußballspiels und die Anforderungen an Spieler und Mannschaft.* *Fußballtraining*, 13 (1), 19-25.

Mauthner, T., Koch, C., Tilp, M. & Bischof, H. (2007). Visual Tracking of Athletes in Beach Volleyball Using a Single Camera. *International Journal of Computer Science in Sport*, 6 (2), 21-34.

Memmert, D. (2010). *Weltstandsanalyse im Spitzen-Fußball – Analyse und Simulation von fußballspezifischen Gruppentaktiken mit Hilfe adaptiver Neuronaler Netze.* In J. Wiemeyer (Hrsg.), *Sportinformatik – gestern, heute, morgen* (S. 113-122). Hamburg: Feldhaus.

Rangnick, R. (2002). Das System muss symmetrisch sein. *Fußballtraining*, 20 (6/7), 26-27.

Schäfer, A. (1994). *Eine Analyse des Zweikampfverhaltens und der Spielsysteme während der Fußball-Europameisterschaft 1992 in Schweden.* Unveröffentlichte Diplomarbeit. Köln: Deutsche Sporthochschule Köln.

Schumann, H. (1997). So bildet der FC Bayern seine Profis von morgen aus! *Fußballtraining*, 15 (6), 4-11.

Der Autor

Dr. Roland LOY, Dipl.-Sportlehrer (Fachrichtung Sportmanagement), A-Trainer des DFB, Spezialist für systematische Analyse von Fußballspielen. Für die FIFA, den DFB, diverse in- und ausländische Vereine (z.B. AC Mailand, Bayer 04 Leverkusen) sowie Sportredaktionen verschiedener Fernsehsender (u.a. ARD, ZDF, SAT.1, RTL, DSF, Premiere) tätig. Persönlicher Berater von Franz Beckenbauer während dessen Engagement als Teamchef/Trainer der deutschen Nationalmannschaft (u.a. bei der WM 1990), von Olympique Marseille und des FC Bayern München. Im Jahr 2005 Promotion an der Universität Duisburg-Essen zum Thema „Zur Diagnostik taktischer Leistungen im Sportspiel“.

Anschrift: Dr. Roland Loy, Von-Frays-Str. 14, 81245 München E-Mail: rolandloy@arcord.de

Franziska Götz/Marlen Schapschröer/Stephan Böckmann/Reint Janssen/Wolfgang Sickenberger/Andreas Bund

Verändert körperliche Belastung die Sehleistung?

Sehen spielt für die Aufnahme relevanter Informationen eine herausragende Rolle im Sport. Gleichzeitig findet es unter erschwerten Bedingungen statt, nämlich unter hoher, z.T. höchster körperlicher Belastung. Zwar ist seit Langem bekannt, dass körperliche Belastung auch zu Veränderungen in der Peripherie des visuellen Systems führt (z.B. Hornhautstoffwechsel), bisher liegen jedoch nur sehr wenige Studien vor, die systematisch verschiedene Parameter der Sehleistung unter variierender körperlicher Belastung untersucht haben.

In der hier vorgelegten Studie absolvierten 20 augengesunde SportlerInnen und

Sportler¹ (M = 23,9 Jahre) auf dem Fahrradergometer je 15-minütige Belastungsintervalle, die 50, 70 und 90 Prozent ihrer individuellen relativen maximalen Sauerstoffaufnahme (VO₂max) entsprachen. In einer Baseline-Messung und unmittelbar nach jeder Belastungsstufe wurden optometrische (statische Sehschärfe, Kontrastsehen, objektive Refraktion) und physiologische (Hornhautdicke, Vorderkammertiefe und -volumen, Tränenfilmqualität und -quantität) Parameter der Sehleistung gemessen. Im Ergebnis zeigte sich eine leichte Verbesserung der Sehschärfe während bzw. kurz nach geringer und mittlerer Belastung

sowie der objektiven Refraktion nach hoher Belastung. Die übrigen Parameter blieben unverändert. Aerobe und anaerobe Belastungen auf konstantem Niveau scheinen demnach keinen negativen Einfluss auf die Sehleistungen der Sportler zu haben. Der leichte Anstieg der Sehschärfe ist vermutlich auf die stärkere Durchblutung der Retina zurückzuführen, besitzt jedoch keine praktische Relevanz.

Eingegangen: 17.5.2011

¹ Im Folgenden wird aus Gründen besserer Lesbarkeit nur noch die maskuline Form verwendet; die feminine ist, solange nicht explizit anders angegeben, stets mitgemeint.

1. Einleitung

Das Auge ist unbestritten das dominante Sinnesorgan des Menschen; je nach spezifischer Situation werden bis zu 95 Prozent der Umgebungsreize über das Auge wahrgenommen und in mehreren Stufen verarbeitet (z.B. Schnell, 1999). Im Sport wie im Alltag werden diese Informationen genutzt, um sich im Raum zu orientieren, die eigenen Bewegungen zu steuern und Bewegungen anderer Personen oder von Gegenständen – häufig antizipativ – zu erkennen (Neumaier, 1988; Neumaier & Jendrusch, 1999). Aus physiologischer Sicht setzt sich die komplexe Sehleistung aus verschiedenen, jeweils funktionsspezifischen Teilleistungen des visuellen Systems zusammen (Tab. 1). So kennzeichnet z.B. die Sehschärfe (Visus) das räumliche Auflösungsvermögen der beiden

Augen, das Kontrastsehen bestimmt, wie gut auch Objekte mit geringem Kontrast (etwa bei ungünstigen Lichtverhältnissen) erkannt werden, und von der Qualität des Bewegungs- oder Sakkadensehens hängt die Wahrnehmung vor allem schnell bewegter Objekte und Körper ab. In der Optometrie liegt eine Reihe zumeist semi-objektiver Verfahren vor, mit denen diese Teilleistungen hinreichend valide gemessen und bewertet werden können.

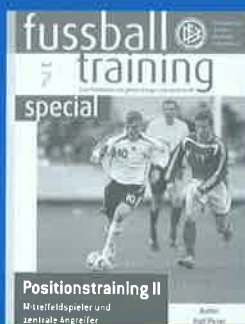
Im Sport werden die verschiedenen Aspekte der Sehleistung oft stark anforderungsabhängig beansprucht: Schießsportler benötigen z.B. primär eine gute Lokalisationssehschärfe, um das Ziel sicher anvisieren zu können, in den Sportspielen sind vor allem das periphere und räumliche Sehen wichtig, damit die Bewegungen der Mit- und Gegenspieler erfasst werden, und die schnellen Rückschlagspiele erfordern

eine dynamische Sehschärfe und ein effizientes Bewegungssehen. Offenbar werden die Sehfunktionen dadurch – implizit – auch trainiert; Untersuchungen zeigen, dass Leistungssportler je nach Sportart über unterschiedlich gut ausgebildete Sehfähigkeiten verfügen und dass sie Nichtsportlern diesbezüglich oft überlegen sind (Jendrusch & Brach, 2003; Schapschröer et al., 2011). Es wird angenommen, dass es sich um Anpassungen auf der Ebene der (kontextspezifischen) Informationsverarbeitung handelt, weshalb Sehtrainings ohne Sport(art)-bezug überwiegend kritisch beurteilt werden (z.B. Cañal-Bruland, Hagemann & Strauß, 2006).

Für Biathleten zwangsläufig Grundvoraussetzung: eine gute Lokalisationssehschärfe

© Imago/Kosecki

FUSSBALL-POSITIONSTRAINING



Positionstraining I und II

Band 6 der Reihe „fussballtraining special“, der erste von zwei Bänden zum Positionstraining, fasst die hinteren Positionen zusammen, veranschaulicht Varianten im Spielverlauf und erläutert das Abwehrverhalten der Viererkette im Zusammenspiel mit den defensiven Mittelfeldspielern.

„fussballtraining special“ 7, der zweite Band zum Positionstraining, beschäftigt sich mit den Offensiv-Positionen. Die wichtigsten Positionstechniken lassen sich durch genaue Analysen der Spielsituationen aus dem Spiel selbst ableiten. Der Band zeigt Lösungsmöglichkeiten auf und schult diese in spielnahen Trainingsformen.

Je Band 96 Seiten • 14,80 €

Bestellen Sie unter Telefon: 0251/23005-11, Telefax: 0251/23005-99, per E-Mail: buchversand@philippka.de oder mit dem Bestellschein auf S. 56 Besuchen Sie unseren Shop: www.philippka.de



Neben der starken Anforderungsspezifität weist der Sport im Hinblick auf das Erbringen von Sehleistungen noch eine weitere Besonderheit auf: Sie müssen nämlich häufig unter der Bedingung variierender, hoher oder höchster körperlicher Belastung realisiert werden. Besonders „augenfällig“ wird dies z.B. im Biathlon-sport und in den lauffintensiven Sport- und Rückschlagspielen, wo hochgradig sehabhängige Präzisionsleistungen während oder kurz nach unterschiedlich intensiven Belastungsphasen erbracht werden müssen. Relativ gut dokumentiert ist, dass Kraft- oder Ausdauerbelastungen die höheren, kognitiven Stufen des Sehens („Wahrnehmung“) beeinflussen, z.B. über die Veränderung von Neurotransmitterkonzentrationen (Meeusen et al., 2001) und – damit verbunden – des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus (Wiemeyer, 1996). Wie sich körperliche Belastung jedoch auf die Peripherie des visuellen Systems und damit auf die frühen, sinnesphysiologischen Stufen des Sehens auswirkt, ist kaum bekannt. Zwar weiß man auch hier seit Längerem um belastungsinduzierte Veränderungen z.B. des Hornhautstoffwechsels (Überblick bei Schnell, 1996), insgesamt liegen aber nur wenige Studien vor, in denen die o.g. Parameter der Sehleistung unter systematisch variierten Belastung untersucht wurden.

Im Mittelpunkt stand zunächst die statische Sehschärfe. Zu den ersten Arbeiten gehören die Studien von Vlahov (1977, 1979), der nach einem Harvard-Step-Test bzw. nach 3- und 6-minütigen Belastungsintervallen unterschiedlicher Intensität jeweils einen Anstieg der statischen Sehschärfe nachwies. Dieser war über 30 Minuten stabil und fiel in der zweiten Studie umso größer aus, je länger und intensiver die

Belastung war. Watanabe (1983) und Ishigaki et al. (1991) ermittelten den Visus vor, während und nach 15-minütigen fahrradergometrischen Belastungen, wobei Letztere drei Belastungsstufen prüften (20, 50 und 80 Prozent der individuellen relativen VO_{2max}). Bei Watanabe nahm die statische Sehschärfe zu Belastungsbeginn zunächst signifikant ab; schon im weiteren Verlauf der Belastung und nach Belastungsende stieg sie dann jedoch linear und progressiv bis über das Ausgangsniveau an. In ähnlicher Weise beobachteten Ishigaki et al. (1991) vor allem bei intensiver Belastung zunächst eine deutliche Reduktion der Sehschärfe, die sich aber später als reversibel erwies. Anders als bei Watanabe (1983) begann hier der Wiederanstieg jedoch erst nach Belastungsende und endete auf Ausgangsniveau. Jendrusch et al. (1999) stellten während einer moderaten Dauerbelastung auf dem Fahrradergometer (20 Minuten bei einem Puls von 150 bis 160 Schlägen/min) keine Veränderung der Sehschärfe fest. In der Nachbelastungsphase, insbesondere 10 Minuten nach Belastungsende, stiegen die Visuswerte dann wiederum signifikant an. Ähnlich bei einem skispezifischen Aufwärmprogramm, das auf der Piste durchgeführt wurde; hier wurde die beste Sehschärfe allerdings unmittelbar nach dem Aufwärmen gemessen. Neben der Sehschärfe wurden in wenigen Studien auch etwaige Veränderungen des peripheren Sehens durch körperliche Belastung geprüft (Überblick bei Gralla, 2007). Die Befunde sind sehr uneinheitlich. Bei Williams und Horn (1995) nahm die periphere Sehleistung unter Belastung signifikant ab; die Belastungshöhe spielte dabei keine Rolle. Wood et al. (1994) und Middlebrooke et al. (1999) fanden dagegen jeweils bei jungen Fußballspielern keinen

Einfluss auf das periphere Sehen bzw. einen signifikant positiven Zusammenhang zwischen respiratorischen Größen und dem peripheren Sehen.

Neuere Studien beziehen weitere, für den Sport relevante Sehfähigkeiten ein. So untersuchten Millslagle et al. (2005) den Einfluss verschiedener (wiederum fahrradergometrischer) Belastungsintensitäten auf die dynamische Sehschärfe. Da es im Unterschied zur statischen Sehschärfe hier um die Wahrnehmung bewegter Objekte ging, spielte auch die Blickmotorik eine wichtige Rolle (efferentes Bewegungssehen). Ihre Studie ergab, dass auch die dynamische Sehschärfe während und nach vor allem hoher körperlicher Belastung zunimmt. Mewes et al. (2008) erfassten zuletzt ebenfalls die dynamische Sehleistung, schalteten dabei aber die Blickmotorik aus und konzentrierten sich auf das durch die retinale Bildwanderung des bewegten Objekts vermittelte afferente Bewegungssehen. Erstmals wurde nicht nur der Effekt körperlicher Belastung (2 x 15 Minuten Fahrradergometer), sondern auch der Effekt psychisch-kognitiver (Wiener Determinationstest) sowie kombinierter Belastungsformen untersucht. Im Ergebnis konnte zwar ein leichter Rückgang der dynamischen Sehleistung nach Belastungsende, gefolgt von einem kompensatorischen Anstieg in der Nachbelastungsphase beobachtet werden, diese Veränderungen blieben jedoch auf einem nicht signifikanten Niveau. Ein Extremgruppenvergleich ergab, dass der Anstieg bei hoch belasteten Probanden (Kriterium Laktatkonzentration) etwas stärker ausfiel als bei geringer belasteten Probanden. Die Belastungsart spielte keine Rolle. Die Autoren vermuten, dass Testgewöhnungseffekte mögliche belastungsinduzierte Effekte teilwei-

se überlagert haben. Das dürfte jedoch aufgrund der üblicherweise verwendeten Messwiederholungsdesigns auch bei vielen anderen der hier referierten Studien der Fall gewesen sein.

Vor dem Hintergrund der insgesamt defizitären und – ergebnisbezogen – heterogenen Befundlage sollte in der im Folgenden beschriebenen Studie die Wirkung körperlicher Belastung unterschiedlicher Intensität auf verschiedene Parameter der Sehleistung untersucht werden. Neben der statischen Sehschärfe wurden dabei das Kontrastsehen und die objektive Refraktion berücksichtigt. Außerdem wurden erstmals auch physiologische Parameter des visuellen Systems wie Hornhautdicke, Vorderkammertiefe und Tränenfilmqualität belastungsabhängig erfasst. Die der Studie zugrundeliegende Fragestellung lässt sich damit wie folgt formulieren: Verändern sich bei körperlicher Belastung unterschiedlicher Intensität optometrische und/oder physiologische Parameter der Sehleistung gegenüber den jeweiligen Ruhewerten?

2. Untersuchungsmethode

Stichprobe

An der Studie nahmen 20 augengesunde und normalsichtige Sportlerinnen und Sportler (Sportstudierende der Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg und Handballerinnen des VfL Oldenburg) unentgeltlich teil, 7 Frauen und 13 Männer. Träger von Kontaktlinsen wurden ausgeschlossen. Das Durchschnittsalter betrug 23,9 Jahre bei einer Standardabweichung von $\pm 3,6$ Jahren.

Körperliche Belastung (unabhängige Variable)

In einem ergospirometrischen Stufentest auf dem Fahrrad (Stufenintervall 3 Minuten, 80-90 U/min) wurde zunächst für jeden Probanden die individuelle relative maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) ermittelt. Die Belastungsstufen ergaben sich dann als Prozentwerte der individuellen relativen maximalen Sauerstoffaufnahme: 50 Prozent = geringe Belastungsintensität; 70 Prozent = mittlere Belastungsintensität; 90 Prozent = hohe Belastungsintensität. Die Belastungsdauer je Stufe wurde auf 15 Minuten festgesetzt.

Stichprobenartige Laktattests zeigten erwartungsgemäß, dass die untere Belastungsstufe von den Probanden überwiegend im aeroben Energiemodus bewältigt wurde, die obere dagegen im anaeroben Modus. Für die mittlere Belastungsstufe wurden Laktatwerte im Bereich der aerob-anaeroben Schwelle gemessen. Alle Probanden absolvierten in randomisierter Abfolge an zwei oder drei aufeinanderfolgenden Tagen sämtliche Belastungsstufen (Crossover-Design). Dabei wurde stets dasselbe Fahrradergometer verwendet, das bereits für den Stufentest genutzt worden war. Die Belastungsintensität wurde spirometrisch kontrolliert und ggf. über die Wattzahl reguliert.



Im Basketball sind die dynamische Sehschärfe, das Bewegungs-, Kontrastsehen, das räumliche und das periphere Sehen von Bedeutung.

© imago/Bulthmann

Parameter der Sehleistung (abhängige Variablen)

In einer Baseline-Messung (Ruhezustand) und unmittelbar nach jeder Belastungsstufe wurden folgende optometrische und physiologische Parameter der Sehleistung erfasst:

- **Statische Sehschärfe (Visus):** Die Visusbestimmung erfolgte monokular auf eine Distanz von sechs Metern mit einer Sehtesttafel. Die Messabfolge (rechtes Auge, linkes Auge) war ausbalanciert. Um die Ratewahrscheinlichkeit zu minimieren, wurden die Probanden gebeten, mit einem Auge von rechts nach links und mit dem anderen Auge in der entgegengesetzten Richtung zu lesen. Der Visus wurde als *log-Mar*-Wert notiert.

- **Kontrastsehen:** Das Kontrastsehen wurde monokular auf eine Distanz von drei Metern mit VISTECH-Sehtafeln gemessen. Die Tafeln enthalten je fünf Zeilen kreisförmiger Streifenfelder, deren Kontrast von links nach rechts systematisch abnimmt. Auf die Zeilen bezogen, unterscheiden sich die Felder hinsichtlich ihrer Ortsfrequenz. Um einen Lerneffekt zu vermeiden, wurden die Sehtafeln in zufälliger Reihenfolge verwendet und die Probanden gebeten, mal mit dem rechten, mal mit dem linken Auge zu beginnen. Wurde die Orientierung der Streifen in einem Feld nicht oder falsch erkannt, wurde der Test für die betreffende Zeile abgebrochen und in der nächsten Zeile fortgesetzt. Die Ziffer des letzten richtig identifizierten Feldes je Zeile wurde in ein spezielles Auswertungsschema übertragen.

- **Objektive Refraktion:** Die objektive Refraktion wurde mittels Multifunktions-Autorefraktometer (PARK 1[®]; Fa. OCULUS) durchgeführt. Durch die Verwendung eines Autorefraktometers ist es möglich, in kurzer Zeit objektive Werte über den Refraktionszustand

des Auges zu gewinnen. Dabei ist das aktive Mitwirken des Probanden nicht notwendig. Die Messabweichung des verwendeten Geräts beträgt $\pm 0,1$ dpt. Während die Probanden im Gerät auf ein Fixationsobjekt schauen, ermittelt das Autorefraktometer die Refraktion in Sphäre, Zylinder und Achse. Diese sphäro-zylindrische Kombination wurde anschließend über den Zusammenhang: $S\ddot{A} = \text{Sphäre} + 1/2 \text{ Zylinder}$, in das sphärische Äquivalent ($S\ddot{A}$) umgeformt.

- **Hornhautdicke, Vorderkammertiefe und -volumen:** Die Messung dieser Parameter erfolgte ebenfalls monokular mit einem Scheimpflugsystem (Pentacam[®] HR; Fa. OCULUS). Dabei entsteht ein dreidimensionales Bild des vorderen Augenabschnitts, das die Vermessung von Längen, Dicken und Volumina ermöglicht. Die Hornhautdicke wird bei diesem Verfahren in konzentrischen Kreisen rund um die dünnste Stelle der Hornhaut gemessen.

- **Tränenfilmqualität und -quantität:** Die Beurteilung der Tränenfilmqualität und -quantität erfolgte über die Bestimmung der nicht-invasiven Tränenmeniskushöhe und der nicht-invasiven Tränenfilmauflöszeit. Dazu wurde ein Hornhauttopograph (Keratograph 4; Fa. OCULUS) verwendet.

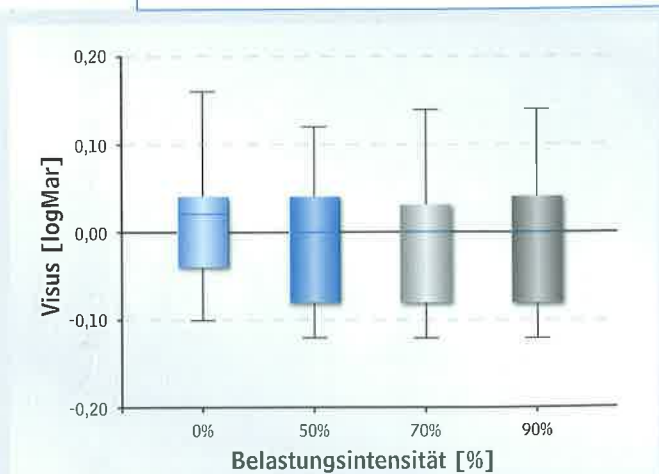
Statistische Analyse

Da die optometrischen und physiologischen Daten teilweise keine Normalverteilung aufwiesen, wurden sie mittels verteilungsfreier Prüfverfahren analysiert. Zunächst rechnet man Friedman-Tests über alle Messzeitpunkte (Baseline und nach drei Belastungsstufen). Zeigten diese Tests signifikante Veränderungen eines Parameters an, wurden mit Wilcoxon-Tests Einzelvergleiche vorgenommen, um die Veränderungen spezifizieren zu können. Die

TAB. 1 Visuelle Fähigkeiten und ihre Bedeutung im Sport

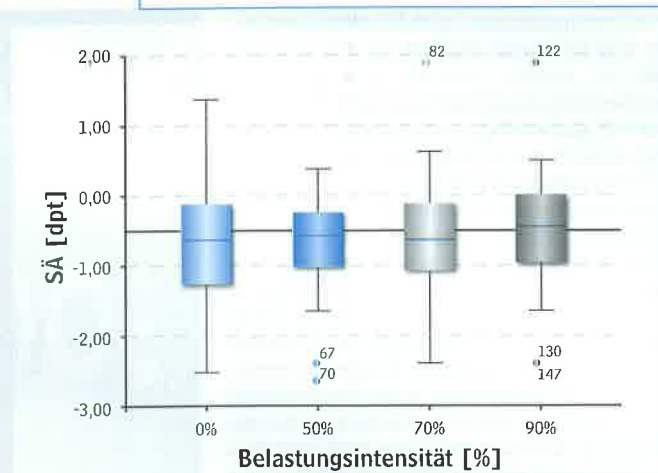
Visuelle Fähigkeit	Definition/Funktion	Bedeutung im Sport (Beispiele)
Statische Sehschärfe (Visus)	Räumliches Auflösungsvermögen des Auges bei unbewegten Objekten; Erkennen (<i>minimum visibile</i>) und Unterscheiden (<i>minimum separabile</i>) von Objekten	Erkennen von Zielen (Biathlon, Curling, Schießsport), Griffen (Sportklettern), Hindernissen (Radsport, Orientierungslauf) und Bodenmarkierungen (Leichtathletik)
Dynamische Sehschärfe	Räumliches Auflösungsvermögen des Auges bei bewegten Objekten (assoziiert mit der statischen Sehschärfe, dem Bewegungs-/Sakkadensehen und der Blickmotorik)	Erkennen bewegter Sportobjekte und Koordination von Selbst- und Objektbewegung (Tennis, Tischtennis, Badminton, Fußball, Handball, Volleyball, Basketball, Baseball usw.)
Bewegungssehen (Sakkadensehen)	Bewegungsfolgevermögen des Auges; Augenbewegungen und Blicksprünge (Sakkaden) halten bewegte Objekte im fovealen Netzhautbereich (assoziiert mit der statischen und dynamischen Sehschärfe)	Erkennen der Richtung und Geschwindigkeit bewegter Sportobjekte und Koordination von Selbst- und Objektbewegung (Tennis, Tischtennis, Badminton, Fußball, Handball, Volleyball, Basketball, Baseball usw.)
Kontrastsehen (Kontrastsehschärfe)	Lichtunterscheidungsvermögen des Auges; Objekterkennung bei geringen Kontrastunterschieden, Unterscheidung von Objekt und Umgebung	Erkennen von Sportobjekten (Tennis, Tischtennis, Handball usw.) und Geländestrukturen (Sportklettern, Golf, Radsport, Ski alpin, Skispringen) bei ungünstigen Lichtverhältnissen
Raum- und Tiefensehen (Stereopsis)	Raumwahrnehmungsvermögen der Augen; Erkennen der räumlichen Anordnung von Objekten und deren Abständen voneinander, Raumorientierung (abhängig vom beidäugigen Sehen, „Stereopsis“)	Erkennen der Position von Mit- und Gegenspielern sowie Sportobjekten und deren Abständen voneinander, Erkennen von Spielfeldgrößen (Fußball, Volleyball, Tennis, Badminton usw.), Erkennen von Gelände- und Sportgerätestrukturen (Ski alpin, Gerätturnen)
Peripheres Sehen	Wahrnehmungsvermögen des Auges im extrafovealen Netzhautbereich; „unscharfes“ aber ganzheitliches Erfassen von Objekten, Abständen und Bewegungen, Raumorientierung	Erfassen von Spielsituationen ohne Kopfbewegung („no-look“-Pässe im Handball, Basketball, Fußball usw.), rechtzeitiges Erkennen von seitlichen Angriffen (Handball, Basketball, Fußball, Rugby usw.) und von Zielsprints (Leichtathletik, Skilanglauf usw.)

ABB. 1 Statische Sehschärfe



Statische Sehschärfe (Medianwerte und Boxplots) bei unterschiedlicher körperlicher Belastung

ABB. 2 Objektive Refraktion



Objektive Refraktion (Medianwerte und Boxplots) bei unterschiedlicher körperlicher Belastung

Darstellung der jeweils mittleren Leistung erfolgt im anschließenden Ergebnisabschnitt entsprechend über Medianwerte und Box-Plots.

3. Untersuchungsergebnisse

Abb. 1 zeigt die Veränderung der statischen Sehschärfe in Abhängigkeit von der Belastungsintensität. Bezogen auf den Ausgangswert weisen die Mediane unter Belastung einen negativen Trend auf; das entspricht einem (leichten) Anstieg der Sehschärfe. Der Friedman-Test ist signifikant, $\chi^2(3) = 10,74$, $p < .05$. Im Paarvergleich zeigt sich, dass der Visus insbesondere nach mittelintensiver Belastung (70 Prozent) besser war als bei körperlicher Ruhe, $Z = 2,16$, $p < .05$. Tendenziell war das auch nach geringerer Belastung (50 Prozent) der Fall, $Z = 1,74$, $p < .1$. Das Kontrastsehen scheint dagegen vom Belastungszustand weitgehend unabhängig zu sein; bei keiner der geprüften Ortsfrequenzen (1.5, 3, 6, 12, 18 P/°) unterschied sich dieser Aspekt der Sehleistung auf den hier geprüften Belastungsstufen. Beim dritten optometrischen Parameter, der objektiven Refraktion bzw. dem daraus errechneten sphärischen Äquivalent, traten wiederum belastungsbedingte Veränderungen auf, $\chi^2(3) = 8,68$, $p < .05$ (Abb. 2). Die Wilcoxon-Tests weisen aber lediglich eine tendenzielle Differenz zwischen dem sphärischen Äquivalent in Ruhe und nach hoher Belastung (90 Prozent) auf: $Z = 1,88$, $p < .1$. Nach hoher Belastung war das sphärische Äquivalent leicht erhöht, d.h., es lag eine bessere Weitsicht vor. Optometrisch spricht man von einer Hyperopisierung.

Die hier erfassten physiologischen Parameter des visuellen Systems (Hornhautdicke, Vorderkammertiefe und -volumen sowie Tränenfilmqualität und -quantität) blieben in ihrer Ausprägung weitgehend konstant; die entsprechenden Friedman-Tests sind durchgängig insignifikant. Tab. 2 fasst die deskriptiven und rangvarianzanalytischen Ergebnisse der Studie zusammen.

4. Diskussion und Ausblick

Mit der hier beschriebenen Studie sollte untersucht werden, ob und ggf. in welchem Ausmaß körperliche Belastung unterschiedlicher Intensität visuelle Parameter wie Sehschärfe, Kontrastsehen und objektive Refraktion verändert. Zu diesem Zweck absolvierten 20 Sportlerinnen und Sportler im jungen Erwachsenenalter auf einem Fahrradergometer je 15-minütige Belastungsintervalle mit einer Intensität von 50, 70 und 90 Prozent ihrer individuellen relativen maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}). Die Sehparameter wurden im Ruhezustand (Baseline) und kurz nach jeder dieser Belastungsstufen erfasst.

Im Ergebnis zeigt sich für die statische Sehschärfe ein leichter Anstieg während bzw. kurz nach gering- und mittelintensiver Belastung. Vermutlich ist das auf eine Verbesserung der allgemeinen Stoffwechselsituation zurückzuführen; insbesondere dürften hier die Durchblutung der Netzhaut sowie die zerebrale Sauerstoffversorgung eine Rolle spielen (Jendrusch et al., 1999). Des Weiteren sind sehr wahrscheinlich ein Anstieg des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus (AZA) und die daraus resultierende erhöhte Vigilanz („Wachheit“) von Bedeutung. Als valider Indikator für das zentralnervöse Aktivierungsniveau gilt die sog. Flimmerverschmelzungsfrequenz, d.h. die Frequenz, ab der eine Folge von Lichtreizen als kontinuierliches Licht wahrgenommen wird. Es gilt: je höher die Flimmerverschmelzungsfrequenz, desto höher das zentralnervöse Aktivierungsniveau. Wiemeyer et al. (1991; auch Wiemeyer & Büsch, 1992; Wiemeyer, 1996) konnten in mehreren Studien zeigen, dass die Flimmerverschmelzungsfrequenz unter moderater physischer Belastung ansteigt. Dass hierbei auch biochemische Reaktionen erfolgen, z.B. in Form veränderter Neurotransmitterkonzentrationen, ist ebenfalls seit längerem bekannt (Überblick bei Meeusen et al., 2001).

Fraglich ist allerdings, ob der hier nachgewiesene Sehschärfeanstieg praktische Relevanz besitzt; er fällt mit 0,2 log-Einheiten in absoluten Zahlen doch eher gering aus und dürfte von den Probanden kaum als ein verbessertes Sehen bemerkt worden sein. Insgesamt lässt sich dieses Ergebnis aber gut in die allgemeine Befundlage einordnen, die sich – bei der eingangs konstatierten Heterogenität im Detail – grob wie folgt skizzieren lässt:

- Während körperlicher Belastung verändert sich die Sehschärfe nicht oder steigt leicht an; zu Beginn kann es auch zu einer kurzfristigen und reversiblen Abnahme kommen.
- Nach körperlicher Belastung ist die Sehschärfe leicht verbessert und zwar bis zu 30 Minuten lang.
- Die Bedeutung von Belastungsdauer und -intensität ist unklar.

Neben der Sehschärfe war auch ein Anstieg der objektiven Refraktion zu beobachten, hier jedoch nur auf der höchsten Belastungsstufe. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass während körperlicher Belastung die Wirkung des sympathischen Teils des vegetativen Nervensystems zunimmt. Der Sympathikus bewirkt zudem eine geringe Relaxation der Augenlinse, wodurch deren Brechkraft reduziert wird. Dieser Sachverhalt kann Ursache der beobachteten Hyperopisierung der Probanden sein. Eine Änderung der Refraktion des Auges in Richtung positiver Werte ist daher physiologisch wahrscheinlich. Das bei verschiedenen Ortsfrequenzen erfasste Kontrastsehen sowie die physiologischen Parameter Hornhautdicke, Vorderkammertiefe und -volumen sowie Tränenfilmqualität und -quantität zeigten dagegen keine belastungsinduzierten Veränderungen. Möglicherweise war insbesondere die Testung des Kontrastsehens mit einem zu hohen Messfehler behaftet; die relativ große Streuung der Werte spricht dafür. Die Nutzung von Sehtafeln ist immer mit dem Nachteil verbunden, dass die Probanden in ih-

rem „visuellen Grenzbereich“ u.U. zu raten beginnen und dabei unterschiedliche Strategien verwenden. Die Erfassung der physiologischen Sehparameter u.a. mittels Scheimpflugverfahren erfolgte stets zuletzt und nahm bis zu 10 Minuten in Anspruch. Es ist möglich, dass sich die stoffwechselbedingten Veränderungen z.B. der Hornhautdicke in diesem Zeitraum wieder zurückbildeten.

Aus unserer Sicht besteht zur Frage der Wirkung physischer Belastung auf die Sehleistung von Sportlern weiterer Forschungsbedarf. Zukünftige Studien sollten jedoch drei Aspekte stärker als bisher berücksichtigen:

- 1 Neben der statischen Sehschärfe sowie dem Kontrast- und Tiefsehen sollten auch andere, im Sport relevante Sehparameter bezüglich ihrer Belastungssensitivität untersucht werden, z.B. die dynamische Sehschärfe, das Sakkadensehen und das periphere Sehen. Hierzu liegen bisher nur wenige Arbeiten vor (Mewes et al., 2008; Millslagle et al., 2005; s.o.). Über die Nutzung optometrischer Messverfahren hinausgehend, könnten bzw. sollten dafür auch sport(art)typische Messplätze entwickelt werden, wie im Rahmen der sportwissenschaftlichen Forschung zum Wahrnehmungstraining bereits teilweise geschehen (Überblick bei Cañal-Bruland, Hagemann & Strauß, 2006).
- 2 Es scheint uns dringend geboten, in weiteren Studien wettkampftypische Belastungsformen zu testen und nicht wie bisher laufband- oder fahrradergometrische Aktivitäten, die – betrachtet man Verlauf und Dauer der Belastung – im Wettkampfsport so nicht vorkommen. Insbesondere sollte auch die Wirkung erheblich längerer, konstanter oder variierender Dauerbelastungen geprüft werden. Für die Sportspiele könnten z.B. im Rahmen von Test- oder Trainingsspielen Sehscreenings durchgeführt werden. Dabei würde neben der physischen Belastung auch die mit einem Spiel unter Wettkampfbedingungen verbundene psychische Belastung der Spieler berücksichtigt werden.
- 3 Die Stichproben sollten nicht immer nur aus jungen Erwachsenen bzw. Sportlern im Wettkampfbereich gebildet werden. Die Frage, ob körperliche Belastungen bestimmte Sehfunktionen

temporär einschränken oder nicht, ist auch und gerade für die Akteure im Kinder-, Jugend- und Seniorensport von Interesse, etwa im Hinblick auf die Vermeidung von Sportunfällen.

Literatur

- Cañal-Bruland, R., Hagemann, N. & Strauß, B. (2006). Wahrnehmungstraining im Sport. In M. Tietjens & B. Strauß (Hrsg.), *Handbuch Sportpsychologie* (S. 262-268). Schorndorf: Hofmann.
- Gralla, V. (2007). *Peripheres Sehen im Sport. Möglichkeiten und Grenzen dargestellt am Beispiel der synchronoptischen Wahrnehmung*. Dissertation. Bochum: Ruhr-Universität Bochum.
- Ishigaki, H., Miyao, M., Ishihara, S., Sakakibara, H., Yamada, S., Furuta, M. & Sakata, T. (1991). The deterioration of visual acuity by exercise under a mesopic vision environment. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31 (2), 272-276.
- Jendrusch, G. & Brach, M. (2003). Sinnesleistungen im Sport. In H. Mechling & J. Munzert (Hrsg.), *Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre* (S. 175-196). Schorndorf: Hofmann.
- Jendrusch, G., Heiligensetzer, D., Lingelbach, B. & Heck, H. (1999). Aspekte belastungsinduzierter Veränderung der visuellen Leistungsfähigkeit am Beispiel der Sehschärfe. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISP-Jahrbuch 1999* (S. 213-222). Köln.
- Meeusen, R., Piacentini, M. F., Kempenaers, F., Busschaert, B., De Schutter, G., Buyse, L. & De Meirleir, K. (2001). Neurotransmitter im Gehirn während körperlicher Belastung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 52 (12), 361-368.
- Mewes, N., Kellmann, M., Ehrenstein, W. H. & Jendrusch, G. (2008). Veränderungen der dynamischen Sehleistung bei körperlicher und psychischer Beanspruchung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59 (6), 141-145.
- Middlebrooke, A. R., Stephenson, G. & Unnithan, V. B. (1999). An explorative study into the relationship between increasing exercise intensity and visual function in prepubertal male soccer players. *Pediatric Exercise Science*, 11, 69-78.
- Millslagle, D., DeLaRosby, A. & VonBank, S. (2005). Incremental exercise in dynamical visual acuity. *Perceptual and Motor Skills*, 101, 657-664.
- Neumaier, A. (1988). *Bewegungsbeobachtung und Bewegungsbeurteilung im Sport*. Sankt Augustin: Academia.
- Neumaier, A. & Jendrusch, G. (1999). Aktuelle Positionen zum Bewegungssehen im Sport. In J. Krug & C. Hartmann (Hrsg.), *Praxisorientierte Bewegungslehre als angewandte Sportmotorik* (S. 128-141). Sankt Augustin: Academia.
- Schapschroer, M., Holzey, C., Bund, A. & Sickenberger, W. (2011). Trainierbarkeit der visuellen Wahrnehmung im Sport. *Deutsche Optikerzeitung*, (1), 92-96.
- Schnell, D. (1996). Sehorgan und Sport. In U. Bartmus, H. Heck, J. Mester, H. Schumann & G. Tidow (Hrsg.), *Aspekte*

der Sinnes- und Neurophysiologie im Sport – Ansätze, Ergebnisse und Defizite (S. 175-240). Köln: Strauß.

Schnell, D. (1999). Wieviel Auge braucht der Sport? *Deutsches Ärzteblatt*, 96, 49-52.

Vlahov, E. (1977). Effects of Harvard step test on visual acuity. *Perceptual and Motor Skills*, 45, 369-370.

Vlahov, E. (1979). Effects of different workloads varying in intensity and duration on resolution acuity. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 1259-1264.

Watanabe, Y. (1983). Effect of 15-minute bicycle workload on static and kinetic visual activities. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 23, 373-381.

Wiemeyer, J., Jäger, K., Fromme, A. & Zipf, K. E. (1991). Veränderungen des zentralnervösen Aktivierungsniveaus nach verschiedenen körperlichen Belastungen. In R. Daugs, H. Mechling, K. Blischke & N. Olivier (Hrsg.), *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining*, Bd. 2 (S. 208-212). Schorndorf: Hofmann.

Wiemeyer, J. & Büsch, D. (1992). Zum aktuellen Forschungs- und Diskussionsstand der FVF-Messung in der Sportwissenschaft. *Leistungssport*, 22 (4), 37-42.

Wiemeyer, J. (1996). Flimmerverschmelzungsfrequenz und allgemeines zentralnervöses Aktivierungsniveau. In U. Bartmus, H. Heck, J. Mester, H. Schumann & G. Tidow (Hrsg.), *Aspekte der Sinnes- und Neurophysiologie im Sport – Ansätze, Ergebnisse und Defizite* (S. 163-171). Köln: Strauß.

Williams, J. G. & Horn, R. (1995). Exercise intensity effects on peripheral perception of soccer player movement. *International Journal of Sports Vision*, 2, 200-205.

Wood, J. M., Wood, R. L. & Jack, M. P. (1994). Exercise does not increase visual field sensitivity. *Optometry & Vision Science*, 11, 682-684.

Die Autoren

- Franziska GÖTZ, B.Sc. (Fachhochschule Jena), Masterstudentin im Studiengang „Optometrie/Vision Science“.
- Marlen SCHAPSCHROER, B.A. (Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg), wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Sportwissenschaft.
- Stephan BÖCKMANN, M.A. (Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg), wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Sportwissenschaft.
- Reint JANSSEN, M.A. (Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg), wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Sportwissenschaft.
- Prof. Wolfgang SICKENBERGER (Fachhochschule Jena), Fachbereich SciTec, Leiter des Studiengangs „Optometrie/Vision Science“.
- Prof. Dr. Andreas BUND (Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg), Leiter des Arbeitsbereichs Sport und Bewegung am Institut für Sportwissenschaft.
- Anschrift: Prof. Dr. Andreas Bund, Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg, Institut für Sportwissenschaft, AB Sport und Bewegung, Ammerländer Heerstraße 114-118, 26111 Oldenburg.
- E-Mail: andreas.bund@uni-oldenburg.de

TAB. 2 Veränderung der Sehleistungs-Parameter unter Belastung

Variable	N	Baseline		50%		70%		90%		χ^2	p
		Med	IQA	Med	IQA	Med	IQA	Med	IQA		
Sehschärfe [log mar]	40	0,02	0,10	0,00	0,12	0,00	0,12	0,00	0,12	10,7	.013
Kontrastsehen [P/°] ¹	40	5	2	5	3	5	3	5	21	0,7	.872
Objektive Refraktion (SÄ) [dpt]	40	0,63	1,18	0,56	0,75	0,63	0,96	0,44	0,97	8,6	.034
Hornhautdicke [μ m] ²	40	540	58	543	56	540	54	542	55	1,6	.658
Vorderkammertiefe [mm]	40	3,10	0,59	3,10	0,57	3,07	0,55	3,05	0,58	2,1	.533
Vorderkammervolumen [mm ³]	40	181	73	185	72	187	71	188	74	2,4	.492
Nicht-invasive Tränenmeniskushöhe [mm]	40	0,34	0,09	0,34	0,09	0,34	0,11	0,34	0,07	4,2	.237
Mittlere nicht-invasive Tränenfilmaufrisszeit [s]	33	8,3	9,3	7,7	12,4	9,3	8,2	7,6	7,1	4,3	.230

Medianwerte (Med), Interquartilsabstände (IQA) und Ergebnisse der Friedman-Tests für die optometrischen und physiologischen Variablen

¹ bei einer Ortsfrequenz von 18 P/°; ² bei Abstand zur dünnsten Hornhautstelle $D_{\text{dün}}$ = 0,0