



Daniel Memmert *Hrsg.*

Digitalisierung und Innovation im Sport und in der Sportwissenschaft

Handbuch Sport und Sportwissenschaft



Springer Spektrum

Digitalisierung und Innovation im Sport und in der Sportwissenschaft

Daniel Memmert
Hrsg.

Digitalisierung und Innovation im Sport und in der Sportwissenschaft

Handbuch Sport und
Sportwissenschaft

mit 112 Abbildungen und 35 Tabellen

 **Springer** Spektrum

Hrsg.
Daniel Memmert 
Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik
Deutsche Sporthochschule Köln
Köln, Deutschland

ISBN 978-3-662-70474-5 ISBN 978-3-662-70475-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-70475-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2025

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jede Person benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des/der jeweiligen Zeicheninhaber*in sind zu beachten.

Der Verlag, die Autor*innen und die Herausgeber*innen gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autor*innen oder die Herausgeber*innen übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Ken Kissinger

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

In Liebe Ute, Lina und Kim.

Vorwort

Dieses Handbuch zeigt als eine der ersten deutschsprachigen Buchpublikationen in einer umfassenden Übersicht, wie Digitalisierung auf innovativer Weise in der sportwissenschaftlichen Forschung und Praxis zum Einsatz kommen. 63 Expertinnen und Experten tragen dazu bei, das große Themenspektrum der Digitalisierung in der Sportwissenschaft abzubilden und den neuesten Forschungsstand prägnant zusammenzufassen.

Die Beiträge werfen einen umfassenden, multidisziplinären Blick auf die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Digitalisierung und Sport. Themen wie Künstliche Intelligenz, Big Data, Sports Analytics, Wearables und Monitoring stehen dabei ebenso im Fokus wie digitale Mediennutzung, internetbasierte Therapie, Technologieakzeptanz und AMS-Systeme im Leistungs- und Breitensport. Thematisiert werden zudem digitale Innovationen im Profifußball, neue Scouting-Metriken, Entscheidungstrainings für Schiedsrichter*innen mit Virtual Reality, mNIRS in der Muskelphysiologie sowie Qualifizierungskonzepte in der Hochschullehre. Auch die pädagogischen Implikationen für Schulsport und Hochschullehre, die Rolle digitaler Technologien in Coaching und Training, sowie Aspekte der Sportökonomie – etwa Tokens, Sponsoring und Plattformökonomien – werden systematisch beleuchtet. Das Handbuch vereint Perspektiven aus Sportwissenschaft, Psychologie, Informatik, Medizin und Wirtschaft und bietet somit eine fundierte Grundlage für alle, die die digitale Transformation des Sports verstehen, gestalten und kritisch reflektieren möchten.

Die Erstellung dieses Fachbuchs erforderte eine ausgewogene Kombination aus intrinsischer Motivation und mitunter anspruchsvoller Arbeit – eine Leistung, die viele Beteiligte auf hervorragende Weise erbracht haben. Ihnen allen gilt mein herzlicher Dank. Besonders möchten wir den Autorinnen und Autoren der einzelnen Kapitel danken, die bereitwillig ihre Expertise eingebracht und das Buch mit großem Engagement kontinuierlich weiterentwickelt haben. Vielen Dank auch für die stets angenehme und konstruktive Zusammenarbeit.

Ich danke ebenfalls Frau Erika Graf für das stets wachsame Begleiten des Buches, ihren vielen Anmerkungen und Ratschlägen. Zudem unsere studentischen Mitarbeiterinnen für das Einnehmen einer kritischen studentischen Perspektive, für ihre konstruktiven Rückmeldungen an die Autorenschaft und für zahlreiche Zuarbeiten zum Glätten von Ecken und Kanten.

Schließlich gilt mein großer Dank der stetigen, sehr freundlichen und immer extrem kompetenten Begleitung unseres Buchprojektes durch die Mitarbeitenden des Springer-Verlags. Zuallererst ist hier Shahbaz Alam (Programmplanung) zu erwähnen, der viel Zeit, Engagement und Energie in das Buch gesteckt hat. Dies ist nicht selbstverständlich! Ohne seine Expertise wäre es so nicht zustande gekommen und dafür bedanke ich mich herzlichst. Beim Mitwirken auf Seiten des Springer-Verlags ist weiterhin Ken Kissinger (Projektmanagement) zu erwähnen, die das Buchprojekt ebenfalls begleitet hat, vielen Dank dafür. Zudem möchte ich allen weiteren Beteiligten aus der Produktion (Copy-Editing, Satz) für die professionelle Zusammenarbeit während des Herstellungsprozesses danken.

Ich wünsche Ihnen viel Freude und einen großen Erkenntnisgewinn beim Lesen

Köln, Deutschland

Daniel Memmert

Inhaltsverzeichnis

Teil I Einleitung	1
Neue Möglichkeiten für Innovation durch aufkommende Technologien	3
Maximilian Panthen und Alexander Brem	
Digitale Medien und psychische Gesundheit: Ein facettenreiches Werkzeug zwischen Chance und Risiko	15
Radha Fiedler und Michael Kellmann	
Big Data and Artificial Intelligence in Sports Analytics	27
Daniel Rojas-Valverde	
Digitalisierung im Schulsport – sportpädagogische Einblicke	41
Benjamin Bonn, Swen Koerner und Mario S. Staller	
Einsatz markerloser Bewegungsvisualisierung im Kontext sportwissenschaftlicher Hochschullehre	55
Christian Büning, Constantin Wirth und Claudia Steinberg	
Teil II Digitale Technologien	63
Sports Analytics	65
Hansjörg Fromm	
Digitale Technologien zur Förderung der Bildung im und durch den Sport	111
Elias Wallnöfer, Tjorven Schnack, Willi Koller und Arnold Baca	
Entwicklung innovativer Scoutingfeatures durch automatisierte Bewegungsdatenanalyse	129
Rudi Zulauf, Daniel Seebacher, Markus Schopp, Christian Gratzei, Katja Ickstadt und Manuel Stein	
Digitaler Plattform- und Systembau: Über Spezifika, Evolution und IT-Architekturen in Sport und Rehabilitation	149
Dominik Hoelbling, René Baranyi und Thomas Grechenig	
Videoanalyse im Fußball	179
Eric Müller-Budack und Ralph Ewerth	

Teil III Technologie-Trends und Zukunftsperspektiven	193
Aktives Altern mittels IKT – aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen	195
Sonja Jungreitmayr	
Trainings- und Athleten-Monitoring – Möglichkeiten und Herausforderungen der Digitalisierung	213
Christoph Schneider, Christian Strotkötter und Jana Nolte	
Technologieakzeptanz und Zufriedenheit mit digitalen Anwendungen im Sport	243
Jens Kleinert und Juliane Mackenbrock	
Muscle Near-Infrared Spectroscopy: mNIRS the Next Generation of Applied Muscle Physiology	259
Andri Feldmann	
Teil IV Innovationsmanagement	283
Ulkis – Ein universitäres Lehrkonzept für KI in den Sportwissenschaften	285
Daniel Memmert, Maximilian Klemp und Robert Rein	
Sporttherapie im digitalen Zeitalter: Vielversprechende Ansätze bei Krebs und Depression?	293
Kira Enders und Nils Haller	
Digitalisierung und Innovation im Sportbusiness: Sponsorship-Engineering im Sport	317
Christoph Breuer	
Videobasiertes Entscheidungstraining für Schiedsrichter*innen in unterschiedlichen Sportarten	325
Geoffrey Schweizer, Jakob Schneider und Henning Plessner	
Fungible and Non-Fungible Tokens in Sports	349
Ute Schüttoff, Laura Glaser und Tim Pawlowski	
Teil V Fallstudien und Praxisbeispiele	367
Digitalisierung im Coaching – Eine trainingspädagogische Perspektive	369
Sven Koerner, Mario S. Staller und Benjamin Bonn	
Datenintelligenz und KI im Profifußball auf Basis moderner Datenarchitekturen	383
Christian Romeike, Gerhard Waldhart, Pascal Buß, Tobias Beckmann, Florian Heid und Oliver Wohak	
Modelle zur Ergebnisvorhersage von Sumo-Kämpfen	401
Robert Kuchen und Herbert Kuchen	

Ambulantes Assessment in der Sportwissenschaft: Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und psychologischen Faktoren im Alltag	419
Robin Olfermann und Markus Reichert	
SAP Sports One – Role-Model für ein Team- und Athleten-Managementsystem	431
Achim Ittner	
What Brings Us to the Football Stadium?—An Analysis of Factors Influencing Attendance Rate and Spectator Quantity in the Chinese Football Association Super League (CSL)	447
Haoyang Ji, Guanghui Li, Jia Liu, Pengyu Pan und Tianbiao Liu	
Stichwortverzeichnis	461

Autorenverzeichnis

Arnold Baca Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft, Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport, Universität Wien, Wien, Österreich

René Baranyi Research Group for Industrial Software, Vienna University of Technology (TU Wien), Vienna, Österreich

Tobias Beckmann d-fine GmbH, Frankfurt, Deutschland

Benjamin Bonn Abteilung für Trainingspädagogik und Martial Research, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln, Deutschland

Alexander Brem Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Christoph Breuer Institut für Sportökonomie und Sportmanagement, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln, Deutschland

Christian Büning Deutsche Sporthochschule, Köln, Deutschland

Pascal Buß FC Köln GmbH & Co. KGaA, Köln, Deutschland

Kira Enders Abteilung Sportmedizin, Prävention und Rehabilitation, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland

Ralph Ewerth TIB – Leibniz-Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften, Hannover, Deutschland

Forschungszentrum L3S, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Deutschland

Andri Feldmann Institute of Sport Science, University of Bern, Bern, Switzerland

Radha Fiedler Fakultät für Sportwissenschaft, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

Hansjörg Fromm Karlsruhe Service Research Institute, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Laura Glaser Faculty of Economics and Social Sciences, Institute of Sports Science, Universität Tübingen, Tübingen, Germany

Christian Gratzei TSV Hartberg, Hartberg, Österreich

Thomas Grechenig Research Group for Industrial Software, Vienna University of Technology (TU Wien), Vienna, Österreich

Nils Haller Abteilung Sportmedizin, Prävention und Rehabilitation, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland

AG Trainings- und Motorikwissenschaft, Paris Lodron Universität Salzburg, Salzburg, Österreich

Florian Heid d-fine GmbH, Frankfurt, Deutschland

Dominik Hoelbling University of Applied Sciences Wiener Neustadt, Wiener Neustadt, Österreich

Katja Ickstadt Technische Universität Dortmund, Dortmund, Deutschland

Achim Ittner Karlsruhe, Deutschland

Haoyang Ji School of Economics, Peking University, Beijing, China

School of statistics, Beijing Normal University, Beijing, China

Sonja Jungreitmayer FB Sport- und Bewegungswissenschaft, Paris Lodron Universität Salzburg, Hallein-Rif, Österreich

Michael Kellmann Fakultät für Sportwissenschaft, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

School of Human Movement and Nutrition Sciences, The University of Queensland, Brisbane, Australien

Jens Kleinert Abteilung Gesundheit und Sozialpsychologie, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln, Deutschland

Maximilian Klemp Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln, Deutschland

Sven Koerner Abteilung für Trainingspädagogik und Martial Research, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln, Deutschland

Willi Koller Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft, Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport, Universität Wien, Wien, Österreich

Herbert Kuchen ERCIS, Universität Münster, Münster, Deutschland

Robert Kuchen IMBEI, Universitätsmedizin Mainz, Mainz, Deutschland

Guanghui Li Funing Experiment Junior High School, Yancheng, China

College of Physical Education and Sports, Beijing Normal University, Beijing, China

Jia Liu School of Mathematical Sciences, Beijing Normal University, Beijing, China

Tianbiao Liu College of Physical Education and Sports, Beijing Normal University, Beijing, China

Juliane Mackenbrock Abteilung Gesundheit und Sozialpsychologie, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln, Deutschland

Daniel Memmert Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln, Deutschland

Eric Müller-Budack TIB – Leibniz-Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften, Hannover, Deutschland

Jana Nolte Lehr- und Forschungsbereich Sportmedizin und Sporternährung, Fakultät für Sportwissenschaft, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

Robin Olfermann Research Group Sport and Exercise Psychology, Department of Sport and Exercise Science, Paris Lodron University Salzburg, Salzburg, Österreich

Department of eHealth and sports analytics, Faculty of Sport Science, Ruhr University Bochum, Bochum, Deutschland

Pengyu Pan College of Physical Education and Sports, Beijing Normal University, Beijing, China

Institute of Exercise Training and Sport Informatics, German Sport University Cologne, Cologne, Germany

Maximilian Panthen Frankenthal, Deutschland

Tim Pawlowski Faculty of Economics and Social Sciences, Institute of Sports Science, Universität Tübingen, Tübingen, Germany

Henning Plessner Institut für Sport und Sportwissenschaft, Universität Heidelberg, Heidelberg, Deutschland

Markus Reichert Research Group Sport and Exercise Psychology, Department of Sport and Exercise Science, Paris Lodron University Salzburg, Salzburg, Österreich

Faculty of Sport Science, Department of eHealth and sports analytics, Ruhr University Bochum, Bochum, Deutschland

Department of Psychiatry and Psychotherapy, Central Institute of Mental Health, Medical Faculty Mannheim, Heidelberg University, Mannheim, Deutschland

Robert Rein Köln, Deutschland

Daniel Rojas-Valverde Centro de Investigación y Diagnóstico en Salud y Deporte (CIDISAD), Escuela Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida (CIEMHCAVI), Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica

Clínica de Lesiones Deportivas (Rehab & Readapt), Escuela Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida (CIEMHCAVI), Heredia, Costa Rica

Christian Romeike d-fine GmbH, Frankfurt, Deutschland

Ute Schüttoff Faculty of Economics and Social Sciences, Institute of Sports Science, Universität Tübingen, Tübingen, Germany

Tjorven Schnack Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft, Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport, Universität Wien, Wien, Österreich

Christoph Schneider BodyGuard! Zentrum für Prävention.Sport.Medizin, Klinik für Kardiologie und Angiologie, Elisabeth-Krankenhaus Essen, Essen, Deutschland

Jakob Schneider Institut für Sport und Sportwissenschaft, Universität Heidelberg, Heidelberg, Deutschland

Markus Schopp LASK, Linz, Österreich

Geoffrey Schweizer Institut für Sport und Sportwissenschaft, Universität Heidelberg, Heidelberg, Deutschland

Daniel Seebacher Subsequent GmbH, Konstanz, Deutschland

Mario S. Staller Fachbereich Polizei, Hochschule für Polizei und öffentliche Verwaltung Nordrhein-Westfalen, Köln, Deutschland

Manuel Stein Subsequent GmbH, Konstanz, Deutschland

Claudia Steinberg Institut für Tanz und Bewegungskultur, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln, Deutschland

Christian Strotkötter Abteilung Theorie & Praxis der Sportarten, Institut für Sportwissenschaft, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland

Gerhard Waldhart Hamburger Sport-Verein e.V., Abt: Frauenfußball, Hamburg, Deutschland

Elias Wallnöfer Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft, Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport, Universität Wien, Wien, Österreich

Constantin Wirth Deutsche Sporthochschule, Köln, Deutschland

Oliver Wohak d-fine GmbH, Frankfurt, Deutschland

Rudi Zulauf Technische Universität Dortmund, Dortmund, Deutschland

Teil I

Einleitung

Neue Möglichkeiten für Innovation durch aufkommende Technologien

Maximilian Panthen und Alexander Brem

Inhalt

1 Bedeutung technologischer Innovationen im Sport	3
2 Fortschreitende Digitalisierung, Künstliche Intelligenz und Big Data	5
3 Innovationspotenzial durch aufkommende Technologien	6
4 Fazit	11
Literatur	11

Zusammenfassung

Sport ist seit jeher eng mit neuen technologischen Innovationen verknüpft. Gerade der Hochleistungssport ist in seiner Natur prädestiniert, die Grenzen des Machbaren auszutesten und die Leistungsfähigkeit von Mensch und Gerät weiterzuentwickeln. In Zukunft werden technologische Innovationen noch stärkeren Einzug im Sport halten, vor allem getrieben durch Digitalisierung, Künstliche Intelligenz und Big Data. Diese Treiber ermöglichen und beschleunigen weitere Innovationen auf dem Feld der Materialwissenschaften, immersiven Technologien oder Robotik. Neue technologischer Innovationen werden alle Ebenen des

Sports beeinflussen: Training und Wettkampfgeschehen, Athleten und Zuschauer, organisierter und nichtorganisierter Sport, Leistungs- und Amateursport. Das wird nicht nur den Sport an sich verändern, sondern auch die Wahrnehmung durch Fans und Gesellschaft.

Schlüsselwörter

Sport · Innovation · Technologie · Digitalisierung · Technologische Innovation

1 Bedeutung technologischer Innovationen im Sport

„In sport, the race is on to let technology decide who wins“ (Financial Times, 2024)

Technologische Innovationen haben den Sport in den letzten Jahrzehnten grundlegend verändert und revolutioniert. Vom Freizeitsport bis hin zum Profibereich hat der technologische Fortschritt nicht nur die Leistungsfähigkeit der Ath-

M. Panthen (✉)
Frankenthal, Deutschland
E-Mail: panthen.research@gmail.com

A. Brem
Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland
E-Mail: alexander.brem@eni.uni-stuttgart.de

leten gesteigert, sondern auch die Art und Weise, wie Sport betrieben, analysiert und erlebt wird (Tjønndal, 2017). Dabei geht es nicht nur um neue Geräte oder Ausrüstung, sondern um umfassende Veränderungen in Training, Wettkampf und Fanerlebnis. Neue Technologien können in fünf Bereichen zur Weiterentwicklung des Sports beitragen (Schmidt, 2024):

- Leistungssteigerung
- Verbesserung des Sportkonsums
- Verbesserung des Managements von Sport und der Sport Governance
- Neue Klassen von Athleten in bestehenden Sportarten
- Entwicklung neuer Sportarten

Der Hochleistungssport und das Streben nach Bestleistungen war immer schon Experimentierfeld für neue Technologien (Ratten, 2020). Das betrifft sowohl die (Wettkampf-)Leistung des Athleten, aber auch andere Aspekte wie Sicherheitserwägungen, Verbesserung des Trainings oder die Genauigkeit von Wettkampfsituationen (Ratten, 2019). Balmer et al. (2012) gehen davon aus, dass die Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit in bestimmten Olympischen Sportarten erreicht sei und zukünftige Leistungssteigerungen nur noch mithilfe neuer technologischer Entwicklungen zu erreichen seien. Frevel et al. (2022) prognostizieren, dass sich die Sportindustrie vor allem durch den technologischen Fortschritt getrieben wandeln wird und olympische Rekorde werden in den nächsten Jahren fallen.

Ein wesentlicher Faktor ist die zunehmende Digitalisierung und die damit einhergehenden Möglichkeiten für beteiligte Akteure. Sie ermöglicht nicht nur die bessere und schnellere Datenerfassung, -verarbeitung, und -analyse, sondern führt zur breiten Verbreitung von Technologien, die bisher nur Spitzenathleten vorbehalten waren („Demokratisierung“). Diese Entwicklung wird im Allgemeinen unter „Demokratisierung von Innovation“ verstanden (von Hippel, 2006).

Beispiel

Früher war die Messung von Leistungsparametern nur für Spitzenathleten zugänglich. Wearables wie Smartwatches, Fitness-Tracker und Sensoren, ermöglichen es heutzutage vielen Sportlern ihre Leistungsdaten in Echtzeit zu überwachen. Diese Geräte liefern präzise Informationen zu Herzfrequenz, Kalorienverbrauch und Bewegung, was nicht nur im Profisport, sondern auch im Breitensport weit verbreitet ist (Seçkin et al., 2023). Durch Massenproduktion von diesen Geräten in Ländern wie China und hoher Wettbewerbsintensität verschiedener Hersteller sind die Preise über die Jahre deutlich gesunken.

Ein weiteres Beispiel ist die Videoanalyse, die früher aufwendig und kostenintensiv war. Die Geräte und Software waren teuer und die Analyse nur Experten vorbehalten. Mit der Weiterentwicklung der Technologie selbst und schlussendlich mit der Einführung des Smartphones konnte das Instrument Videoanalyse sehr einfach zugänglich gemacht werden. Heutzutage kann praktisch jeder Trainer*in seinem Schützling unmittelbar das Video einer Bewegung zeigen und Feedback geben. Technologien haben somit eine Auswirkung auf andere Aspekte des Sports, wie bspw. die Trainer-Athlet-Beziehung. ◀

Das Aufkommen neuer Technologien im Sport kann unterschiedliche Stoßrichtungen haben. Auf der einen Seite ist der Leistungssport Treiber technologischer Entwicklungen, weil es gerade hier um Höchstleistungen und Extrembereiche geht. Auf der anderen Seite sind technologische Innovationen oft zufällig und können sowohl vom Amateurbereich ausgehen, als auch aus anderen Bereichen auf den Sport übertragen werden (Ratten, 2020). Gerade bei der einfachen Handhabung und Kostenreduktion findet eine Skalierung statt, die Technologien einer breiten Masse an Nutzern zugänglich macht (vgl. Beispiel zur Videoanalyse).

Mit zunehmendem Einsatz verschiedener Technologien im Sport gehen mitunter Kontroversen einher. Technologien im Sport kön-

nen menschliche Entscheidungsfindung ersetzen, hohe Kosten haben, Sicherheitsaspekte unterwandern oder Unfairness begünstigen (Dyer, 2015). Typische Beispiele umfassen die Diskussion um den beinamputierten Sprinter Oscar Pistorius oder die Abschaffung von Ganzkörperschwimmanzügen. Es wird ersichtlich, dass Regeln und Richtlinien unter Umständen nötig sind, um den Einsatz technologischer Innovationen zu steuern. Der sog. Sport Governance kommt also die Aufgabe zuteil, den Einsatz neuer technologischer Innovationen zu ermöglichen und zu beschleunigen oder sie zu begrenzen und ihr einen Rahmen zu geben (Tjønndal, 2017).

2 Fortschreitende Digitalisierung, Künstliche Intelligenz und Big Data

Über alle Sportarten und Kontexte hinweg lässt sich die Digitalisierung als genereller Treiber identifizieren, der technologische Innovationen im Sport begünstigt. Fortschritte in der Konnektivität (z. B. 5G) ermöglichen eine nahtlose Integration von Daten in Trainings-, Wettkampf- und Fanprozesse. Somit hat die Digitalisierung ein disruptives Potenzial für verschiedene Ebenen des Sports, weil sie nicht nur bestehende Strukturen und Prozesse optimiert, sondern neue Produkte, Dienstleistungen, Geschäftsmodelle und Akteure ermöglicht (Ströbel et al., 2021).

Künstliche Intelligenz ist im Kontext der Digitalisierung als eine neue Schlüsseltechnologie zu sehen. Schlüsseltechnologien sind wesentliche Treiber von Transformationsprozessen und entfalten ihre Wirkung in verschiedenen Lebensbereichen (Gausemeier et al., 2018). Sie sind relevant für die Entwicklung von weiteren Technologien und Innovation im Allgemeinen. Bei Künstlicher Intelligenz handelt es sich um ein Technologiecluster, deren Bestandteile wie Machine Learning oder Deep Learning heute schon in verschiedenen Bereichen des Sports eingesetzt werden (Chmait & Westerbeek, 2021). Künstliche Intelligenz kann große Datenmengen analysieren und in Echtzeit verwertbare Erkenntnisse liefern, indem komplexe, nicht-lineare Muster, wie sie in Bild-, Sprach-

und Textdaten vorkommen, verarbeitet werden. Das Anwendungsspektrum künstlicher Intelligenz im Sport erstreckt sich von Spielanalyse, Talenterkennung, Training und Coaching bis hin zur Fansegmentierung (Chmait & Westerbeek, 2021). Die Besonderheit daran ist die Zugänglichkeit dieser hochkomplexen Systeme. Generative KI-Anwendungen wie ChatGPT oder DeepSeek sind frei zugänglich, einfach zu bedienen und können beliebig angepasst werden. DeepSeek z. B. verfolgt eine explizit offene Plattform, welche durch jeden Anwender genutzt und weiterentwickelt werden kann. So ergeben sich bspw. auch für Hobby Sportler oder Startups ungeahnte Möglichkeiten, sich selbst solche Anwendungen für den Sport zu bauen. Und wenn das funktioniert, ist sogar eine kommerzielle Weiternutzung denkbar und möglich.

Big Data beschreibt die Erfassung, Speicherung und Analyse großer Datenmengen. Große Datenmengen entstehen im Sport z. B. durch Spielstatistiken, Spielanalyse oder Sensordaten, aber auch durch Fandaten (Mansurali et al., 2024). Die Entwicklung hin zu datengetriebenem Sport lässt sich anhand der Reifung der Zielbilddauswertung seit 1948 illustrieren. Bei den Olympischen Spielen 2024 wurde eine Kamera eingesetzt, die 40.000 Bilder pro Sekunde schießt (Sport Business Journal, 2024). Somit lässt sich nicht nur der genaue Zieleinlauf bestimmen, der in diesem Fall 0,005 s zwischen dem Olympiasieger und dem Olympiazweiten betrug, sondern die Entwicklung der jeweiligen Renngeschwindigkeiten. Diese Genauigkeit geht mit einer Produktion großer Datenmengen einher, die letztendlich in Echtzeit prozessiert und analysiert werden müssen.

Es wird deutlich, dass fortschreitende Digitalisierung, Künstliche Intelligenz und Big Data im Sport eng miteinander zusammenhängen und zusammenwirken, um heute und in Zukunft neue Möglichkeiten in Training, Analyse und Fan-Engagement hervorzubringen. Die Digitalisierung ermöglicht erst die Erfassung großer Datenmengen durch Sensoren, Wearables und Kameras, die Athleten und deren Leistungen kontinuierlich überwachen. Big Data-Technologien analysieren diese Datensätze und extrahieren wertvolle Erkenntnisse, bspw. über Fitness, Spieltaktiken

oder Verletzungsrisiken. Künstliche Intelligenz spielt dann eine entscheidende Rolle, wenn Muster in den Daten identifiziert, Vorhersagemodelle erstellt und personalisierte Trainingspläne oder Strategien generiert werden sollen. In Kombination treiben diese Technologien Innovationen im Sport und verbessern Effizienz, Entscheidungsfindung und Zuschauererlebnisse.

Beispiel

Wenn man einen einzigen Stadionbesuch betrachtet, so wird das Zusammenspiel von Digitalisierung, Big Data und Künstlicher Intelligenz deutlich. Entlang des Erlebnisses gibt es eine Reihe von digitalen Schnittstellen zum Fan, z. B. die Ticket-, Stadion- oder Verkehrsapp. Hier werden über die Zeit eine Vielzahl von Daten generiert, die anschließend analysiert werden können. Mit Hilfe Künstlicher Intelligenz können Muster erkannt werden, die bspw. Aussagen über künftige Käufe ermöglichen (Caulfield & Jha, 2022). ◀

Ein Bestandteil und Treiber der Digitalisierung ist die Miniaturisierung und Effizienzsteigerung. Sensoren und Elektronik werden kleiner, leichter und leistungsfähiger, was die Entstehung tragbarer Technologien und smarter Ausrüstung vorantreibt. Zusätzlich gibt es vermehrt kabellose Datenübertragung und nutzerfreundliche Software (Linnaam, 2023). Diese Entwicklungen treiben wiederum die Erfassung einer großen Menge von Parametern und die Überwachung einer Vielzahl sportlicher Bewegungen, sowohl auf Profineiveau, als auch bei Hobbysportlern. Somit können Bewegungsabläufe durch sofortiges Feedback verbessert, Trainingsprogramme auf Basis von vielen Sensordaten verbessert und Sportereignisse noch genauer dokumentiert werden (Siegel & Morris, 2024). Natürlich stellen sich hier auch ethische Fragen, und rechtliche Rahmenbedingungen wie die jeweiligen Datenschutzverordnungen sind zu berücksichtigen.

Beispiel

Ein praktisches Beispiel für den Einsatz einer Vielzahl von Sensoren ist der Airbag im alpi-

nen Skirennsport. Die eingebauten Bewegungsmesser und Sensoren sind auf der einen Seite sehr klein, auf der anderen Seite erfassen sie Signale im Bereich von Tausendstelsekunden. Sie liefern über die Zeit eine Vielzahl von Daten, die zur Verbesserung des Systems genutzt werden können. Algorithmen helfen dabei die gewonnenen Daten zu analysieren und Vorhersagen zu treffen. Wenn also ein bestimmtes Muster an Daten erkannt wird (z. B. extreme Kraftausschläge), löst der Airbag aus. Letztendlich soll das Gesamtsystem und das Zusammenspiel der Einzelkomponenten dazu führen, dass der Airbag noch vor dem Aufprall ausgelöst wird und den Skifahrer vor schweren Verletzungen schützt (Demonerosso, 2024). ◀

3 Innovationspotenzial durch aufkommende Technologien

Im Folgenden werden vier Technologiebereiche vorgestellt, die in Zukunft weitere Innovationspotenziale im Sport erwarten lassen. Dabei sind diese nicht isoliert zu betrachten, denn Innovationen entstehen oft dort, wo verschiedene Technologien zusammenwirken (Ratten, 2019).

- Robotik und Drohnen
- Biotechnologie und Genetik
- Immersive Technologien
- Materialentwicklung und Additive Fertigung

Als grundsätzliche Treiber in allen Bereichen sind hier erneut Digitalisierung, Künstliche Intelligenz und Big Data zu nennen. Selbst im Bereich „Materialentwicklung und Additive Fertigung“, der in erster Linie physische Produkte vermuten lässt, kommen diese Faktoren zum Tragen. So werden in Zukunft immer neue Möglichkeiten gefunden werden Materialien „smart“ zu machen, z. B. durch die Integration von Sensorik (Kantaros et al., 2023). Auch bei der Entwicklung von neuen Materialien oder bei der Materialsimulation bzw.

Qualitätsprüfung wird Künstliche Intelligenz vermehrt eingesetzt werden.

3.1 Robotik und Drohnen

Drohnen sind ein sehr gutes Beispiel für die Entwicklung neuer Technologien aus Nischen heraus. Denn Drohnen sind ursprünglich für Hobby- und Privatanwender vorwiegend interessant gewesen, da sich die darin verbauten Technologien noch in einem relativ frühen Stadium befanden und deren Leistungsfähigkeit entsprechend limitiert war (Giones & Brem, 2017). Durch Fotografie und Filmanwendungen haben sich Drohnen heute in neuen Bereichen wie Inspektionsservices und Logistikanwendungen etabliert. Getrieben wurden diese Entwicklungen durch technologische Innovationen in den Bereichen Sensorik, Prozessoren, Kameras, Batterien und Motoren (Giones et al., 2019).

Die Anwendung von Robotik und Drohnen im Sport entwickelt sich fortwährend weiter und wird zunehmend zu einem festen Bestandteil verschiedener Sportarten. Heutzutage werden Drohnen in verschiedenen Sportkontexten eingesetzt, um bspw. weitere Kamerawinkel für die Sportübertragung zu ermöglichen. Im Fußballstadion oder auf der Skisprungschanze schaffen Drohnen neue Perspektiven für Zuschauer und ermöglichen ein intensiveres Zuschauererlebnis (Schmidt, 2024).

Im Bereich der Trainings- und Wettkampfanalyse kann die Drohnentechnologie nicht nur Videoaufnahmen zu liefern, sondern auch darauf basierende Positionserfassung vergleichsweise kostengünstig realisieren (Lamers et al., 2022). Darüber hinaus können Drohnen Echtzeit-Daten über Wetterbedingungen, Windrichtungen oder Streckenzustände sammeln, die sowohl Athleten als auch Organisatoren bei der Entscheidungsfindung unterstützen. Neben diesem Einsatz für den Sport selbst entwickelten sich in der Vergangenheit neue Wettkampfformate wie das Drone Racing. Das Rennen mit Drohnen ist schon heute ein Sport oder zumindest Entertainment mit wett-kampffartigem Charakter (Schmidt, 2024).

Ein wesentlicher Bereich, in dem Robotik im Sport eingesetzt wird, ist das Training von Ath-

leten. Robotergestützte Trainingssysteme können Bewegungsabläufe präzise nachahmen und dadurch Athleten helfen, ihre Technik zu verbessern (Siegel & Morris, 2024). Bspw. werden in Sportarten wie Tennis oder Golf robotische Systeme eingesetzt, um Schlagbewegungen zu analysieren und zu optimieren. Auch humanoide Roboter, die realistische Gegner simulieren, kommen in Sportarten wie Boxen zum Einsatz (Skytechsports, 2024). Durch den Einsatz von Robotik können Athleten ihre Leistung kontinuierlich verbessern, ohne von menschlichen Trainingspartnern abhängig zu sein.

Ein weiterer Bereich ist der Einsatz von Drohnen und Robotik ist das Stadionerlebnis. Hier Innovationen das Fanerlebnis verbessern und zur Erhöhung der Sicherheit bei Sportveranstaltungen beitragen. Drohnen können große Menschenmengen überwachen und potenzielle Risiken, wie Gedränge oder sicherheitskritische Situationen, frühzeitig erkennen. Gleichzeitig können Roboter in der Logistik eingesetzt werden, um bspw. Materialien und Ausrüstungen effizient zu transportieren oder die Wartung von Sportanlagen zu automatisieren. Durch diese Entwicklungen werden Sportveranstaltungen sicherer und effizienter durchgeführt. Auch im Bereich der Zuschauerinteraktion bieten Robotik und Drohnen neue Möglichkeiten. Roboter können bspw. als Guides in Stadien dienen, um Besuchern den Weg zu zeigen oder ihnen Informationen über die Veranstaltung zu liefern. Drohnen könnten in Zukunft personalisierte Fan-Erlebnisse schaffen, etwa durch die Lieferung von Snacks direkt zum Zuschauerplatz oder durch das Aufnehmen individueller Videos aus der Luftperspektive.

In Zukunft werden Roboter und Drohnen in zunehmend verschiedenen Bereichen des Sports eingesetzt werden. Mit weiteren Fortschritten in der Technologie und sinkenden Kosten wird erwartet, dass ihre Anwendungen noch vielfältiger und zugänglicher werden (Siegel & Morris, 2024). Langfristig könnten Roboter und Drohnen grundlegend Sportarten verändern, z. B. durch Mensch-Maschine-Interaktion, eigenständige Sportarten oder Entscheidungsfindung durch Robotersysteme (Siegel & Morris, 2024).

Last but not least kennt jeder Fan die langen Schlangen bei Getränke- und Essensausgaben. Leistungsfähige Drohnen könnten z. B. in den Pausen schnell und effizient Produkte direkt am Platz zustellen, inkl. Zahlungsabwicklung.

3.2 Biotechnologie und Genetik

Die Fortschritte in Biotechnologie und Genetik können neue Wege der Leistungsverbesserung, Verletzungsprävention und Personalisierung von Trainingsansätzen hervorbringen (Bojarczuk, 2024). Von genetischem Screening bis hin zu biotechnologischen Interventionen gibt es zahlreiche Anwendungen, die im Sport Chancen und ethische Herausforderungen gleichermaßen mit sich bringen (Varillas-Delgado et al., 2022).

Ein zentraler Bereich der Biotechnologie im Sport ist das genetische Screening. Durch die Analyse des individuellen Genoms können spezifische genetische Prädispositionen identifiziert werden, die Einfluss auf sportliche Leistung, Verletzungsanfälligkeit oder Regenerationsfähigkeit haben (Ma et al., 2013). Bestimmte Genvarianten, wie ACTN3 (assoziiert mit Schnelldauer) oder ACE (assoziiert mit Ausdauer), geben darüber Aufschluss, welches Leistungspotenzial in den jeweiligen Sportarten zu erwarten ist. Dies ermöglicht es Trainern und Athleten, personalisierte Trainingspläne zu entwickeln, die auf den individuellen genetischen Stärken basieren (Ahmetov & Fedotovskaya, 2015).

Darüber hinaus bietet die Biotechnologie neue Ansätze zur Verletzungsprävention und Rehabilitation, insbesondere bei Sportarten mit hohen mechanischen Belastungen (Hutmacher, 2024). Geweberegenerationstechnologien wie die Nutzung von Stammzellen oder bioaktiven Materialien können Heilungsprozesse beschleunigen und Athleten nach Verletzungen schneller wieder ins Training bringen (Hutmacher, 2024). Insbesondere die regenerative Medizin hat das Potenzial, chronische Verletzungen zu behandeln und die Karriere von Profisportlern zu verlängern.

Auch im Bereich Biotechnologie und Genetik spielen Big Data und Künstliche Intelligenz eine entscheidende Rolle. Durch die Analyse großer

Datenmengen aus genetischen Studien können neue Erkenntnisse gewonnen werden, die zur Optimierung von Trainingsmethoden beitragen (Selami et al., 2022). KI-Modelle können zudem dabei helfen, genetische Risikofaktoren für Verletzungen vorherzusagen und individualisierte Präventionsstrategien zu entwickeln. Auch können KI Tools Fehler bei Diagnosen verringern, indem kostengünstig und schnell Zweit- und Dritteinschätzungen zur Verfügung gestellt werden können. In der Mustererkennung kann die künstliche Intelligenz helfen, Fehler zu vermeiden und Schwachstellen schnell zu erkennen.

Die Fortschritte in Biotechnologie und Genetik bringen jedoch auch ethische und regulatorische Herausforderungen mit sich (Bojarczuk, 2024). Fragen der Fairness, des Datenschutzes und der Integrität des Sports stehen im Mittelpunkt der Diskussion. Insbesondere der Einsatz genetischer Manipulationen zur Leistungssteigerung könnte eine Gefahr für die Chancengleichheit im Sport darstellen. Denkbar wären hier Dopingpräparate, die individuell auf die jeweilige genetische Prädisposition abgestimmt sind und somit noch größere leistungssteigernde Effekte erwarten lassen.

3.3 Immersive Technologien

Immersive Technologien sind ein Cluster an Technologien, wie z. B. Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR). VR erzeugt vollständig virtuelle Umgebungen, die den Nutzer komplett von der realen Welt isolieren, oft durch spezielle Headsets (z. B. VR-Brillen von Meta Quest), um eine immersive Erfahrung zu schaffen. AR hingegen überlagert digitale Inhalte wie Grafiken oder Informationen auf die reale Umgebung, indem sie mithilfe von Smartphones, Tablets oder Smart Glasses visuelle Ergänzungen in die physische Welt integriert, wodurch diese erweitert statt ersetzt wird (Ro et al., 2018).

Beispiel

Ein mittlerweile weit verbreitetes Beispiel von Augmented Reality ist die Bandenwerbung im Sport. Digital Overlays ermöglichen das An-

zeigen zielgruppenspezifischer Werbung bei der TV-Übertragung. Die Banden im Stadion werden software-gestützt überblendet und je nach Sendesignal an die jeweilige Region angepasst (Deutsche Fußball Liga, 2022). ◀

Gepaart mit neueren Konzepten wie Web3, NFTs (non-fungible tokens) und dem Metaverse können immersive Technologien sowohl das Sporterlebnis der Zuschauer als auch das Training und die Leistung der Athleten verbessern (Schmidt, 2024). Die Entwicklung dieser Technologien wird durch Fortschritte in Hardware, Software und Netzwerktechnologien wie 5G angetrieben. Der Trend wachsender Popularität von VR und AR zeichnet sich in der steigenden Anzahl wissenschaftlicher Publikationen zu diesem Thema ab (Zhao et al., 2022). VR und AR finden mittlerweile Anwendung in Sportspielen, Virtueller Simulation, im Training, im Sportunterricht und in der Rehabilitation (Putranto et al., 2023).

Ein zentraler Bereich, in dem immersive Technologien eingesetzt werden, ist das Fanerlebnis. VR ermöglicht es bspw., Spiele aus der Perspektive eines Spielers oder direkt von der Seitenlinie zu erleben (Miah et al., 2024). Zuschauer können mit VR-Headsets eine immersive 360-Grad-Ansicht des Spielfelds erhalten, wodurch sie das Gefühl haben, live vor Ort zu sein, auch wenn sie das Spiel von zu Hause aus verfolgen (Miah et al., 2024). AR bietet ebenfalls innovative Ansätze: Durch die Integration von AR-Elementen in mobile Apps oder Smart Glasses können Fans Echtzeit-Statistiken, Spielerinformationen und taktische Analysen während des Spiels abrufen.

Neuere Technologien wie Web3 und NFTs schaffen darüber hinaus völlig neue Interaktionsmöglichkeiten für Fans. Mit Hilfe von Web3, einer dezentralen Version des Internets, können Fans über Blockchain-Technologien direkt mit Sportteams oder Athleten interagieren. NFTs werden bereits genutzt, um digitale Sammlerstücke wie Highlight-Clips, virtuelle Trikots oder exklusive Erlebnisse anzubieten (Glebova & Mikhail'Ova, 2023). Diese digitalen Assets können gehandelt oder gesammelt werden, wodurch eine neue Form des Fan-Engagements entsteht. Im Metaverse, einer virtuellen, interaktiven Welt,

können Fans an digitalen Sportveranstaltungen teilnehmen, mit anderen Fans interagieren oder sogar virtuelle Trainingssessions mit ihren Lieblingsathleten erleben (Miah et al., 2024). Diese Entwicklungen erweitern die traditionelle Grenze zwischen physischen und digitalen Sporterlebnissen erheblich und werden in Zukunft noch größere Anwendung im Zuschauersport finden.

Im Profisport werden immersive Technologien zunehmend zur Leistungssteigerung und im Training eingesetzt. VR-Simulationen ermöglichen es Athleten, verschiedene Spielsituationen realistisch zu erleben und ihre Entscheidungsfindung zu verbessern, ohne physisch auf dem Spielfeld sein zu müssen (Cossich et al., 2023). AR-Anwendungen können Trainingsumgebungen ergänzen, indem sie virtuelle Gegner oder dynamische Ziele in die physische Umgebung einblenden. Diese Anwendungen helfen Athleten, ihre Reaktionsfähigkeit, Koordination und Technik zu verbessern. Auch die Rehabilitation von Verletzungen profitiert von immersiven Technologien. VR-basierte Therapieansätze bieten kontrollierte Umgebungen, in denen Patienten Bewegungsabläufe trainieren und ihre körperliche Fitness wiederherstellen können (Dowsett et al., 2023).

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Einsatz von immersiven Technologien im Coaching und in der Analyse. Mixed-Reality-Systeme können Trainern und Analysten dabei helfen, komplexe Spielsituationen in Echtzeit zu visualisieren und zu bewerten (Geisen & Klatt, 2022). Daten aus Sensoren, Wearables und Kameras werden dabei in immersive Darstellungen überführt, die detaillierte Einblicke in die Leistung einzelner Spieler oder ganzer Teams bieten. Diese Technologien tragen dazu bei, fundierte Entscheidungen zu treffen und die Strategien anzupassen.

In Zukunft werden immersive Technologien im Sport zunehmen Einzug halten. Mit der Weiterentwicklung von Hardware wie leichteren VR-Headsets und der Integration von KI in AR- und VR-Systeme wird erwartet, dass diese Technologien noch zugänglicher und leistungsfähiger werden (Siegel & Morris, 2024). Langfristig könnten immersive Technologien den Sport grundlegend verändern, indem sie eine tiefere Verbindung zwischen Athleten, Trainern und Fans schaffen und

gleichzeitig neue Möglichkeiten für Innovation und Wachstum bieten (Cossich et al., 2023).

Am Beispiel VR und AR wird deutlich, dass das Innovationspotenzial durch neue Technologien im Sport im Zusammenwirken von Faktoren besteht (Cossich et al., 2023). Diese Faktoren können verschiedene Technologien sein, denn im Fall von VR und AR ist Künstliche Intelligenz ein wesentliches Element, um Bewegungen aufzuzeichnen und zu analysieren. Andere Faktoren sind eher sozialer, ethischer und ökonomischer Natur, die einer Technologie zur bereiten Anwendung verhelfen.

3.4 Materialentwicklung und Additive Fertigung

Die Weiterentwicklung von Materialien zur Leistungssteigerung im Sport spielt seit jener eine große Rolle. Ein zentraler Bereich, in dem neue Materialien stetig weiterentwickelt werden, ist die Sportausrüstung. Diese Evolution betrifft nicht nur kleine und inkrementelle Weiterentwicklungen, sondern auch sprunghafte Veränderungen wie z. B. die Einführung von Fiberglasstäben im Stabhochsprung (Balmer et al., 2012). Sie lösten Stäbe aus anderen Materialien wie Aluminium oder Stahl ab und ermöglichten durch leichteres Gewicht bei gleichzeitiger Härte höhere Höhen. Gerade bei der Messung von Leistung in Zeit und Distanz haben technologische Innovationen im Materialbereich einen hohen Einfluss (Haake, 2009). In jüngster Zeit hat der Einsatz von Carbon in Laufschuhen dafür gesorgt, dass mehrere Rekorde in diesem Bereich gebrochen wurden (Deutschlandfunk, 2024).

Diese Evolution der Materialien bietet nicht nur neue Möglichkeiten zur Leistungssteigerung, sondern auch zur Personalisierung von Ausrüstung, zur Reduzierung von Umweltauswirkungen und zur Erhöhung der Sicherheit von Athleten (Subic, 2019). Hieraus ergeben sich gleichermaßen Zielkonflikte zwischen der Weiterentwicklung von Material zur Leistungssteigerung bei gleichzeitiger Wahrung der Sicherheit von Athleten. Ein aktuelles Beispiel ist hier die Diskussion über viele Stürze vom im alpinen Skirennsport.

Moderne Verbundwerkstoffe wie Kohlefaser und Graphen zeichnen sich durch eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht aus. Diese Eigenschaften machen sie ideal für die Herstellung von Equipment wie Fahrrädern, Tennisschlägern und Laufschuhen (Subic, 2019). Durch den Einsatz solcher Materialien können Athleten ihre Leistung steigern, indem sie effizienter agieren, z. B. durch höheren Raten der Energierückgewinnung oder Festigkeit des Materials.

Die additive Fertigung bezeichnet die schichtweise Fertigung von Werkstoffen mit verschiedenen Materialien wie Kunststoff oder Metall. Mit Hilfe von 3D-Druckverfahren können Maßanfertigungen erstellt werden, die exakt auf die anatomischen und biomechanischen Eigenschaften eines Athleten abgestimmt sind (Kajtaž et al., 2019). Diese „Customization“ ist neben dem rapid prototyping und Ausnutzen neuer Designformen der Hauptanwendungsbereich additiver Fertigung im Sport. Die individuelle Anpassung von Sportgeräten und –ausrüstung ist nicht nur Profisportlern vorbehalten, sondern wird zunehmend auch im privaten Bereich eingesetzt (Beiderbeck et al., 2024).

Die Einsatzmöglichkeiten werden heute schon dort ausgeschöpft wo es besonders wichtig ist, genaue und individuelle Anpassungen auf den menschlichen Körper vorzunehmen. Dies ist besonders wichtig in Sportarten wie Ski- oder Radfahren (z. B. Helme oder Protektoren). Gerade auch für paralympische Athleten können Prothesen hergestellt werden, die genau auf die individuellen Bedürfnisse abgestimmt sind.

Ein weiterer Vorteil der additiven Fertigung ist die Möglichkeit, komplexe Strukturen zu erstellen, die mit traditionellen Herstellungsverfahren nicht realisierbar wären. Bspw. können durch die Integration von Gitterstrukturen in Helme oder Protektoren nicht nur das Gewicht reduziert, sondern auch die Stoßdämpfungseigenschaften verbessert werden. Dies erhöht nicht nur die Leistung, sondern auch die Sicherheit der Athleten (Beiderbeck et al., 2024).

In Zukunft wird die Materialforschung und –entwicklung 4D Materialien und smarte Materialien hervorbringen, die sowohl konventionell als auch additiv gefertigt werden können (Kantaros

et al., 2023). Smarte Materialien zeichnen sich durch die Veränderung der Eigenschaften im Zeitablauf aus. Bei der Veränderung der äußeren Einflüsse wie Kraft, Temperatur oder Widerstand verändern diese Materialien ihre Eigenschaften. Weitere innovative Materialien wie selbstheilende Polymere oder piezoelektrische Stoffe sind in der Lage, mechanische Energie in elektrische Energie umzuwandeln und somit bspw. Sensoren in Echtzeit mit Strom zu versorgen (Kantaros et al., 2023). Auch ist es mit neuen Technologien denkbar, komplette digitale Zwillinge von Sportlern herzustellen. Daran können z. B. Gefahrensituationen trainiert, neue Kleidungen getestet oder neue Sportgeräte ausprobiert werden.

Neben der Leistungssteigerung steht auch die Nachhaltigkeit im Fokus der Material- und Fertigungsforschung. Recyclingfähige Materialien und biologisch abbaubare Polymere werden zunehmend in der Produktion von Sportausrüstung eingesetzt, um die Umweltbelastung zu minimieren. Additive Fertigung ermöglicht es zudem, Materialabfälle während der Produktion zu reduzieren, da nur die exakt benötigte Menge an Material verwendet wird. Langfristig könnte dies dazu beitragen, die Sportindustrie umweltfreundlicher zu gestalten.

Trotz der zahlreichen Vorteile stehen sowohl neue Materialien als auch die additive Fertigung vor Herausforderungen. Die hohen Kosten für Forschung und Entwicklung sowie die noch begrenzte Verfügbarkeit bestimmter Materialien erschweren die breite Anwendung (Beiderbeck et al., 2024). Zudem müssen regulatorische Standards geschaffen werden, um die Sicherheit und Qualität der Produkte zu gewährleisten. Die Frage nach Einheitsmaterial in bestimmten Sportarten, z. B. im Radsport wird auch in Zukunft noch diskutiert werden (Deutschlandfunk, 2024).

flussen und Fortschritte erwarten lassen. Es ist festzuhalten, dass Innovation vor allem dort entsteht, wo verschiedene Technologien zusammenwirken und diese auf fruchtbare Rahmenbedingungen treffen. Diese Rahmenbedingungen und Regelwerke sind ein fortwährender Diskurs zur Frage inwieweit Technologien im Sport Einzug halten sollen. Es ist also nicht die Frage, ob Roboter, immersive Technologien oder Künstliche Intelligenz den Sport verändern können, sondern bis zu welchem Grad Akteure das zulassen wollen, denn die Abhängigkeit von Daten und Geräten wirft auch heute schon ethische und datenschutzrechtliche Fragen auf. Die Integration neuer Technologien im Sport wird auch in Zukunft das Potenzial haben, sowohl die sportliche Leistung als auch die Zuschauererfahrung nachhaltig zu verändern und darüber hinaus ganz neue Formen von Sport zu schaffen. Mit einem entsprechenden vorsichtigen, aber offenen Umgang mit neuen Technologien kann nicht nur der Athlet z. B. mehr Sicherheit gewinnen, sondern der ganze Sport als Erlebnis für Groß und Klein.

Erklärung zu konkurrierenden Interessen Der/die Autor(en) hat/haben keine Interessenkonflikte zu erklären, die für den Inhalt dieses Manuskripts relevant sind.

Literatur

- Ahmetov, I. I., & Fedotovskaya, O. N. (2015). Current progress in sports genomics. *Advances in clinical chemistry*, 70, 247–314.
- Balmer, N., Pleasence, P., & Nevill, A. (2012). Evolution and revolution: Gauging the impact of technological and technical innovation on Olympic performance. *Journal of Sports Sciences*, 30(11), 1075–1083.
- Beiderbeck, D., Krüger, H., & Minshall, T. (2024). The future of additive manufacturing in sports. In S. L. Schmidt (Hrsg.), *21st century sports: How technologies will change sports in the digital age* (S. 111–132). Springer International Publishing.
- Bojarczuk, A. (2024). Ethical aspects of human genome research in sports – A narrative review. *Genes*, 15(9), 1216.
- Caulfield, J., & Jha, A. K. (2022). Stadiums and digitalization: An exploratory study of digitalization in sports stadiums. *Journal of Decision Systems*, 31, 331–340.
- Chmait, N., & Westerbeek, H. (2021). Artificial intelligence and machine learning in sport research: An in-

4 Fazit

Der technologische Fortschritt wird auch in Zukunft alle Facetten des Sports nachhaltig beeinflussen. Insbesondere Digitalisierung, Big Data und Künstliche Intelligenz sind Treiber von Innovation im Sport, weil sie viele Bereiche beein-

- roduction for non-data scientists. *Frontiers in sports and active living*, 3, 682287.
- Cossich, V. R., Carlgren, D., Holash, R. J., & Katz, L. (2023). Technological breakthroughs in sport: Current practice and future potential of artificial intelligence, virtual reality, augmented reality, and modern data visualization in performance analysis. *Applied Sciences*, 13(23), 12965.
- Demonerosso. (2024). *D-air® Ski: der unsichtbare Schutz der Ski-Champions*. <https://demonerosso.dainese.com/de/d-air-ski-unsichtbare-schutz-der-ski-champions>. Zugriffen am 25.01.2025.
- Deutsche Fußball Liga. (2022). *Virtuelle Bandenwerbung: Zulassung des ersten software-basierten Systems in der Bundesliga*. <https://www.dfl.de/de/innovation/virtuelle-bandenwerbung-zulassung-des-ersten-software-basierten-systems-in-der-bundesliga/>. Zugriffen am 25.01.2025.
- Deutschlandfunk. (2024). *Wie Material den Sport verändern kann*. <https://www.deutschlandfunkkultur.de/wie-material-sport-veraendern-kann-100.html>. Zugriffen am 25.01.2025.
- Dowsett, R., Kinrade, N., Whiteside, D., Lawson, D., Barnett, C., Magistro, D., & Wilkins, L. (2023). Own goal or home run? Exploring the implementation of virtual reality training in football and baseball organisations. *Sport, Business and Management: An International Journal*, 13(6), 665–684.
- Dyer, B. (2015). The controversy of sports technology: A systematic review. *SpringerPlus*, 4, 1–12.
- Financial Times. (2024). *In sport, the race is on to let technology decide who wins*. <https://www.ft.com/content/f0235866-d8db-467d-a8b0-ea359401cf8f>. Zugriffen am 25.01.2025.
- Frevel, N., Beiderbeck, D., & Schmidt, S. L. (2022). The impact of technology on sports—A prospective study. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, 121838.
- Gausemeier, J., Dumitrescu, R., Pfänder, T., Steffen, D., & Thielemann, F. (2018). *Innovationen für die Märkte von morgen: Strategische Planung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- Geisen, M., & Klatt, S. (2022). Real-time feedback using extended reality: A current overview and further integration into sports. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17(5), 1178–1194.
- Giones, F., & Brem, A. (2017). From toys to tools: The co-evolution of technological and entrepreneurial developments in the drone industry. *Business Horizons*, 60(6), 875–884.
- Giones, F., Gurses, K., & Brem, A. (2019). The interplay of technology entrepreneurs and regulation in a new industry: The case of the drone industry. In F. Thérin (Hrsg.), *Handbook of Research on Techno-Entrepreneurship* (S. 73–91). Edward Elgar Publishing.
- Glebova, E., & Mihail’Ova, P. (2023). New currencies and new values in professional sports: Blockchain, NFT, and fintech through the stakeholder approach. *Journal of Physical Education and Sport*, 23(5), 1244–1252.
- Haake, S. J. (2009). The impact of technology on sporting performance in Olympic sports. *Journal of Sports Sciences*, 27(13), 1421–1431.
- Hutmacher, D. W. (2024). The current state and future of regenerative sports medicine. In S. L. Schmidt (Hrsg.), *21st century sports: How technologies will change sports in the digital age* (S. 149–165). Springer International Publishing.
- Kajtaž, M., Subic, A., Brandt, M., & Leary, M. (2019). Three-dimensional printing of sports equipment. In A. Subic (Hrsg.), *Materials in sports equipment* (Materials in sports equipment, S. 161–198). Woodhead Publishing.
- Kantaros, A., Ganetsos, T., & Piromalis, D. (2023). 4D Printing: Technology overview and smart materials utilized. *Journal of Mechatronics and Robotics*, 7(1), 1–14.
- Lamers, M., Schmid, M., & Russomanno, T. (2022). *Einsatz von Drohnen im Sport*. https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Projektlisten/Projekte_2022/DrohnenSport.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugriffen am 25.01.2025.
- Linnamo, V. (2023). Sensor technology for sports monitoring. *Sensors*, 23(2), 572.
- Ma, F., Yang, Y., Li, X., Zhou, F., Gao, C., Li, M., & Gao, L. (2013). The association of sport performance with ACE and ACTN3 genetic polymorphisms: A systematic review and meta-analysis. *PloS one*, 8(1), e54685.
- Mansurali, A., Jeyanthi, P. M., Hack-Polay, D., & Mahmoud, A. B. (2024). *Sports analytics*. Springer International Publishing.
- Miah, A., Fenton, A., & Chadwick, S. (2024). Virtual reality and sports: The rise of mixed, augmented, immersive, and esports experiences. In S. L. Schmidt (Hrsg.), *21st century sports: How technologies will change sports in the digital age* (S. 249–262). Springer International Publishing.
- Putranto, J. S., Heriyanto, J., Achmad, S., & Kurniawan, A. (2023). Implementation of virtual reality technology for sports education and training: Systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 216, 293–300.
- Ratten, V. (2019). *Sports technology and innovation*. Springer Books.
- Ratten, V. (2020). Sport technology: A commentary. *The Journal of High Technology Management Research*, 31(1), 100383.
- Ro, Y. K., Brem, A., & Rauschnabel, P. A. (2018). Augmented reality smart glasses: Definition, concepts and impact on firm value creation. In T. Jung & M. C. tom Dieck (Hrsg.), *Augmented reality and virtual reality: Empowering human, place and business* (S. 169–181). Springer International Publishing.
- Schmidt, S. L. (2024). How technologies impact sports in the digital age. In S. L. Schmidt (Hrsg.), *21st century sports: How technologies will change sports in the digital age* (S. 3–16). Springer International Publishing.

- Seçkin, A. Ç., Ateş, B., & Seçkin, M. (2023). Review on wearable technology in sports: Concepts, Challenges and opportunities. *Applied Sciences*, 13(18), 10399.
- Sellami, M., Elrayess, M. A., Puce, L., & Bragazzi, N. L. (2022). Molecular big data in sports sciences: State-of-art and future prospects of OMICS-based sports sciences. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 8, 815410.
- Siegel, J., & Morris, D. (2024). Robotics, automation, and the future of sports. In S. L. Schmidt (Hrsg.), *21st century sports: How technologies will change sports in the digital age* (S. 53–72). Springer International Publishing.
- Skytechsports. (2024). *Interactive boxing machine. Workout*. <https://www.skytechsport.com/botboxer-home>. Zugegriffen am 25.01.2025.
- Sport Business Journal. (2024). *Omega's photo finish camera proves as vital instrument in deciding men's 100m race*. <https://www.sportsbusinessjournal.com/Articles/2024/08/06/olympics-omega-timing-cameras-100m>. Zugegriffen am 25.01.2025.
- Ströbel, T., Stieler, M., & Stegmann, P. (2021). Guest editorial. Digital transformation in sport: The disruptive potential of digitalization for sport management research. *Sport, Business and Management: An International Journal*, 11(1), 1–9.
- Subic, A. (Hrsg.). (2019). *Materials in sports equipment*. Woodhead Publishing.
- Tjønnndal, A. (2017). Sport innovation: Developing a typology. *European Journal for Sport and Society*, 14(4), 291–310.
- Varillas-Delgado, D., Del Coso, J., Gutiérrez-Hellín, J., Aguilar-Navarro, M., Muñoz, A., Maestro, A., & Morencos, E. (2022). Genetics and sports performance: The present and future in the identification of talent for sports based on DNA testing. *European Journal of Applied Physiology*, 122(8), 1811–1830.
- Hippel, E. von. (2006). *Democratizing innovation*. MIT Press.
- Zhao, J., Mao, J., & Tan, J. (2022). Global trends and hotspots in research on extended reality in sports: A bibliometric analysis from 2000 to 2021. *Digital health*, 8, 20552076221131141.

finance 362
Fitness 195, 199, 200, 205, 206
Fitness-Devices 376
Flash-Lag-Effekt 342
FlexiTrainer 160
Flipped Classroom 48
Forecasting 81, 90
Foul-Situation 339
Framework 117
Früherkennung 21
FruitGrind 155
fungible token 350
Fußball 130

G

gambling 359
Game Management 343
Gamification 48
Gamification-Element 171
Gamifizierung 113, 202
Genauigkeit 223, 225, 226, 236
genderneutrale Stationskarte 60
Generalisierbarkeit 174
generative Künstliche Intelligenz 181
Genetik 8
Gesundheit 195, 196
 psychische 21
Gesundheitsanwendung
 digitale 304
globaler Markt 175
360-Grad-Echtzeit-Bewegungsanalysen[®] 57
360 Grad-Umgebung 377
Grundbedürfnis 16
Gyroskop 168

H

Hardware 198, 199
 externe 170
Hasskommentar 19
Hauptkomponentenanalyse 79, 90
hedonic benefits 362
hemoglobin 260
Hochbeschleunigungssensor 168
Hochleistungssport 4
Höchstleistung 370
holistischer Ansatz 393
Home advantage 448
Human Action Recognition 56
Human Pose Estimation 56
Hybrid Digital Tool 117
Hyperparameter-Tuning 134

I

Identitätsentwicklung 375
IMU (Inertial Measurement Unit) 168
individualisierte Verschreibung 301
Individualisierung 213, 217, 218, 221, 226, 232, 235
individuelle Entwicklungsprognose 385

individuelle Reaktion 217, 219
individueller Einflussfaktor 220, 231–233
Inertial Measurement Unit 168
Information 116
Informationstechnologie 195, 198, 206
informeller Lernkontext 376
Innovation 377, 397
 Demokratisierung 4
 technologische, Bedeutung 3
Innovationspotenzial 397
Innovativeness 246
Insellösung 174, 175
Inspiration 20
Integration 112, 174
Intelligenz
 künstliche Siehe Künstliche Intelligenz
Interaktion 43, 49
internet of things 377
internetbasierter Therapieansatz 295
Interoperabilität 174
Intervention 198, 199, 206
Interventionszeitraum 330
isolierte Insellösung 174
iterative Anpassung 173
iterative Weiterentwicklung 173

J

JudgED 160

K

Kamerakalibrierung 181
kampfsportspezifische Leistungsdiagnostik 171
Karriere
 duale 122
K/D-Rate (Konkordanz/Diskordanz-Rate) 408
KI Siehe Künstliche Intelligenz
Klassifikation 83, 90
Kollaboration 48
Kommunikation 17, 217, 219, 224, 229, 231, 236
Kommunikationstechnologie 195, 198, 206
Kompass 125
komplexe Datenanalyse 170
komplexes System 167
Komplexität 173
Konkordanz/Diskordanz-Rate 408
Kontextfaktor 214, 219, 220
Kontraindikation 297
körperliche Aktivität 196, 197, 294, 298, 420, 423
Kovariante 404
kreativer Prozess 48
Krebs 295
kulturelle Anpassung 398
Künstliche Intelligenz 5, 163, 180, 285, 306, 384, 440
 generative 181

L

Laktatkonzentration 171
Large Language Models 389

law of attrition 303
 League information variables 450
 Lebensqualität 298
 Lebenswelt 42, 371
 Lehrplan 46
 Leistungsanalyse 91
 Leistungsdiagnostik
 kampfsportspezifische 171
 Leistungsmetrik
 praxisbewährte 396
 Leistungstest 118
 Lernen
 selbstbestimmtes 57
 selbstregulatives 50
 Lerner*innen-Zentrierung 50
 Lernförderung 116
 Lernkontext
 informeller 376
 Lernkultur 379
 Lernwelt 45
 Live-Userverbindung 171
 LLM (Large Language Models) 389
 Load-Balancing 173
 logistisches Regressionsmodell 141

M

Machine Learning 163, 377
 managerial 363
 markerloses Tracking 56
 marketing 363
 Markt
 globaler 175
 Marktbedürfnis 175
 Maschinelles Lernen 291, 285
 Material 10
 McFadden- R^2 407
 Medienkompetenz 114
 Mediennutzung
 Dauer 17
 Risiko 16
 Vorteile 16
 Mehrfachbelastung 16
 Messinstrument 246
 Messstation
 spiroergometrische 171
 Messung 116
 Metrik 70
 Microservice 166
 Mindset 376
 Minimal Viable Product 168
 MINT 114
 mitochondrial function 274
 Mixed Martial Arts 417
 ML (Maschinelles Lernen) 285, 291
 mNIRS 267
 mobiles Endgerät 170
 Modell Professionellen Coaching-Handelns 373
 modulare Systemarchitektur 167
 Moneyball 66, 91, 93

Monitoring
 datenbasiertes 372
 unsichtbares 223
 Monitoringsystem 213, 215, 217, 218, 221, 222, 224, 230, 231, 236
 Motiv 17
 sportbezogenes 18
 MRS 274
 Multi-Cloud-Strategie 393
 Multicollinearity test 451
 multi-sided market 318
 Multi-User-Fähigkeit 173
 MVP (Minimal Viable Product) 168
 myoglobin 260

N

NBA Top Shot 351
 Neid 20
 neuronales Netz 84, 90
 NFTs 350
 NIRS 259
 non-fungible token 350
 Nudging 202

O

Objektdetektion 180
 On-Field Offside-Test 339
 onkologische Trainingstherapie 298
 On-Venue Results 163
 Open Educational Resources 289
 Open-Source-Engines 167
 Open Source Software 290
 Optical-Error-Hypothese 342
 Optimierung
 dynamische 89, 90
 ganzzahlige 88, 90
 lineare 88, 90
 stochastische 88, 90
 organisches Wachstum 175
 Orientierungslauf 122
 Outcome 218, 220, 231, 233
 OVR (On-Venue Results) 163
 oxygenation 260, 272
 oxy[heme] 265

P

Pädagogik 378
 Pädagogisierung 45
 PCR (creatine phosphate recovery) 268
 Performance 166
 performance analysis 33
 Periodisierung 436
 physiological calibration 265
 platform 351
 Plattform 318, 351
 Plattformarchitektur 164
 polls 360

Posenschätzung 181
Postprocessing 153
prädiktives Verfahren 75, 80
präskriptives Verfahren 75, 88
Prävention 21
Praxis
 evidenzinformierte 217, 221, 230, 236
praxisbewährte Leistungsmetrik 396
Preprocessing 153
proaktive Erholung 21
probabilistisches Verfahren 86
Process Mining 80, 90
Professionalisierung 376
professionelle Nutzung 18
professioneller Unterricht 51
professionelles Training 372
psychische Gesundheit 21
purchase intentions 361

R

Rangsystem 403
RD α (RISE Dynamics Alpha) 168
readiness 277
Reaktion
 individuelle 217, 219
Realitätssystem
 erweitertes/ergänzendes 154
 virtuelles 154
reflection-in-action 372
reflection-on-action 372
Reflexion 51
Regelwerk 11
Regression 80, 90
Regression models 450
Regressionsmodell
 logistisches 141
Rehabilitation
 Digitalisierung 174
RehaFox 155
Reha@Stroke 157
Reinforcement Learning 89, 90
Rekord 370
Relevanz 112
Repertoire 118
Reproduzierbarkeit 225, 226, 228
 typischer Messfehler 226–228
return 353
Return-to-Play 437
revenues 360
RISE Dynamics Alpha 168
risk and return profiles 356
Robotik 7
Rückwärtssuche 329

S

same-side effect 318
SAMR Modell 47
SAP Scout One 441

SAP Sports One 432
SAP Team One 434
Sauerstoff 272
Schlafhygiene 22
Schlafqualität 19
Schlagkraft 168
schlagkraftmessender Boxhandschuh 168
Schlagtechnikererkennung 171
Schlagwortsuche 327
Schlüsselfaktor 307
Schulpolitik 46
Scoring-Modul 163
Scouting 130
Scouting-Kennzahl 130
Scouting-KI-Modell 384
Scouting-Prozess 441
selbstbestimmtes Lernen 57
Selbstbild 197, 204
Selbstdarstellung 18
selbstlernende Komponente 173
selbstoptimierende Komponente 173
selbstoptimierender Mechanismus 173
selbstregulatives Lernen 50
Selbstwirksamkeit 20
Selftracking 377
Sensor 6, 122
Sensordatennutzung 153
Serious Games 172
Serious Gaming 154
 exemplarische Anwendung 155
Serious Gaming Plattform 162
Serverinfrastruktur 173
sexueller Übergriff 21
Shared Mental Models 343
Shortliste 441
Signal-to-Noise 227
Simulation
 biomechanische 115
Situativität 373, 379
Skalierbarkeit 392
Skalierung 174
Smartphone 117
Social Media 375
Soft-Skills 119
sozialer Vergleich 20
soziokultureller Kontext 42
Spatio-temporale Daten 71
Spectator quantity 448–450, 454, 455, 458
speculative asset 359
Spielanalyse 100
Spielanalyst 286
Spielerentwicklung 439
Spieler-Re-Identifikation 181
Spieler-Tracking 181
Spielfeldregistrierung 181
spiroergometrische Messstation 171
Sport 424
Sportanwendung
 Erweiterung 174
sportbezogenes Motiv 18

Sportdata 163
 Sport Education Model 49
 Sportlehrkräftebildung 55
 Sportplattform 164, 172
 Sportsensor 153
 Sporttechnologie 213, 224, 225, 234–236
 Sportkultur 45
 SQ (Spectator quantity) 448–450, 454, 455, 458
 Stadionbesuch 6
 Stationskarte
 genderneutrale 60
 Standard 343
 Statistik 70
 beschreibende 76
 statistische Power 345
 stock 356
 Strategie 174
 strategische Entscheidungsfindung 384
 strategisches Dilemma 174
 Studiencharakteristik 330
 Suchterm 329
 Sumo 402
 supply perspectives 353
 Support Vector Machines 289
 systematic review 351
 Systemerweiterung 162
 Systemleistung 173

T

Tackle-Situation 340
 Talentförderung
 datengestützte 386
 Talentrekrutierung 93
 Talentsuche 93
 Taxonomie 150, 174
 Team-Management 434
 technological development 29
 Technologieakzeptanz 253
 Technologieakzeptanzforschung 244
 Technologieakzeptanzmodell 245
 technologische Innovation 370
 technologischer Fortschritt 11
 technologisches Hindernis 303
 Therapieansatz
 internetbasierter 295
 Therapietreue 307
 Timing-Modul 163
 tissue oxygen saturation 263
 topografische Karte 124
 Torwartspielanalyse 385
 TPACK Modell 50
 Tracking
 markerloses 56
 Training 9, 94
 Training Load 219, 228
 Beanspruchung 218–220, 222, 223, 228, 231–233
 Belastung 218–220, 222, 223, 228, 231–233
 professionelles 372
 training zones 276
 Trainingsadhärenz 303

Trainingsanalyse 7
 Trainingsdokumentation 436
 Trainingseffekt 214, 219, 220, 222, 227, 231, 233, 236, 338
 Trainingsentscheidung 378
 Trainingsgestaltung 372
 Trainingskultur 379
 Trainingspädagogik 370
 Trainingsprozess 214–217, 219–222, 229, 231, 232, 234
 Trainingssteuerung 213, 215–218, 220, 221, 227,
 230–232, 234–236
 Trainingstherapie
 onkologische 298
 Trainingstherapietreue 302
 Trainingsvolumen 330
 Trajektorie 114
 Transformationsprozess 387
 2Trax3 159

U

Uneindeutigkeit 342
 Unified Theory of Acceptance and Use of Technology 245
 unipolare Depression 299
 Unterhaltung 18
 Unterricht
 professioneller 51
 U-shaped curve 451

V

VAEP-Metrik 391
 Validierungskriterien 407
 Validität 225, 227, 346
 value co-creation 360
 Variable
 abhängige 338
 $\dot{V}O_2\text{max}$ 266
 Veränderung
 kleinste bedeutsame 228, 229
 kleinste messbare 228
 Veränderungsmanagement 387
 Verbundsystem 374
 Verbundwerkstoff 10
 Vereinbarkeitskonflikt 18
 Verfahren
 deskriptives 75
 prädiktives 75, 80
 präskriptives 75, 88
 probabilistisches 86
 Verletzungsanalyse 97
 Verletzungsprävention 8
 Vermittlung 371
 Verschreibung
 individualisierte 301
 Verschwommenheit 339
 Videoanalyse 4
 im Fußball 181
 Videoanalysesystem 116
 Videosequenz 338
 Videosimulation 339
 viewer confusion 321